

Contenido

Resumen	IV
Kurzfassung	V
Índice de símbolos	IX
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	5
2.1. Hornos rotatorios	5
2.1.1. Características técnicas	5
2.1.2. Clasificación	8
2.1.3. Procesamiento de biomasa	9
2.2. Transporte de cargas a granel en hornos rotatorios	13
2.2.1. Variables de operación de los hornos rotatorios	13
2.2.2. Variables de los procesos termoquímicos de biomasa	14
2.2.3. Productos del procesamiento termoquímico	16
2.3. Flujos granulares en hornos rotatorios	18
2.3.1. Modelación del transporte de cargas a granel	20
2.3.2. Caracterización de sólidos	21
2.3.3. Selección de materias primas	23
3. Planteamiento del modelo matemático	29
3.1. Transporte axial de cargas a granel en cilindros rotatorios	29
3.2. Movimiento transversal en cilindros rotatorios	34
3.2.1. Movimiento de deslizamiento	38
3.2.2. Movimiento de avalancha	42
3.2.3. Movimiento de rodado	46
3.2.4. Mezclado de partículas	54
3.3. Propiedades de los materiales sólidos	55
3.3.1. Densidad	55

3.3.2. Tamaño de granos	56
3.3.3. Ángulos característicos	56
3.4. Modelo matemático	58
4. Sección experimental	65
4.1. Plan de experimentos	65
4.1.1. Tiempos de residencia de la carga a granel en el cilindro	65
4.1.2. Movimiento transversal de la carga a granel	66
4.1.3. Propiedades de los materiales sólidos	68
4.2. Equipos e instrumentación	68
4.3. Procedimiento y ejecución de experimentos	71
5. Resultados y discusión	75
5.1. Caracterización de las materias primas	75
5.2. Tipos de movimiento transversal	79
5.2.1. Caracterización del movimiento de deslizamiento	79
5.2.2. Caracterización del movimiento de avalancha	80
5.2.3. Caracterización del movimiento de rodado	83
5.3. Tiempos de permanencia y perfiles de altura	84
5.3.1. Efecto del grado de llenado	86
5.3.2. Efecto de la inclinación del reactor	87
5.3.3. Efecto de la velocidad de rotación	87
5.3.4. Efecto de los anillos de retención	87
5.4. Capas activa y pasiva del movimiento de rodado	95
6. Perspectivas	99
6.1. Capacidad instalada de las plantas extractoras	99
6.2. Flujos máscos de cuesco de palma	100
6.3. Cargas a granel de cuesco y carbonizados	101
6.4. Carbonización de cuesco de palma	101
6.5. Parámetros de operación del horno rotatorio	102
6.6. Dimensionamiento geométrico del reactor	102
7. Conclusiones	105