

# **DESARROLLO DE DISPOSITIVO DE FLEXIÓN PARA MÁQUINA UNIVERSAL ZWICK Z050**

## *DEVELOPMENT OF FLEXION TEST DEVICE FOR ZWICK Z050 UNIVERSAL MACHINE*

***Jimena Yumiko Oshin Rosales Isabel***

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
14031642@itcelaya.edu.mx

***Edgar Vera Vélez***

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
14031670@itcelaya.edu.mx

***Genaro Rico Baeza***

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
Genaro.rico@itcelaya.edu.mx

***Luís Alejandro Alcaraz Caracheo***

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
Alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

**Recepción:** 16/septiembre/2019

**Aceptación:** 13/noviembre/2019

### **Resumen**

El laboratorio del área de Mecatrónica cuenta con una máquina universal Zwick Z050 en la cual se pueden realizar ensayos de compresión, tensión y flexión aplicando cargas desde 1 N hasta 50 kN, sin embargo, no se contaba con dispositivos para pruebas de flexión, por lo que el proyecto se basó en elaborar un herramental para usar dicha función. Debido a la alta demanda de pruebas en polímeros, se definieron las dimensiones tanto del dispositivo como de probetas bajo los parámetros de la norma ISO 178. Se generaron propuestas de diseño mediante un establecimiento de funciones; la selección de alternativas se realizó por medio del criterio de índices ponderados, en los cuales se abarcó el tipo de material, su resistencia, el costo y su manufactura, así como el diseño del herramental. El diseño del dispositivo consta de 15 piezas. Algunas de ellas fueron fabricadas con acero 4140T debido a que soportan la carga aplicada, las piezas restantes se fabricaron de acero 1018 por soportar una demanda de carga inferior.

**Palabras clave:** dispositivo, ensayos, flexión, norma, probeta.

## **Abstract**

*The laboratory of the Mechatronics area has a Zwick Z050 universal machine in which compression, tension and bending tests can be performed applying loads from 1 N to 50 kN, however, there were no devices for bending tests, so the project was based on making a tooling to use this function of the machine.*

*Due to the high demand for tests on polymers, the dimensions of both the device and the specimens were defined under the parameters of the ISO 178 standard.*

*Design proposals were generated through a set of functions; the selection of alternatives was made through the criterion of weighted indexes in which the type of material, its resistance, cost and its manufacture were covered and thus the design of the tooling was selected.*

*The bending device was designed in 15 pieces. Some parts were manufactured from 4140T steel because they bear the applied load, while the remaining pieces were made from 1018 steel for supporting a lower load demand.*

**Keywords:** *bending, device, standard, tests, test tube.*

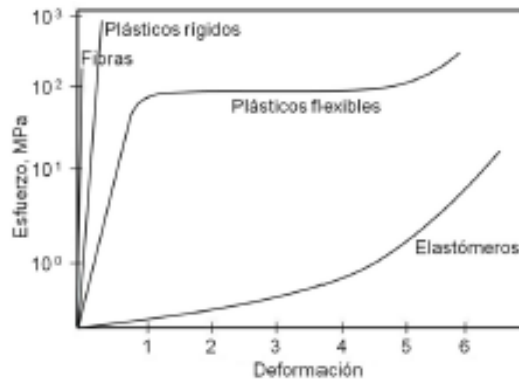
## **1. Introducción**

La flexión es una de las pruebas más importantes en términos de ingeniería cuando se necesitan corroborar propiedades mecánicas de un material que se va a destinar para alguna estructura. Un material tiene resistencia a la flexión si es capaz de soportar cargas que provoquen momentos flectores en su sección transversal, es decir, resistir fuerzas de flexión aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal [Forero, 2007, p. 96].

La prueba de flexión determina el módulo de flexión, el esfuerzo de flexión y la deformación por flexión en una muestra. Los resultados de esta prueba describen el comportamiento del elemento a través de un diagrama de esfuerzo-deformación [Jaraba, 2018]. Estas pruebas son ampliamente usadas para estimar las propiedades mecánicas de polímeros, debido a la simplicidad del procesamiento de los datos obtenidos de la prueba. En este ensayo, una barra plana rectangular es

soportada simplemente cerca de cada extremo y sujeta a flexión en tres puntos con aplicación continua de carga en el punto medio.

A partir de su comportamiento en ensayos esfuerzo-deformación, los polímeros se pueden clasificar en cuatro categorías principales, como se muestra en la figura 1 [Coreño, 2010].



Fuente: Coreño, 2010.

Figura 1 esfuerzo-deformación para fibras, plásticos y elastómeros.

