



# LaserForm Ti Gr23 (A)

Aleación de titanio ajustada con precisión para su uso con las impresoras 3D en metal DMP Flex 100, DMP Flex 200, DMP Flex 350, DMP Factory 350, DMP Flex 350 Dual, DMP Factory 500 y DMP Factory 350 Dual. Produce piezas técnicas y médicas con una combinación de alta resistencia específica y excelente biocompatibilidad. LaserForm Ti Gr23 (A) es de grado ELI (intersticial extrabajo) con menor contenido de hierro, carbono y oxígeno, y es conocido por su mayor pureza que LaserForm Ti Gr5 (A), lo que se traduce en una mejor ductilidad y resistencia a la fractura.

LaserForm Ti Gr23 (A) está formulado para ofrecer la mejor calidad y las mejores propiedades de las piezas. La base de datos de parámetros de impresión que 3D Systems proporciona junto con el material ha sido desarrollada, probada y optimizada ampliamente en instalaciones de producción de piezas de 3D Systems, que cuentan con la experiencia única de haber impreso más de 1 000 000 de piezas de producción complejas año tras año. En función de una gran cantidad de muestras de pruebas, las propiedades descritas a continuación ofrecen al usuario una gran confianza en cuanto a la capacidad de repetición de un trabajo al otro y de una máquina a otra. Utilizar materiales LaserForm le permite al usuario experimentar una calidad de piezas uniforme y confiable.

## Descripción del material

Esta aleación de titanio es muy común en aplicaciones médicas y aeroespaciales debido a su alta resistencia, baja densidad y excelente biocompatibilidad. La diferencia esencial entre Ti6Al4V ELI (grado 23) y Ti6Al4V (grado 5) es la reducción del contenido de oxígeno a 0,13 % (máximo) en el grado 23. Esto mejora la maleabilidad y resistencia a las fracturas, con la fuerza un poco reducida.

Estas ventajas hacen de LaserForm TiGr23 (A) el grado de titanio más utilizado en los sectores médico y aeroespacial. Puede utilizarse en aplicaciones biomédicas, como implantes quirúrgicos, instrumentos de ortodoncia y reemplazos articulares debido a su biocompatibilidad.

## Clasificación

Las piezas fabricadas con la aleación LaserForm Ti Gr23 (A) tienen una composición química que cumple las normas ASTM F3001, ASTM F3302, ISO 5832-3, ASTM F136 y ASTM B348.

## Propiedades mecánicas

DMP FLEX 350, DMP FACTORY 350 - LT 30, 60, 90 <sup>1, 4, 5, 6, 7</sup>	PRUEBA MÉTODO	SISTEMA MÉTRICO		EE. UU.	
		SR <sup>2</sup>	HIP <sup>2</sup>	SR <sup>2</sup>	HIP <sup>2</sup>
Resistencia a la tensión final (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8M	1060 ± 15	990 ± 25	154 ± 2	144 ± 4
		1060 ± 15	990 ± 30	154 ± 2	144 ± 4
Resistencia a la fluencia Rp0,2 % (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8M	970 ± 15	890 ± 30	141 ± 2	129 ± 4
		960 ± 20	900 ± 50	139 ± 3	130 ± 7
Elongación plástica (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8M	15 ± 3	17 ± 3	15 ± 3	17 ± 3
		15 ± 2	17 ± 4	15 ± 2	17 ± 4
Reducción de la superficie (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8M	40 ± 8	46 ± 9	40 ± 8	46 ± 9
		44 ± 7	48 ± 6	44 ± 7	48 ± 6
Fatiga (MPa   ksi)	ASTM E466	Valor habitual 640	NA	Valor habitual 92	-

