



MAQUINA DE ENSAYO Y ANALISIS DE RESPUESTA VISCOELÁSTICA LINEAL EN FLEXIÓN Y TRACCIÓN PARA PIEZAS CONSTRUIDAS ADITIVAMENTE POR DEPOSICIÓN DE FILAMENTO POLIMÉRICO

Andrés E. Romero^{1,3}, Marcelo T. Piovan^{1,2,3}, Rene Molina³ y Gerardo Pender³

¹ Centro de investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada,
Facultad Regional Bahía Blanca (FRBB), Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
Calle 11 de abril N° 461, Bahía Blanca, Argentina
correo-e: mpiovan@frbb.utn.edu.ar

² CONICET

³ Departamento Ingeniería Mecánica UTN-FRBB

RESUMEN

En este trabajo se evalúa experimentalmente la respuesta visco-elástica lineal de piezas impresas de diversos materiales, bajo ensayos de extensión y flexión. El aporte principal de este trabajo reside en la incorporación de un banco de prueba que permite el intercambio de implementos para efectuar ensayos con probetas de flexión y de tracción. El banco de ensayo se ha construido "ad-hoc" de forma semejante a los homónimos comerciales o académicos que solo tienen disponible el ensayo de tracción. Se utilizan probetas convencionales de tracción introducidas en otros trabajos previos de los autores y además se emplea la probeta de flexión sugerida en la norma ISO 178, ante la ausencia de normas específicas para materiales impresos. Para evaluar la respuesta visco-elástica y la influencia de parámetros constructivos u operativos se emplean diversos criterios en la fabricación de los especímenes, e.g. ángulos de deposición, materiales, etc. Se emplea un conjunto básico de especímenes para evaluar la influencia de los parámetros seleccionados en diversos materiales y efectuar valoraciones comparativas entre los materiales.

Palabras Clave: Construcción aditiva, viscoelasticidad lineal, tracción, flexión.



1. INTRODUCCIÓN

La construcción aditiva es una técnica de fabricación por control computado por la cual un modelo sólido elaborado en un programa de modelado 3D puede ser construido por deposición de alguna substancia en forma de capas, en particular polímeros. En un comienzo y durante las décadas de 1980 y 1990, los alcances de esta técnica eran limitados a la fabricación de prototipos previos a su fabricación en serie, y además la variedad de materiales empleados era restringida a unos pocos (principalmente polímeros como el Acrilo-nitrilo Butadieno Estireno o ABS). Mientras que hoy en día, se pueden construir estructuras óseas, partes y componentes de máquinas en una gran variedad de plásticos o en resinas o en metal, entre otros.

Durante los últimos años de la década de 1990 y los primeros años de este milenio, los investigadores comenzaron a prestar mayor interés en la determinación de las propiedades elásticas de piezas construidas con esta clase de técnicas, en particular por extrusión de material polimérico [1]-[2] bajo la técnica comercialmente llamada FDM (Fused Deposition Modeling). La gran mayoría de los experimentos efectuados para determinación de propiedades elásticas consistió en ensayos básicos de tracción o bien de flexión bajo condiciones de carga estáticas. La razón de ello residió en la escasa importancia que se le dio en su momento. Sin embargo a raíz de la aparición de nuevos polímeros, sustancialmente más resistentes, y el incremento exponencial de ventas de impresoras 3D a partir del proyecto REPRAP [3], la determinación de propiedades materiales, elásticas y comportamiento en distintos regímenes (estático, dinámico, etc. [4]-[7]) se ha retomado con mayor interés, asociado en parte a la construcción de modelos matemáticos adecuados para el comportamiento micro y macro estructural de las piezas impresas. Sin embargo en lo atinente al análisis de viscoelasticidad de esta clase de construcciones plásticas es muy poco lo que se ha hecho [8]-[9], especialmente en cuanto a al análisis por flexión.