El laboratorio del área de Mecatrónica cuenta con una máquina universal Zwick Z050, la cual puede realizar ensayos de compresión, tensión y flexión aplicando cargas desde 1 N hasta 50 kN; sin embargo, no se cuenta con dispositivos para pruebas de flexión, por lo que el proyecto consiste en la fabricación de un herramental para realizar dicha prueba. Debido a los altos costos de los dispositivos comerciales es factible desarrollar el proyecto dentro del Tecnológico Nacional de México en Celaya, generando un ahorro sustancial.

El modelo del herramental se determinó con base a una metodología de diseño empleando algunos métodos como el criterio de índices ponderados y las dimensiones se establecieron bajo la norma ISO 178 para realizar pruebas en polímeros. Esta norma internacional especifica un método para determinar las propiedades de flexión de los plásticos en condiciones definidas [Diederer, 2010].

Una vez que se concluyó con la manufactura del dispositivo se prosiguió a corroborar su funcionamiento en donde se compararon los resultados de pruebas experimentales con los resultados teóricos obteniendo una variación del 5% por lo que se concluyó que el dispositivo cumplía con un funcionamiento adecuado.

## 2. Métodos

La metodología de diseño del dispositivo de pruebas de flexión se basó en 3 modelos: modelo de French, modelo de Archer y el modelo de Pahl y Beitz.

### Exploración

Para las dimensiones del herramental se tomaron como referencia las normas ASTM D790, ISO 14125 e ISO 178. La longitud fue de 420 mm y de ancho 100 mm, mientras que para la altura no hubo restricciones. Los radios de los soportes y el punzón fueron de 5 mm [Zwick/Roell, 2018]. Se utilizaron materiales lineales para las pruebas experimentales. Los polímeros seleccionados fueron el polipropileno y el polietileno de alta densidad, dado que su módulo de elasticidad se encuentra en un rango menor a 1.4 GPa [Askeland, 1998]. Bajo los estándares de la norma ISO 178 las dimensiones de las probetas quedaron de 132 mm de longitud, 15 mm de anchura y 6.4 mm de espesor (Norma ISO 178, 2016).

### Generación-Selección de Alternativas

Se generaron propuestas de diseño mediante un establecimiento de funciones, las cuales se muestran en la figura 2 señalando la selección del herramental.

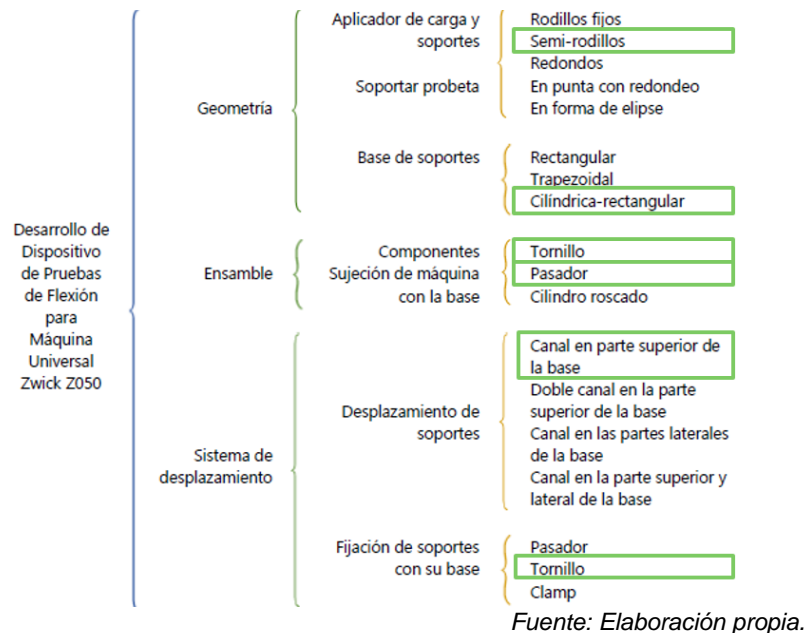


Figura 2 Diagrama establecimiento de funciones.

La selección de alternativas de diseño del herramental se realizó por medio del criterio de índices ponderados que se muestran en la tabla 1, donde los parámetros de selección fueron: el material, la resistencia, el costo y la manufactura.

Tabla 1 Criterio de índices ponderados.

