

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances	2
2. Antecedentes	4
2.1. Transporte de Sólidos Bajo Presión	4
2.2. Flujos de Pulpa	5
2.2.1. Flujo Homogéneo	5
2.2.2. Flujo Heterogéneo	5
2.2.3. Regímenes de Flujos Intermedios	6
2.3. Pulpas no-Newtonianas	6
2.4. Ecuaciones de Flujo Incompresible	8
2.5. Simulación CFD de Pulpas Minerales	8
2.5.1. Tipos de Solver	8
2.5.2. Métricas de Calidad de Malla	9
2.5.3. Modelos de Turbulencia	13
2.6. Turbinas de Discos Paralelos	17
2.7. Curvas Características	18
2.8. Números Adimensionales en Turbinas Tesla	19
3. Metodología de Trabajo	20
4. Modelación Computacional	22
4.1. Geometrías	22
4.2. Mallados	23
4.3. Prueba de Independencia de Malla	27
4.4. Configuración del Software	28
4.4.1. Configuración General	28
4.4.2. Ecuaciones a resolver	29
4.4.3. Materiales	29
4.4.4. Condiciones de Borde	29
4.4.5. Algoritmo de Resolución	31
4.4.6. Monitores y Convergencia	31
4.5. Verificación de Resultados	32

5. Resultados y Discusión	38
5.1. Curvas Características	38
5.2. Torques	46
5.3. Fluido-dinámica	49
6. Conclusiones	52
Bibliografía	54
Anexos	56
A. Datos Simulaciones	56

Índice de Tablas

4.1. Elementos y métricas de calidad de malla para ambas geometrías	26
4.2. Elementos y métricas críticas de calidad de malla para los mallados creados para la prueba de independencia de malla	27
4.3. Potencias y caídas de presión obtenidas con cada mallado para la prueba de independencia de malla	28
4.4. Velocidades radiales a la entrada del rotor de los modelos con ribs y sin ribs	31
4.5. Elementos y métricas de calidad de malla para la geometría de verificación .	33
5.1. Comparación torques en modelos sin ribs y con ribs	47
A.1. Flujos máxicos de entrada y salida con su error relativo, y tiempos de simulación de los modelos sin ribs	57
A.2. Presiones de entrada, salida, y caída de presión en el rotor de los modelos sin ribs	58
A.3. Torque producido por los pasadores, por los discos, torque total, y porcentajes de cada uno de estos torques respecto al torque total de los modelos sin ribs	59
A.4. Potencia disponible, potencia en el eje, y rendimiento global del rotor de los modelos sin ribs	60
A.5. Flujos máxicos de entrada y salida con su error relativo, y tiempos de simulación de los modelos con ribs	61
A.6. Presiones de entrada, salida, y caída de presión en el rotor de los modelos con ribs	62
A.7. Torque producido por los pasadores, por los discos, por los ribs, torque total, y porcentajes de cada uno de estos torques respecto al torque total de los modelos con ribs	63
A.8. Potencia disponible, potencia en el eje, y rendimiento global del rotor de los modelos con ribs	64
A.9. Datos utilizados para determinar una expresión para el esfuerzo de corte de pared para la verificación de los modelos computacionales	65

Índice de Ilustraciones

2.1.	Curvas de esfuerzo de corte-tasa de corte típicas para distintos fluidos viscosos	7
2.2.	Skewness para distintos elementos planos	10
2.3.	Vectores relevantes para el cálculo de la calidad ortogonal de un elemento	11
2.4.	Ejemplo de cálculo de tasa de aspecto en un cubo	12
2.5.	Prototipo de Turbina patentado por Nikola Tesla	17
3.1.	Diagrama de Bloques de la Metodología de Trabajo	20
4.1.	Dimensiones turbina Tesla sin ribs	23
4.2.	Dimensiones turbina Tesla con ribs	24
4.3.	Negativo turbina Tesla con ribs	24
4.4.	Detalle interno de la malla utilizada en los modelos sin ribs	25
4.5.	Subdivisiones de geometría con ribs	26
4.6.	Condiciones de borde en la entrada y salida del rotor	30
4.7.	Líneas de corriente del modelo hipotético utilizado para la verificación de las simulaciones.	33
5.1.	Curva característica de potencia versus caudal para el modelo sin ribs	38
5.2.	Curva característica de caída de presión versus caudal para el modelo sin ribs	39
5.3.	Curva característica de rendimiento versus caudal para el modelo sin ribs	39
5.4.	Curva característica de potencia versus caudal para el modelo con ribs	40
5.5.	Curva característica de caída de presión versus caudal para el modelo con ribs	40
5.6.	Curva característica de rendimiento versus caudal para el modelo con ribs	41
5.7.	Superposición de curvas características de potencia versus caudal para los modelos con Ribs y sin ribs	41
5.8.	Superposición de curvas características de caída de presión versus caudal para los modelos con ribs y sin ribs	42
5.9.	Superposición de curvas características de rendimiento versus caudal para los modelos con y sin ribs	42
5.10.	Curvas características de rendimiento versus caudal y velocidad de giro para los modelos sin ribs	43
5.11.	Curvas características de rendimiento versus caudal y velocidad de giro para los modelos con ribs	43
5.12.	Curvas de operación de turbina sin ribs para el caso en estudio	44
5.13.	Curvas de operación de turbina con ribs para el caso en estudio	44
5.14.	Porcentajes relativos de torques en modelos sin ribs	46
5.15.	Porcentajes relativos de torques en modelos con ribs	47

5.16. Comparación entre los esfuerzos de corte producidos para distintos caudales a una velocidad de giro fija	48
5.17. Comparación entre los esfuerzos de corte producidos para distintas velocidades de giro a un caudal fijo	48
5.18. Líneas de corriente al interior del rotor sin ribs	49
5.19. Líneas de corriente al interior del rotor con ribs	50
5.20. Campo de velocidades relativas sobre una superficie cercana al disco en el rotor sin ribs	51