DMP FLEX 350 DUAL, DMP FACTORY 350 DUAL - LT 30, 60, 90 <sup>5, 7, 8</sup>	PRUEBA MÉTODO	SISTEMA MÉTRICO		EE. UU.	
		SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>	SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>
Resistencia a la tensión final (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	1045 ± 15	955 ± 20	152 ± 2	138 ± 3
		1040 ± 10	960 ± 20	152 ± 2	139 ± 3
Resistencia a la fluencia Rp0,2 % (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	940 ± 20	845 ± 20	135 ± 3	123 ± 3
		950 ± 40	835 ± 20	137 ± 4	121 ± 3
Elongación plástica (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	19 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	17 ± 4
		19 ± 3	19 ± 3	18 ± 3	19 ± 3
Reducción de la superficie (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5
		50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5

<sup>1</sup> Las piezas se fabricaron con los parámetros estándar en DMP Flex y Factory 350, Config A

<sup>2</sup> Los valores se basan en un intervalo de tolerancia promedio y del 95 % con un 95 % de confianza

<sup>3</sup> Los valores se basan en un conjunto de datos limitado

<sup>4</sup> Probado de acuerdo con ASTM E8M utilizando una muestra de prueba de tensión redonda tipo 4

<sup>5</sup> Probado de acuerdo con ASTM E8 utilizando una muestra de prueba de tensión redonda tipo 4

<sup>6</sup> Pruebas de fatiga axial controladas por fuerza (R=0,1). Límite de resistencia en ciclos de  $5 \times 10^6$ .

Muestras de fatiga con superficie mecanizada. Valores basados en muestras limitadas, solo para fines informativos.

<sup>7</sup> NHT: Condición sin tratamiento térmico; SR: Condición con alivio de esfuerzo; HIP: Condición de prensado isostático en caliente

<sup>8</sup> Piezas fabricadas con parámetros estándar en DMP Flex y Factory 350 Dual, Config A, utilizando un grosor de capa de 30 µm, 60 µm y 90 µm

<sup>9</sup> Piezas fabricadas con parámetros estándar en DMP Factory 500, utilizando un grosor de capa de 60 µm (LT60)

## Propiedades mecánicas

DMP FACTORY 500 - LT 60 <sup>2, 5, 7, 9</sup>	PRUEBA MÉTODO	SISTEMA MÉTRICO			EE. UU.	
		NHT	SR	NHT	SR	
Resistencia a la tensión final (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	1310 ± 20 1290 ± 40	1060 ± 15 1060 ± 25	190 ± 3 187 ± 6	154 ± 2 154 ± 4	
Resistencia a la fluencia Rp0,2 % (MPa   ksi) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	1150 ± 20 1150 +30/-55	960 ± 15 950 ± 30	167 ± 3 167 +4/-8	139 ± 2 138 ± 4	
Elongación plástica (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3	
Reducción de la superficie (%) Dirección horizontal — XY Dirección vertical — Z	ASTM E8	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4	

DMP FLEX 100 - LT30 <sup>4, 7, 10, 11</sup>	MÉTODO DE PRUEBA	SISTEMA MÉTRICO			EE. UU.		
		NHT	SR	HIP	NHT	SR	HIP
Resistencia final (MPa   ksi) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8M	1310 ± 150 1280 ± 70	1060 ± 60 1040 ± 30	1020 ± 60 1020 ± 60	190 ± 22 186 ± 10	154 ± 9 151 ± 4	148 ± 9 148 ± 9
Resistencia a la fluencia Rp0,2 % (MPa   ksi) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8M	1130 ± 140 1070 ± 70	960 ± 40 930 ± 40	930 ± 60 930 ± 60	164 ± 20 155 ± 10	139 ± 6 135 ± 6	135 ± 9 135 ± 9
Elongación plástica (%) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8M	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4
Reducción de la superficie (%) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8M	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10

DMP FLEX 200 - LT30 <sup>2, 5, 7, 16</sup>	MÉTODO DE PRUEBA	SISTEMA MÉTRICO		EE. UU.	
		SR		SR	
Resistencia final (MPa   ksi) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8	1120 ± 40 1130 ± 55		162 ± 6 164 ± 8	
Resistencia a la fluencia Rp0,2 % (MPa   ksi) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8	1025 ± 40 1040 ± 75		149 ± 6 151 ± 11	
Elongación plástica (%) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8	13 ± 4 15 ± 7		13 ± 4 15 ± 7	
Reducción de la superficie (%) Dirección horizontal - XY Dirección vertical - Z	ASTM E8	30 ± 10 40 ± 25		30 ± 10 40 ± 25	