Factores	Alternativas			
	1	2	3	4
Resistencia de material 42%	29.4	31.5	37.8	39.9
Costo 25%	22.5	22.5	17.5	17.5
Manufactura 33%	29.7	23.1	19.8	16.5
<b>Total</b>	<b>81.6</b>	<b>77.1</b>	<b>75.1</b>	<b>73.9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Además, con ayuda del software de simulación ANSYS®, se realizaron simulaciones de las bases con una carga aplicada de 50kN debido a que es la máxima que soporta la máquina; para así saber la deformación total de la base, su esfuerzo equivalente y el factor de seguridad, tanto para el acero 1018 como para el 4140T. En la tabla 2 se puede apreciar los resultados de cada base.

Tabla 2 Simulaciones de las propuestas de la base.

Base con canal superior	Material (acero)	Deformación total mín. (mm)	Deformación total máx. (mm)	Esfuerzo equivalente mín. (MPa)	Esfuerzo equivalente máx. (MPa)	Factor de seguridad mín.	Factor de seguridad máx.
Base rectangular	4140T	0	0.077794	0.011778	60.805	13.716	15
	1018	0	0.077906	0.01191	59.441	6.5612	15
Base trapezoidal	4140T	0	0.078159	0.012901	60.573	13.768	15
	1018	0	0.078285	0.013097	59.223	6.5853	15

Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionó la base rectangular de acero 1018 contemplando como un factor importante su manufactura dado que no afectó su factor de seguridad y la diferencia de su esfuerzo y deformación es mínima.

### Comunicación (Planos)

Se optó por diseñar el dispositivo de flexión en 15 piezas dado que se contempló el costo de la manufactura. Algunas piezas fueron fabricadas de acero 4140T debido a que soportan la carga aplicada, mientras que las piezas restantes se fabricaron

de acero 1018 por no necesitar la misma resistencia. El brazo de extensómetro se conforma de aluminio 6061.

Los soportes fueron fabricados en 3 piezas, el soporte de semi-rodillo, su base y una placa de sujeción; debido a que se contempló que a futuro se hicieran pruebas con otros materiales y así sólo cambiar el soporte, dependiendo de las condiciones de las pruebas. El aplicador de carga se diseñó en 2 piezas por la razón ya mencionada.

Se elaboró el plano de la probeta con las dimensiones que establece la norma, con el cual se fabricaron 10 piezas, 5 de cada material.

Se realizaron 11 planos para el herramental, los cuales se encuentran descritos en la tabla 3.

Tabla 3 Listado de las piezas que conforman el dispositivo de pruebas de flexión.

Plano	Descripción	Piezas	Dimensiones	Material
1	Disco inferior	1	130 $\phi$ x28.4 mm	Acero 4140T
2	Cilindro superior	1	60 $\phi$ x37 mm	Acero 4140T
3	Aplicador de carga en forma de semi-rodillo	1	60 $\phi$ x80 mm	Acero 4140T
4	Base rectangular con canal superior en forma T	1	420x70x100 mm	Acero 1018 Recubrimiento pavonado
5	Soporte de semi-rodillo	2	45x45x100 mm	Acero 4140T
6	Base del soporte	2	50x30x100 mm	Acero 1018 Recubrimiento pavonado
7	Placa de sujeción	2	59x9x30 mm	Acero 1018 Recubrimiento pavonado
8	Pieza en forma de L	2	100x55x5 mm	Acero 1018 Recubrimiento pavonado
9	Pieza 1 brazo extensómetro	1	20x34x100 mm	Aluminio 6061
10	Pieza 2 brazo extensómetro	1	10 $\phi$ x105 mm	Aluminio 6061
11	Pieza 3 brazo extensómetro	1	15x15x15 mm	Acero 1018 Recubrimiento pavonado

Fuente: Elaboración propia.

## Fabricación

Se fabricó el dispositivo de flexión en el laboratorio de Manufactura que se encuentra dentro de la institución. En la figura 3 se muestran algunas de las piezas durante su fabricación.

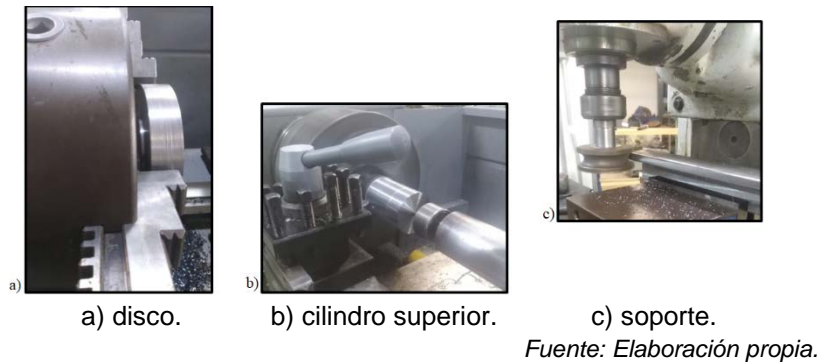


Figura 3 Proceso de fabricación.

