

# Tabla de Contenido

1	Introducción .....	1
1.1	Antecedentes generales .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.2.1	Objetivo general .....	2
1.2.2	Objetivos específicos .....	2
1.3	Alcances .....	2
2	Antecedentes .....	3
2.1	Definiciones generales de fatiga .....	3
2.1.1	Factores de modificación al límite de fatiga .....	5
2.1.2	Aproximaciones de vida a la fatiga .....	7
2.1.3	Estudios de fatiga y normas relacionadas .....	9
2.2	Rugosidad superficial .....	12
2.2.1	Aproximación teórica a la rugosidad superficial .....	12
2.2.2	Irregularidades superficiales .....	14
2.3	Operaciones de torno y desgaste de herramienta .....	15
2.3.1	Parámetros de corte en torno .....	15
2.3.2	Desgaste de herramienta .....	16
2.4	Estado del arte y estudios previos .....	17
2.4.1	Efectos de manufactura en titanio .....	17
2.4.2	Ensayos de fatiga en función de integridad superficial .....	18
3	Metodología .....	19
3.1	Secuencia metodológica .....	19
3.2	Recursos .....	20
3.2.1	Recursos no financieros .....	20
3.2.2	Recursos financieros .....	21
4	Resultados y análisis .....	22
4.1	Selección del tipo de ensayo .....	22

4.1.1	Materia prima.....	22
4.1.2	Geometría de la Probeta.....	23
4.1.3	Proceso de manufactura para conformación de probetas.....	24
4.2	Diseño experimental.....	27
4.2.1	Parámetros de corte y valores medios.....	28
4.2.2	Arreglos Ortogonales.....	30
4.3	Resultados de fabricación.....	31
4.3.1	Desgaste de la herramienta.....	32
4.3.2	Ensayo de tracción.....	35
4.4	Rugosidad superficial.....	36
4.4.1	Perfilómetro de contacto.....	36
4.4.2	Microscopía óptico digital.....	37
4.4.3	Relación con las variables.....	39
4.5	Ensayos de fatiga.....	40
4.5.1	Determinación de cargas.....	40
4.5.2	Numero de ciclos de falla.....	41
4.5.3	Desplazamiento, deformación y endurecimiento.....	43
5	Discusiones.....	45
5.1	Variables de corte e integridad superficial.....	45
5.2	Diseño experimental y fabricación.....	46
5.3	Vida a la fatiga.....	47
6	Conclusiones.....	48
7	Bibliografía.....	49
	ANEXOS.....	51
	A. Desgaste de las herramientas.....	51
	B. Tablas de rugosidad con perfilómetro de contacto.....	66
	C. Gráficos de endurecimiento.....	68