En este documento se presenta un estudio sobre la respuesta visco-elástica a flexión y a tracción en conjunto para diversos materiales usados en impresión 3D. Para ello se ha desarrollado y construido una máquina de ensayo académica “tipo báscula” que permite efectuar, con tan solo un cambio de soportes y mordazas, el ensayo de tracción y el de flexión en cámara aislada. Esto de por si es un aporte adicional puesto que la gran mayoría de los dispositivos experimentales académicos “tipo báscula” disponibles en mercado solo pueden realizar el ensayo de tracción [9,10] y algunos no tienen cámara aislada [9]. Esto último es importante pues en casi todos los polímeros empleados para impresión 3D se tiene una importante variabilidad de las propiedades visco-elásticas con respecto a la temperatura en la que operan [8].

A continuación se expone el desarrollo de la máquina de ensayo y su funcionamiento básico, luego se explicitan las series de ensayos para tracción y para flexión, en las cuales se definen algunos parámetros constructivos a evaluar a ensayo creep. Se estudia la influencia de tales

parámetros en materiales como el Poli-ácido láctico (PLA), Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y poliestireno de alto impacto (HIPS).

2. BANCO DE ENSAYO Y PROBETAS: DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTO

En la Figura 1 se muestra la máquina de ensayo empleada. La misma ha sido concebida sobre la base del diseño conceptual de equipos homólogos como los de la empresa GUNT [10] o la empresa Tecquipment [9],[11]. Sin embargo, incorpora un par de aspectos de suma utilidad para efectuar ensayos variados como son (a) un contrapeso para ajuste de precarga en la probeta y (b) la posibilidad de intercambiar implementos de soporte para facilitar ensayos de tracción o bien de flexión (este último no presente en otras máquinas). Así pues, los detalles constructivos se explican a continuación: El dispositivo de ensayo consta de una palanca de primer orden (1) en uno de cuyos extremos se monta en platillo de cargas de prueba (2) y en el otro extremo se monta un contrapeso (3) para permitir el taraje de precarga (con valor prescrito o nulo) sobre el punto de montaje de la probeta (4) sea este para probetas de tracción (5) como de flexión, bajo el criterio de flexión de tres puntos (6). El recinto (7) permite mantener apartada la probeta del medio ambiente y emplear recipientes termo-acumuladores para enfriamiento/calentamiento. La medición del desplazamiento se efectúa mediante un comparador centesimal (8), mismo que puede ser manual o digital con memoria de registro temporal.