### Verificación

El dispositivo de flexión se colocó en la máquina mediante un disco que se ensambló en una ranura de esta. El disco se unió con la base rectangular con 2 pernos dowell para evitar su movimiento de manera horizontal.

El soporte fue acoplado con su base con pernos dowell. La placa de sujeción se ajustó en el canal de la base rectangular y se fijó con un tornillo que atraviesa el soporte y su base para evitar el movimiento. En la parte lateral de los soportes se colocaron las piezas en forma de L sujetadas con un tornillo cada una para mantener la probeta recta. Se diseñó un cilindro el cual va en medio de 2 piezas. Se sujetó mediante un pasador a una pieza de la máquina en la parte superior y se fijó con el aplicador de carga con 2 tornillos para evitar su movimiento.

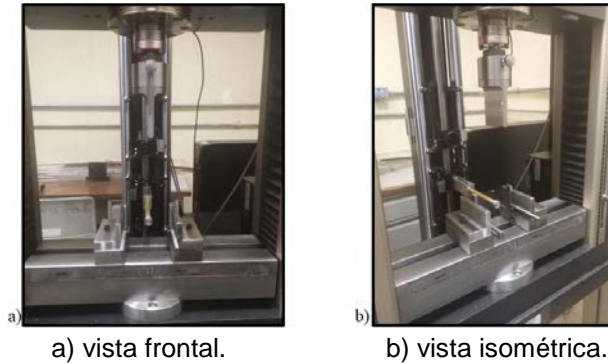
Para el brazo del extensómetro se ensamblaron 3 piezas. La primera pieza embonó en la ranura de la máquina, la segunda y tercer piezas se ensamblaron por medio de rosca.

En la figura 4 se muestra el ensamble del instrumental ya colocado en la máquina universal.

### Validación (Pruebas Experimentales)

La norma establece que se realicen 5 pruebas al menos de un material, además indica que la distancia entre los soportes debe de ser de 102 mm por lo que se fijaron centrados de la base a esa distancia. Sobre estos se colocaron las probetas, una a la vez y debajo de esta, se coloca el brazo de extensómetro para que mida su desplazamiento.

Se definió que las pruebas experimentales se realizaran con una velocidad de 10 mm/min con un desplazamiento total de 40 mm. En la figura 5 se aprecia la probeta flexionada.



*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4 Dispositivo de flexión colocado en la máquina universal Zwick Z050.

### **Validación (Pruebas Experimentales)**

La norma establece que se realicen 5 pruebas al menos de un material, además indica que la distancia entre los soportes debe de ser de 102 mm por lo que se fijaron centrados de la base a esa distancia. Sobre estos se colocaron las probetas, una a la vez y debajo de esta, se coloca el brazo de extensómetro para que mida su desplazamiento. Se definió que las pruebas experimentales se realizaran con una velocidad de 10 mm/min con un desplazamiento total de 40 mm. En la figura 5 se aprecia la probeta flexionada.

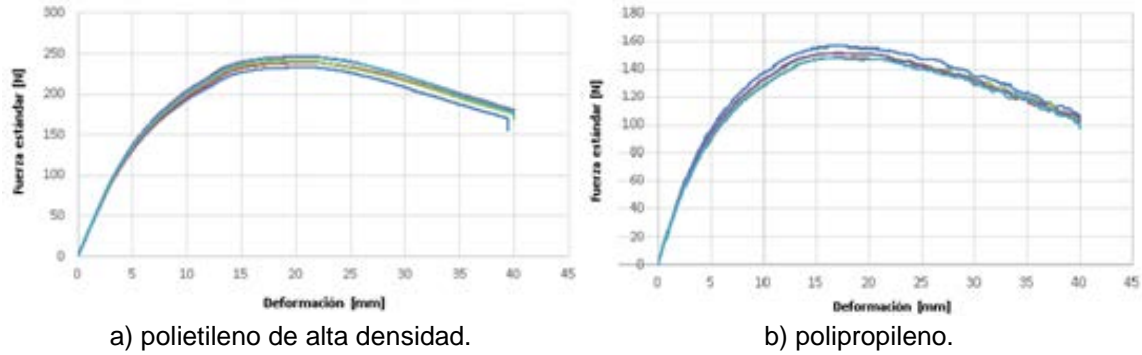


*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 5 Prueba de flexión en 3 puntos en probeta de polipropileno.