## Índice de Figuras

Figura 2.1: a) Representación genérica de un diagrama esfuerzo vida y b) un ciclo alternante de esfuerzos [1].....	3
Figura 2.2: Diagrama de la resistencia a la fatiga en función del límite elástico [1].....	5
Figura 2.3: Diagrama de los criterios de fatiga [1].....	8
Figura 2.4: Geometrías de ASTM E606 para ensayo uniaxial [3].....	9
Figura 2.5: Viga rotativa de Moore y las especificaciones para la geometría. [1].....	10
Figura 2.6: Flexión a cuatro puntos genérica.....	11
Figura 2.7: Esquemas de montaje para el estudio de fatiga en una viga en voladizo [10].....	11
Figura 2.8: Esquema de superficie mecanizada con herramienta elíptica. Adaptado de [3].....	12
Figura 2.9: Representación gráfica de diferenciación entre ondulación y rugosidad en una superficie. Adaptado de [4].....	15
Figura 2.10: Esquema de los parámetros de corte en torno. [5].....	16
Figura 2.11: Representación genérica de curva de desgaste de herramienta. [6].....	17
Figura 3.1: Diagrama de flujo metodológico involucrado. Elaboración propia.....	19
Figura 4.1: Barra inicial de Ti-6Al-4V para la fabricación de probetas de fatiga.....	22
Figura 4.2: Dimensiones nominales de las probetas de fatiga. Elaboración propia.....	24
Figura 4.3: Diagrama CAD del cilindrado y ranurado de la materia prima. Elaboración propia.....	25
Figura 4.4: Imagen del proceso de corte en sierra de banda. Elaboración propia.....	25
Figura 4.5: Secuencia de refrentado y generación de cuello en cada disco. Elaboración propia.....	26
Figura 4.6: Esquema de corte con electroerosión para la obtención de seis probetas en cada disco. Elaboración propia.....	27
Figura 4.7: Insertos utilizados identificando los bordes de ataque y de alivio. Fuente catálogo SECO Tools.....	28
Figura 4.8: Gráficos de desgaste de acondicionamiento para insertos desgastados. Elaboración propia.....	29
Figura 4.9: Ejemplo de imágenes de desgaste de inserto. En este caso es el inserto WCP-3-Derecho. Elaboración propia.....	30
Figura 4.10: Grafico de desgaste de las herramientas. Elaboración propia.....	33
Figura 4.11: Desgaste versus tiempo de corte final de las herramientas nuevas y pre-acondicionadas. Elaboración propia.....	34
Figura 4.12: Imagen de falla de herramienta WCP-5.....	34
Figura 4.13: Gráficos del ensayo de tracción. Elaboración propia.....	35
Figura 4.14: Perfilómetro de contacto Mitutoyo SJ-210 y zonas de medición. Catálogo Mitutoyo y elaboración propia.....	37
Figura 4.15: Grafico de las rugosidades con perfilómetro para cada especificación del diseño experimental. Elaboración propia.....	37
Figura 4.16: Comparación de los datos de rugosidad con ámbos métodos y la aproximación teórica. Elaboración propia.....	38
Figura 4.17: Gráficos para la respuesta de la rugosidad sobre cada una de las variables de corte. Elaboración propia.....	39
Figura 4.18: Referencia del diseño experimental con criterios de fatiga y proyecciones del esfuerzo alternante equivalente. Elaboración propia.....	40
Figura 4.19: Gráfico S-N de los ensayos de fatiga, separados por grupos de prueba. Elaboración propia.....	41

Figura 4.20: Gráfico general de los resultados de fatiga identificando la especificaciones. Elaboración propia.....	42
Figura 4.21: Gráfico S-N, identificando la especificación y una proyección exponencial. Elaboración propia.....	42
Figura 4.22: Curvas de numero de ciclos en funcion de la rugosidad para distintos niveles de esfuerzo. Elaboración propia .....	43
Figura 4.23: Gráficos de endurecimiento. Elaboración propia.....	44
Figura 5.1: Esquema del efecto “wiper”. [26] .....	45

## Índice de Tablas

Tabla 2-1: Resumen del factor de modificación de calidad superficial [1] .....	5
Tabla 2-2: Factores de modificación de confiabilidad para diversos intervalos [1] .....	7
Tabla 2-3: Resumen de las expresiones para cada criterio de falla. Adaptado de [1] .....	8
Tabla 2-4: Longitudes de onda de corte para rangos de rugosidad. Adaptado de ISO 4288-96 ..	15
Tabla 2-5: Efectos de los parámetros de torno sobre el material y herramienta. Adaptado [15]..	18
Tabla 4-1: Requerimientos químicos para Ti-6Al-4V. Adaptado de ASTM B265 [11] .....	23
Tabla 4-2: Requerimientos Mecánicos para Ti-6Al-4V. Adaptado de ASTM B265 [11].....	23
Tabla 4-3: Parámetros de corte y los niveles de variación para cada uno. Elaboración propia....	31
Tabla 4-4: Arreglos ortogonales para diseños de Taguchi L9 y Factorial Fraccionado. Elaboración propia. ....	31
Tabla 4-5: Resultados para los desgastes de herramientas. Elaboración propia.....	32
Tabla 4-6: Resumen de resultados de rugosidad para cada especificación. Elaboración propia. .	38
Tabla 4-7: Cargas propuestas para cada grupo nominales y las cargas medias obtenidas. Elaboración propia. ....	41