## Densidad

MEDICIÓN	MÉTODO DE PRUEBA	SISTEMA MÉTRICO	EE. UU.
Densidad teórica <sup>12</sup> (g/cm <sup>3</sup>   lb/in <sup>3</sup> )	Valor según documentación	4,42	0,16
<b>DMP Flex 100</b>			
Densidad relativa (%), grosor de capa 30 µm <sup>10, 13, 14</sup>	Método óptico (cantidad de píxeles)	≥ 99,4 Valor habitual 99,9	≥ 99,4 Valor habitual 99,9
<b>DMP Flex 200</b>			
Densidad relativa (%), grosor de capa 30 µm <sup>13, 14, 16</sup>	Método óptico (cantidad de píxeles)	≥ 99,5 Valor habitual 99,9	≥ 99,5 Valor habitual 99,9
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500</b>			
Densidad relativa (%), grosor de capa 30 µm <sup>1, 8, 13, 14</sup>	Método óptico (cantidad de píxeles)	≥ 99,6 Valor habitual 99,8	≥ 99,6 Valor habitual 99,8
Densidad relativa (%), grosor de capa 60 µm <sup>1, 8, 9, 13, 14</sup>	Método óptico (cantidad de píxeles)	≥ 99,6 Valor habitual 99,8	≥ 99,6 Valor habitual 99,8
Densidad relativa (%), grosor de capa 90 µm <sup>8, 13, 14</sup>	Método óptico (cantidad de píxeles)	≥ 99,6 Valor habitual 99,8	≥ 99,6 Valor habitual 99,8

<sup>10</sup> Piezas fabricadas con parámetros estándar en DMP Flex 100, utilizando un grosor de capa de 30 µm (LT30)

<sup>11</sup> Los valores se basan en una desviación estándar promedio y doble

<sup>12</sup> Los valores se basan en la documentación

<sup>13</sup> Puede variar según la geometría de la pieza específica

<sup>14</sup> Valor mínimo basado en un intervalo de tolerancia del 95 % con una confianza del 95 %; probada en formas de prueba de densidad habituales

<sup>15</sup> Resultados obtenidos en condiciones como impresión

<sup>16</sup> Piezas fabricadas con parámetros estándar en DMP Flex 200, utilizando un grosor de capa de 30 µm (LT30)

<sup>17</sup> Medición vertical de la superficie lateral a lo largo de la dirección de la construcción

<sup>18</sup> Tratamiento de la superficie realizado con abrasivos de zirconio a 5 bar

## Aspereza de la superficie $R_a$

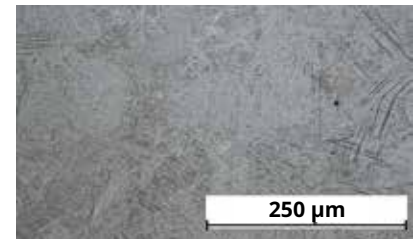
MEDICIÓN <sup>13</sup>	MÉTODO DE PRUEBA	SISTEMA MÉTRICO	EE. UU.
<b>DMP Flex 100, DMP Flex 200<sup>10, 15, 16, 17</sup></b>			
Superficie lateral vertical ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) Grosor de capa 30 $\mu\text{m}$	NF EN ISO 4288	Valor habitual 9	Valor habitual 354
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500<sup>17,18</sup></b>			
Superficie lateral vertical ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1, 8</sup> Grosor de capa 30 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Valor habitual 7	Valor habitual 276
Superficie lateral vertical ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1, 8</sup> Grosor de capa 60 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Valor habitual 9	Valor habitual 354
Superficie lateral vertical ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>8</sup> Grosor de capa 90 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Valor habitual 10	Valor habitual 394