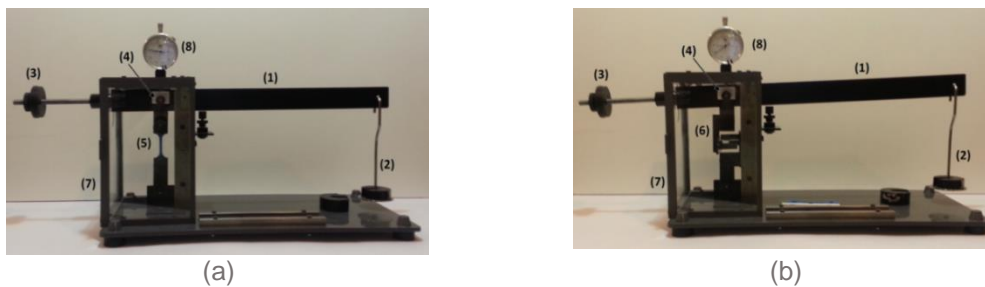


Figura 1: Máquina de ensayo y sus montajes: (a) para tracción, (b) para flexión

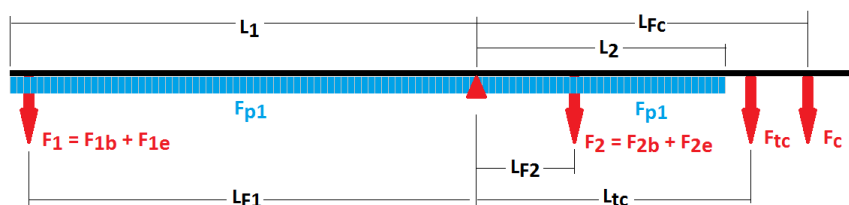


Figura 2: Bosquejo de fuerzas activas en la palanca

En la Figura 2, se muestra el esquema básico fuerzas activas en la palanca, siendo F_1 la carga en el platillo (conformada por F_{1b} y F_{1e} , el peso del platillo y de la carga de ensayo respectivamente), F_2 la carga activa sobre la probeta (conformada por el F_{2b} y F_{2e} , el peso del montaje de probeta y la fuerza activa sobre la probeta, respectivamente), F_{tc} el peso del aplique

roscado porta contrapeso condensado sobre el montaje, F_c el contrapeso, F_{p1} es el peso distribuido de la palanca. Con L_{F1} , L_{F2} , L_{tc} , L_{Fc} , se indican las distancias del centro de la palanca a las fuerzas respectivas, mientras que L_1 y L_2 son los límites de la palanca, según se indica en la mencionada Figura. La ecuación de equilibrio de momentos viene dada por:

$$\frac{1}{2}F_{p1}L_1^2 + (F_{1b} + F_{1e})L_{F1} = \frac{1}{2}F_{p1}L_2^2 + (F_{2b} + F_{2e})L_{F2} + F_cL_{Fc} + F_{tc}L_{tc} \quad (1)$$

De las entidades presentadas en la expresión (1), tan solo F_{1e} , F_{2e} y L_{Fc} no están prefijadas pues son las variables operativas y de calibración previa del ensayo; las restantes se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos del montaje de la palanca

Parámetro	Definición	Valor
L_1	Longitud mayor de la palanca	0,375 m
L_2	Longitud menor de la palanca	0,124 m
L_{F1}	Distancia pivote a carga	0,356 m
L_{F2}	Distancia pivote a probeta	0,038 m
L_{tc}	Distancia pivot a porta contrapeso	0,152 m
F_{p1}	Peso distribuido de la palanca	14,4697 N/m
F_{1b}	Peso platillo/portaplátido	0,7948 N
F_c	Peso Contrapeso	3,2154 N
F_{tc}	Peso Porta-contrapeso	2,5019 N
F_{2b}	Peso Porta-probeta tracción	1,9835 N
	Peso Porta-probeta flexión	2,4804 N

Así pues, a partir de la Ecuación (1) se puede establecer la distancia L_{Fc} necesaria para que en ausencia de cargas externas (es decir $F_{1e}=0$) se tenga una precarga nula (es decir $F_{2e}=0$). Con ello, de la Ecuación (1) y con los valores de la Tabla 1 se tiene:

$$L_{Fc} = 0,221m, \text{ para flexión} \quad (2)$$

$$L_{Fc} = 0,227m, \text{ para tracción} \quad (3)$$

Los valores presentes en las expresiones (2) y (3) están aproximados a la menor unidad de medida factible de registrar (es decir mm), lo cual puede dejar un error de ajuste, que como se ve es pequeño. Ahora bien la relación de ganancia de la palanca sobre el punto anclaje de la probeta en función de la carga sobre el platillo, para los casos de flexión y tracción, se halla reemplazando las Ecuaciones (2) o (3) en la Ecuación (1), obteniéndose indistintamente:

$$F_{2e} = 9,36842F_{1e} - E_r \quad (4)$$

Los valores máximos del error E_r son de orden de 10^{-3} y 10^{-2} para montajes de flexión y tracción respectivamente, contemplando que L_{Fc} puede tener una variabilidad de 10 mm por errores de

montaje u operación, con respecto a las Ecuaciones (2)-(3). Con un simple cálculo efectuado con el máximo de entre los errores y la mínima y la máxima de las pesas disponibles se puede obtener un variación de estimación de la fuerza activa sobre la probeta que oscila entre un 0,005% (para pesas de 29,80 N) y 0.1% (para pesas de 0,98 N).