Como se emplearon 2 materiales se fabricaron 10 muestras para poder realizar los ensayos. En la figura 6 se muestran las gráficas que arrojó cada prueba.





Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Gráficas de los polímeros.

### 3. Resultados

Para la validación de los resultados de las pruebas la norma indica que se corroboren mediante las siguientes ecuaciones. La ecuación 1 es para determinar el esfuerzo de flexión, mientras que la ecuación 2 es para la deformación, la cual también se puede determinar en porcentaje, ecuación 3.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_f = \frac{600sh}{L^2} \% \quad (3)$$

Donde:

$L$  = longitud entre soportes.

$h$  = espesor de la probeta.

$b$  = ancho de la probeta.

$s$  = desplazamiento de la probeta.

$F$  = fuerza aplicada en el desplazamiento analizado.

La tabla 4 del polietileno de alta densidad y la tabla 5 del polipropileno muestran los resultados de las pruebas experimentales con un desplazamiento de 8 milímetros contra los resultados teóricos que arrojaron las ecuaciones.

Tabla 4 Resultados teóricos contra los experimentales del polietileno de alta densidad.

Prueba	Desplazamiento (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo Experimental (MPa)	Esfuerzo Teórico (MPa)	Deformación experimental (mm/mm)	Deformación teórica (mm/mm)
1	8	177.44	44.73	44.18	2.98	2.95
2	8	176.80	44.69	44.02	2.98	2.95
3	8	180.14	45.31	44.85	2.98	2.95
4	8	181.89	45.94	45.29	2.98	2.95
5	8	181.24	45.70	45.13	2.98	2.95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 Comparación de resultados teóricos contra los experimentales del polipropileno.

Prueba	Desplazamiento (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo Experimental (MPa)	Esfuerzo Teórico (MPa)	Deformación experimental (mm/mm)	Deformación teórica (mm/mm)
1	8	122.92	31.04	30.60	2.98	2.95
2	8	117.31	29.93	29.18	2.98	2.95
3	8	120.39	29.54	29.97	2.98	2.95
4	8	121.48	30.91	30.25	2.98	2.95
5	8	117.26	30.07	29.20	2.98	2.95

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Discusión

La conceptualización del dispositivo de pruebas de flexión en 3 puntos fue desarrollada mediante una metodología de diseño la cual se completó correctamente. El funcionamiento del dispositivo de flexión se corroboró mediante la comparación de las pruebas experimentales con el resultado de las ecuaciones. Los resultados de las pruebas experimentales y de las ecuaciones muestran una variación con un porcentaje menor al 5%, por lo que se validó el correcto funcionamiento del dispositivo.

El desarrollo de este dispositivo permite ofrecer ensayos de flexión en 3 puntos en polímeros tanto para la institución como para personas externas que las soliciten. A futuro se pretende realizar pruebas con diferentes materiales fabricando sólo los soportes y el aplicador de carga con las dimensiones específicas para dichos ensayos.

Como trabajos futuros se pretende continuar equipando la máquina Zwick Z-050 con dispositivos que permitan realizar distintas pruebas para la caracterización de materiales.

## **5. Referencias y Bibliografía**

- [1] Askeland Donald R. 1998. Ciencia e Ingeniería de los materiales, Tercera edición, Thomson Learning, p 960.
- [2] Coreño Alonso, J. & Méndez Bautista M. T. 2010. Relación estructura-propiedades de polímeros.
- [3] Davis, T. et al. 1982. The testing of engineering materials. (4<sup>a</sup> ed). EUA: McGraw Hill.
- [4] Diederer, W. Borderiou, A. Meissen, T. Radermacher, H. & Reckers, S. (2010) 4081290.Vogelsang, Herzogenrath, Alemania.
- [5] Forero, J. Henao, F. & Moncada, D. 2007. Laboratorio de simulación y ensayos para resistencia de materiales, 6. Avances Investigación en Ingeniería, p. 96.
- [6] Jaraba Gaviria, J. A. Ramírez Vergara, L. M. Agamez Pinedo, G. C. Villadiego Ramos, E. D. Cova Vergara, J. A. & Hechenique Palma, Y. D2018. Pandeo de columnas y flexión en vigas.
- [7] Norma ISO 178. Plastics - Determination of flexural properties.
- [8] Sistemas de ensayos de materiales de Zwick (s.f.) (4/marzo/2019): <http://www.zwick.es/es.html>.
- [9] Zwick/Roell. 3 point flexure test kit to ISO 178 and ASTM D790.