## Propiedades eléctricas y térmicas

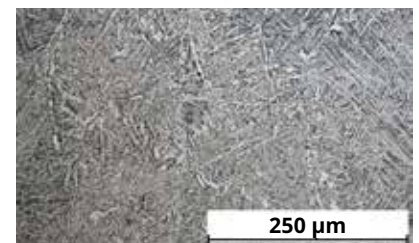
MEDICIÓN	CONDICIÓN	SISTEMA MÉTRICO	EE. UU.
Conductividad eléctrica <sup>3</sup> ( $S/m$ ) [ $\times 10^3$ ]	Contacto de cuatro puntos, ASTM B193 a 20 °C/68 °F	5,9 ± 0,1	5,9 ± 0,1
Conductividad térmica <sup>12</sup> ( $W/(m.K)$   $BTU$ pulgada/( $hr.ft^2.°F$ ))	a 20 °C/68 °F	6,70	46,5
Coefficiente de expansión térmica <sup>12</sup> ( $\mu\text{m}/(m.°C)$   $\mu$ pulgada/(pulgada. °F))	en el rango de 20 a 100 °C	8,6	4,8
Rango de fusión <sup>12</sup> (°C   °F)		1604 - 1660	2919 - 3020

## Composición química

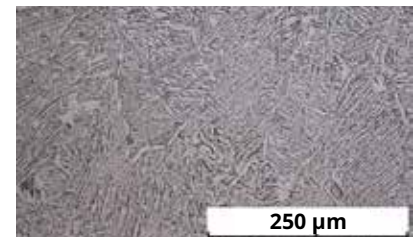
ELEMENTO	% DE PESO
Ti	Bal.
lbf	≤ 0,03
C	≤ 0,08
H	≤ 0,012
Fe	≤ 0,25
O	≤ 0,13
Al	5,50 - 6,50
V	3,50 - 4,50
Y	≤ 0,005
Otro (cada uno)	≤ 0,10
Otro (total)	≤ 0,40



Microestructura sin tratamiento térmico (NHT)



Microestructura después de alivio de esfuerzo (SR)



Microestructura después del prensado isostático en caliente (HIP)

## Requisitos de composición química (porcentaje de peso)<sup>A</sup>

Material	Carbono, máximo	Oxígeno, máximo	Nitrógeno, máximo	Hidrógeno, máximo	Hierro, máximo	Aluminio	Vanadio	Itrio, máximo	Otros elementos, máximo, cada uno <sup>B</sup>	Otros elementos, máximo, total <sup>B</sup>
CP <sup>C</sup> TI	0,08	0,35	0,05	0,015	0,30	—	—	—	0,10	0,40
Ti-6Al-4V	0,08	0,20	0,05	0,015	0,30	5,50 - 6,75	3,50 - 4,50	0,005	0,10	0,40
Ti-6Al-4V ELI <sup>D</sup>	0,08	0,13	0,05	0,012	0,25	5,50 - 6,50	3,50 - 4,50	0,005	0,10	0,40

<sup>A</sup> No es necesario determinar ni certificar el porcentaje de contenido de titanio por diferencia.

<sup>B</sup> No es necesario informar de otros elementos a menos que el nivel de concentración sea superior a 0,1 % cada uno, o 0,4 % en total. No se añadirán otros elementos de forma intencionada. Otros elementos pueden estar presentes en las aleaciones de titanio en pequeñas cantidades y son inherentes al proceso de fabricación. En el titanio, estos elementos suelen incluir estaño, cromo, molibdeno, niobio, circonio, hafnio, bismuto, rutenio, paladio, cobre, silicio, cobalto, tántalo, níquel, boro, manganeso y tungsteno.

<sup>C</sup> El titanio CP (comercialmente puro) en este estándar es similar a UNS R50550 o al titanio de grado 3.

<sup>D</sup> ELI (intersticial extrabajo) denota restricciones de composición química de la aleación Ti-6Al-4V original de elementos que se sabe que afectan el rendimiento del material.