En la Figura 3 se muestra la geometría y dimensiones de las probetas a emplear en los ensayos de tracción y de flexión. La probeta de tracción tiene la misma geometría de la que vienen empleando los autores en otras publicaciones [12], mientras que la probeta de flexión corresponde al ensayo de la norma ISO 178, para el ensayo de flexión estática de polímeros inyectados o también compuestos reforzados por fibras, misma que ya ha sido empleada en varios artículos concernientes a impresión 3D o materiales compuestos particulares [13]-[14].

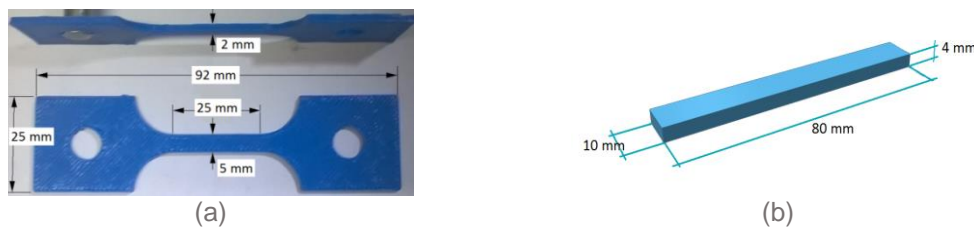


Figura 3: Probetas empleadas: (a) para tracción, (b) para flexión.

Por cuestiones de espacio se sugiere observar los detalles procedimentales del ensayo de tracción en un artículo previo de los autores [12]. Sin embargo a diferencia de la referencia [12] donde se han empleado extensómetros en la zona calibrada, en este trabajo se emplea la medición del movimiento de los extremos. Esto exige contemplar una compensación de la deformación por efectos geométricos, misma que ha sido explicada en estudios previos [15]-[16]. La tensión activa y la deformación específica para el ensayo de tracción se calculan con las siguientes expresiones:

$$\sigma_T = \frac{F_{2e}}{eb}, \quad \varepsilon_T = \frac{\delta_T}{L_T} \quad (5, 6)$$

Siendo e y b las dimensiones de la sección, L_T la longitud de la zona calibrada (25 mm) y δ_T la diferencia de desplazamiento entre los límites de la zona calibrada.

El ensayo de viscoelasticidad bajo flexión en plásticos para impresión 3D no ha recibido atención apropiada, y por tanto se explica con mayor detalle a continuación. Este ensayo corresponde a una configuración de sollicitación correspondiente al caso de flexión de tres puntos (ver norma ISO 178). La tensión y la deformación en la fibra más externa, debido a la carga de ensayo F_{2e} se pueden calcular de la siguiente manera:

$$\sigma_F = \frac{3F_{2e}L}{2bh^2}, \quad \varepsilon_F = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (7,8)$$



Siendo b y h ancho y altura de la probeta indicada en la Figura 3b, σ_F y ε_F la tensión y la deformación en la fibra seccional más comprometida, respectivamente; δ es el desplazamiento flexional en la mitad de la viga; $L = 64$ mm es la distancia entre los centros de los apoyos. Las dimensiones que se muestran en la Figura 3, ciertamente son nominales y para los ensayos se toman los valores de b y h medidos, dado que en el proceso de impresión 3D es muy frecuente que exista alguna tolerancia de fabricación. La norma ISO 178 acepta una tolerancia de $\pm 5\%$. Queda claro que este procedimiento experimental para viscoelasticidad lineal corresponde al caso de ensayo a carga constante. Los pesos tanto de los componentes del equipo cuanto de la carga de ensayo se midieron con balanza digital (resolución de 0,001 N), mientras que las dimensiones de probetas y partes funcionales de la máquina se midió con calibres digitales centesimales. El desplazamiento bajo ensayo se efectuó con comparador de reloj centesimal.

3. ENSAYOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se han construido grupos de 4 probetas para tracción y 4 para flexión para cada uno tres materiales típicos, a saber Poli-ácido Láctico (PLA), Acrilonitrilo-butadieno estireno (ABS) y Poli-estireno de alto impacto (HIPS). En la Tabla 2 se indican los parámetros constructivos y principales características de los mismos. T_p y T_c son las temperaturas de la boquilla y la plataforma, respectivamente, V_c es la velocidad de impresión (correspondientes a la óptima calidad ofrecida por el fabricante de la impresora Prusa MK3, de origen Checo)

Tabla 2. Características y parámetros de impresión de las probetas de tracción y flexión

Material	Color	T_p [°C]	T_c [°C]	V_c [mm/s]
PLA	Rojo	215	60	30
ABS	Dorado	250	100	20
HIPS	Azul	240	90	30

Todas las probetas fueron construidas con espesor de capa de 0.2 mm, y dos tipos distintos de tramados de impresión $\{0^\circ/0^\circ\}_n$ y $\{45^\circ/-45^\circ\}_n$ tal como se ve en la Figura 4, ejemplares de cada caso constructivo, en particular para PLA. Los tres materiales son de la marca comercial High Q&S de venta en Argentina. Luego de la impresión todas las probetas se han mantenido secas en bolsas con desecante (habida cuenta que el ABS y el HIPS son sensibles a la humedad), hasta tanto se sustanciara el ensayo. Tal como se aprecia en la Figura 1, las probetas durante el ensayo están encerradas en un recinto de acrílico en la que se ha mantenido la humedad relativa entre 20% y 25% y la temperatura a 20 ± 2 °C. Se empleó un termo-higrómetro fijado a la máquina para registrar la variación de humedad y temperatura en el recinto de acrílico. La temperatura y la humedad se controlaron con la refrigeración de la sala de ensayo. El rango de las tensiones nominales de ensayo ha sido establecido para 5 MPa, 10 MPa y 20 MPa en los tres materiales. Para garantizar los estados de tensión mencionados, el peso empleado en el

plátillo ha sido ajustado para cada probeta ensayada, en función de sus dimensiones (pues en la construcción de las probetas se tolera por las respectivas normas un error dimensional de $\pm 4\%$ en cada eje de la sección resistente)

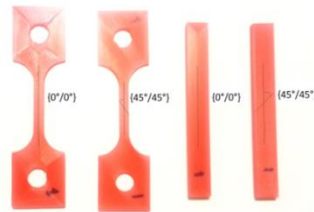


Figura 4: Ejemplo de los tramados de las probetas de PLA (ídem para ABS y HIPS).

Previo a los ensayos de viscoelasticidad se ha empleado un par de probetas de cada tipo (flexión y tracción) y cada material en un ensayo estático monotónico, para determinar las propiedades elásticas estáticas más representativas con el objeto de tener un punto de comparación. En ello se ha empleado una máquina universal automatizada desarrollada previamente [15] para ensayar piezas de plástico en particular. En la Tabla 3 se muestran los valores del módulo de elasticidad a flexión y tracción y tensión de tracción máxima para ensayo estático monotónico convencional.

Tabla 3. Módulos de elasticidad estáticos a tracción (E_T) y flexión (E_F), tensión límite elástica del 2% de deformación (σ_{Y02}) y máxima tensión a tracción (σ_{TM})

Material	Tramado	E_F (MPa)	E_T (MPa)	σ_{Y02} (MPa)	σ_{TM} (MPa)
PLA	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	2531	2390	36.2	42.6
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	1935	2050	31.0	37.5
ABS	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	2076	2182	16.9	21.1
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	1788	1880	12.2	14.1
HIPS	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	1686	1442	12.8	15.2
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	1483	1368	10.5	13.5

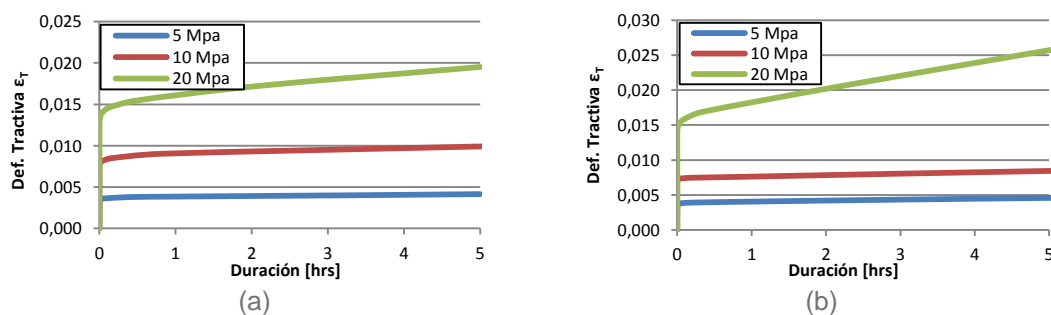


Figura 5: Probetas bajo tracción de PLA: (a) tramado $\{0^\circ/0^\circ\}_n$, (b) tramado $\{45^\circ/-45^\circ\}_n$.

En la Figura 5 se muestra la evolución temporal de la deformación para las probetas de PLA bajo tracción en todas las condiciones de sollicitación. En la Figura 6 se muestra la comparación

de los tres materiales para el caso de tracción a 10 MPa en los tramados $\{0^\circ/0^\circ\}_n$, y $\{45^\circ/-45^\circ\}_n$. Nótese que para el HIPS y el ABS se evidencian deformaciones muy importantes debido a que los niveles de tensión inicial sobrepasan la fluencia del 2% de deformación o bien se acercan mucho a los límites de falla por rotura de los respectivos materiales según se puede comparar con los valores del ensayo estático monotónico de la Tabla 3. En la Figura 7 se hace lo propio para la sollicitación flexional.

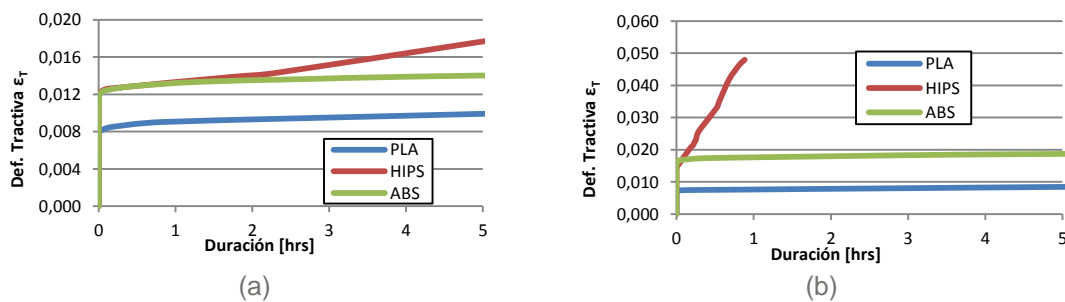


Figura 6: Probetas tracción a 10 MPa: (a) tramado $\{0^\circ/0^\circ\}_n$, (b) tramado $\{45^\circ/-45^\circ\}_n$.

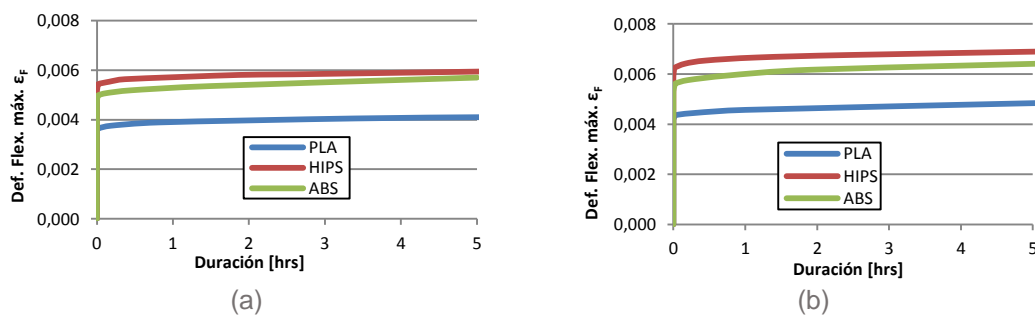


Figura 7: Probetas de flexión a 10 MPa: (a) tramado $\{0^\circ/0^\circ\}_n$, (b) tramado $\{45^\circ/-45^\circ\}_n$.

Con las expresiones (5) y (6) o bien (7) y (8) se puede obtener el módulo de elasticidad de creep efectuando la división entre la tensión activa inicial y la deformación que se registra en el instrumento (criterio de la norma ASTM D2990-01). En la siguiente Tabla 4 se presentan los valores del módulo de elasticidad de creep inicial -en realidad a 2 segundos del inicio- (E_{T0} y E_{F0}) y a 5 horas de ensayo (E_{T5} y E_{F5}), ya en plena de linealidad del creep secundario.

Tabla 4. Módulos de elasticidad creep a tracción (E_T) y flexión (E_F) para 5 MPa

Material	Tramado	Para tracción		Para flexión	
		E_{T0} (MPa)	E_{T5} (MPa)	E_{F0} (MPa)	E_{F5} (MPa)
PLA	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	1466	1205 ^(18%)	3396	2700 ^(20%)
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	1444	1087 ^(25%)	2391	1880 ^(21%)
ABS	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	1182	990 ^(16%)	2665	1912 ^(28%)
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	886	664 ^(25%)	2072	1549 ^(25%)
HIPS	$\{0^\circ/0^\circ\}_n$	967	732 ^(24%)	1915	1582 ^(17%)
	$\{45^\circ/-45^\circ\}_n$	933	722 ^(23%)	1559	1336 ^(14%)



En la Tabla 4 con superíndices se indica el porcentaje de reducción del módulo de creep luego de las cinco horas respecto del valor obtenido en el primer instante. Obsérvese la importante reducción porcentual que se registra en tan solo 5 hs. de iniciado el ensayo y con un nivel tensional relativamente bajo, que para ninguno de los materiales ensayados alcanza un nivel tensional cercano a la mitad de la tensión de fluencia estática respectiva.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un estudio de viscoelasticidad lineal para plásticos empleados en construcción aditiva por deposición de filamento fundido, empleando una simple máquina de ensayo construida “Ad-hoc”. El principal aporte de la máquina reside en facilitar ensayos para probetas de flexión y probetas de tracción (a vista que los dispositivos académicos/profesionales en mercado tan solo ofrecen ésta última). En el ensayo se han caracterizado respuestas de PLA, ABS y HIPS observándose reducciones muy importantes y relativamente en corto tiempo, de la capacidad de resistencia al creep aun para condiciones de laboratorio. Los ensayos están limitados a emplear un conjunto fijo de parámetros de impresión para todos los materiales, aun así permiten observar un patrón particular de respuesta en cada material y cotejarlos entre sí. Ciertamente el estudio de la respuesta viscoelástica con relación a la variación de otros parámetros constructivos arrojará mayores precisiones y detalles de la presente investigación. Sin embargo, no se ha consignado en el presente estudio por razones de espacio.

5. REFERENCIAS

- [1] Ahn S.H., Montero M., Odell D., Roundy S., Wright P.K. *Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 8, n. 4, pp. 248-257, 2002.
- [2] Rodriguez J.F., Thomas J.P., Renaud J.E. *Mechanical behavior of acrylonitrile butadiene styrene (ABS) fused depositions materials. Experimental Investigation*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, n. 3, pp. 148-158, 2001.
- [3] Jones R., Haufe P., Sells E., Iravani P., Olliver V., Palmer C., Bowyer A. *Reprap--the replicating rapid prototyper*. Robotica, Vol.29, n.1, pp. 177–191, 2011.
- [4] Foster A.M. *Materials Testing Standards for Additive Manufacturing of Polymer Materials: State of the Art and Standards Applicability (NISTIR 8059)*. National Institute of Standards and Technology, US Dept of Commerce. 2015. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8059>
- [5] Yoshihara H. *Shear Modulus and Shear Strength Evaluation of Solid Wood by a Modified ISO 15310 Square-Plate Twist Method*. DRVNA INDUSTRIJA Vol. 63, n.1, pp. 51-55, 2012.
- [6] Chacon J.M, Caminero M.A., Garcia-Plaza, E., Núñez P.J., *Additive manufacturing of PLA structures using fused depositing modelling: effect of process parameters on mechanical*



- properties and their optimal selection.* Materials and Design, Vol.124, n.15, pp.143-157, 2017.
- [7] Virgin L. *On the flexural stiffness of 3D printer thermoplastic.* International Journal of Mechanical Engineering Education, Vol. 45, n. 1, pp. 59–75, 2017.
- [8] Molina R., Pender G., Moro L., Piovan M.T. *Creep behavior of a polymer used for 3D printing.* Revista Materia, Vol. 23, No 2, artículo e-12076, 2018
- [9] Tezel T., Kovan V., Topal E.S. *Effects of the printing parameters on short-term creep behaviors of three-dimensional printed polymers.* Journal of Applied Polymer Science, Vol.136, art. 47564. DOI: 10.1002/APP.47564, 2019.
- [10] Gunt Hamburg Gerätebau GmbH. WP600: Máquina de ensayo de fluencia. <https://www.gunt.de/es/productos/mecanica-y-diseno-mecanico/ensayo-de-materiales/fatiga-del-material/ensayo-de-fluencia/020.60000/wp600/glct-1:pa-150:ca-37:pr-1658>
- [11] Tecquipment LTD. SM1006 Creep Machine. <https://www.tecquipment.com/es/creep-testing-machine>.
- [12] Molina R., Pender G., Moro L., Piovan M.T. *Creep behaviour of a polymer used for 3D printing (Comportamiento al creep de un polímero utilizado para impresión 3D).* Revista Matéria, 23(2), 2018.
- [13] Stechina D., Mendoza S.M., Martín H.D., Maggi C.N., Piovan M.T. *Determination of elastic properties of polymeric pieces constructed by 3D printing, subjected to bending.* Revista Matéria, 25(2), DOI:10.1590/S1517-707620200002.1017.2020
- [14] Armas-Ruiz D., Ruiz-Galarza S., Piovan M.T., Carrión-Matamoros L., Narváez-Muñoz C. *Characterization of Mechanical Properties of Fiber Banana Crust and Stem Body.* Científica: The Mexican Journal of Electromechanical Engineering 20(1), 21-31. 2016.
- [15] Mainetti C.A., Romero A.E., Piovan M.T. *Development of automated testing machine for polymers used in 3D printing (Desarrollo de Banco Automatizado para Ensayos de Polímeros Utilizados en Impresión 3D).* Revista Tecnología y Ciencia 38, 50-66, 2020. DOI:<https://doi.org/10.33414/rtyc.38.50-66.2020>.
- [16] Piovan M.T., Mainetti C., Romero A., Stechina D., Mendoza S., Martín H.D., Maggi C.N. *Propiedades a tracción de probetas construidas por impresión 3D: Homologación de resultados bajo diversas metodologías de ensayo.* CAIM 2018, Tucumán, Argentina, 10-12.oct.2018.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Tecnológica Nacional a través de los proyectos PID 4762TC, PID 4763TC y a CONICET por el apoyo a la presente investigación.