

Índice

Agradecimientos	5
Dedicatoria	7
Prólogo	9
Índice	11

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1- Introducción	19
1.2- Historia y evolución de la clasificación y el cribado	20

CAPÍTULO 2. CRIBADO MECÁNICO

2.1- Definición	29
2.2- Teoría del cribado	30
2.2.1- El rendimiento o eficiencia de cribado	31
2.2.2- Cálculo de la superficie de cribado	36
2.2.3- Espesor óptimo del lecho o capa de cribado	43
2.2.4- Elección de la luz de malla en función del tamaño de corte	44
2.2.5- Parámetros de las cribas	46
2.2.5.1- <i>Frecuencia, amplitud del material y longitud del recorrido</i> (<i>longitud de carrera</i>)	46
2.2.5.2- <i>Velocidad de rotación y aceleración</i>	47
2.2.5.3- <i>Ángulo de carrera</i>	48
2.2.5.4- <i>Inclinación de la superficie</i>	48
2.2.5.5- <i>Velocidad de avance</i>	48
2.2.5.6- <i>Longitud y anchura de la criba</i>	48
2.2.5.7- <i>Factor de piso</i>	49
2.2.5.8- <i>Superficie efectiva de cribado</i>	50
2.2.5.9- <i>Características de las mallas de la criba</i>	50
2.2.5.10- <i>Alimentación y distribución del material</i>	50
2.2.6- Optimización de las cribas	51

CAPÍTULO 3. SUPERFICIES DE CRIBADO

3.1- Elección de las superficies de cribado	55
3.1.1- Efecto de la inclinación de la superficie de cribado	56
3.2- Tipos de superficies de cribado	57
3.2.1- Parrillas de barras	57
3.2.2- Chapas perforadas	59
3.2.3- Mallas metálicas	61
3.2.3.1- Cuadradas	64
3.2.3.2- Rectangulares	66
3.2.3.3- Mallas metálicas anticolmatado	68
3.2.3.3.1- Recta	69
3.2.3.3.2- Onda	70
3.2.3.3.3- Recto onda	71
3.2.3.3.4- Doble onda	72
3.2.3.3.5- Otros modelos de mallas anticolmatantes	73
3.2.3.4- Tipos de pliegues	74
3.2.3.5- Tensión de las mallas	75
3.2.4- Rejillas filtrantes	76
3.2.5- Superficies cribantes de poliuretano	77
3.2.5.1- Ventajas e inconvenientes de las mallas de poliuretano frente a las metálicas	83
3.2.6- Superficies cribantes de goma	84
3.2.7- Otras superficies cribantes	88
3.2.8- Control de las dimensiones de paso	89
3.2.9- Resumen comparativo de las aplicaciones de las superficies de cribado ..	91
3.2.10- Análisis de costes en caso de desclasificación de las mallas	93
3.2.11- Especificaciones de las mallas y su significado	94
3.2.12- Recomendaciones a la hora de operar con los paños de las cribas	95

CAPÍTULO 4. CRIBAS

4.1- Elección del tipo de criba en función del material a cribar	99
4.2- Tipos de cribas	104
4.2.1- Cribas fijas	104
4.2.1.1- Cribas fijas de barrotes rectilíneos	104
4.2.1.2- Criba de rejillas curvas circulares	105
4.2.1.3- Cribas fijas de chapa o malla fija	108
4.2.2- Cribas móviles	108
4.2.2.1- Cribas móviles lentas	108
4.2.2.1.1- Barrotes móviles	108
4.2.2.1.2- Parrilla Ross	109
4.2.2.1.3- Precribadores de discos	109

4.2.2.1.3.1- Precribadores de discos elípticos	112
4.2.2.1.4- Trómeles	113
4.2.2.2- Cribas móviles rápidas	116
4.2.2.2.1- Cribas de sacudidas	116
4.2.2.2.2- Cribas de resonancia	117
4.2.2.2.3- Cribas vibrantes	119
4.2.2.2.3.1- Vibración circular	124
4.2.2.2.3.2- Cribas vibrantes de eje vertical	129
4.2.2.2.3.3- Cribas de vibración elíptica	131
4.2.2.2.3.2.1- Multipendiente o banana	132
4.2.2.2.3.2.2- Superficie horizontal	134
4.2.2.2.3.4- Vibración rectilínea	137
4.2.2.2.3.4.1- Cribas probabilísticas	138
4.2.2.2.3.4.2- Inclinación ascendente	141
4.2.2.2.3.4.3- Criba Hummer	142
4.2.2.2.3.4.4- Cribas de tensión y aflojado alternativo	143
4.2.2.2.3.4.5- Cribas de vibración electromagnética	145
4.3- Equipos para la clasificación opto-electrónica	146
4.4- Accionamientos de las cribas	150
4.5- Mantenimiento de las cribas	168
4.5.2- Rodamientos	175
4.5.3- Lubricación: Aceites y grasas	181
4.5.3.1- Engrasadores	185
4.5.3.1.1- Engrasador Stauffer	185
4.5.3.1.2- Engrasador a presión de cabeza plana	186
4.5.3.1.3- Engrasador a presión de cabeza esférica	186
 CAPÍTULO 5. CRIBAS CON RIEGO	
5.1- Sistema de lavado en cribas	189
5.2- Descripción del sistema de lavado en cribas	190
5.2.1- Red de tuberías en cribas	192
5.2.2- Difusores	192
5.2.3- Tubos de línea	194
5.2.4- Colectores de tubo de línea	195
5.2.5- Colector general	195
5.2.6- Cálculo del sistema de lavado en criba	195
5.2.7- Tubería de impulsión	196
5.2.8- Tubería de aspiración	196
5.2.9- Cálculo de la tubería	198
5.2.9.1- Ejemplo de cálculo de las pérdidas de carga de la tubería	204
5.2.9.2- Ejemplo de cálculo de las pérdidas de carga de la tubería	206
5.2.10- Bombas de agua	207
5.2.10.1- Bombas verticales	208

5.2.10.1.1- Bombas verticales sumergidas	209
5.2.10.1.1.1- Bombas de turbinas verticales	210
5.2.10.1.1.2- Bombas de turbinas verticales de motor superior	211
5.2.10.1.1.3- Bombas verticales de hélice	212
5.2.10.1.1.4- Bombas de turbina vertical de motor sumergido	212
5.2.10.2- Bombas centrífugas	213
5.2.10.3- Interpretación de las curvas de una bomba	218
5.2.11- Resumen de las acciones a tomar en la revisión del sistema de lavado	219
5.2.12- Ejemplo de cálculo de la red de lavado a instalar en una criba	220
5.2- Trómel lavador de áridos (desenlodador)	221

CAPÍTULO 6. CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA

6.1- Principios de la clasificación hidráulica	227
6.1.1- Factores que influyen en el proceso de sedimentación	236
6.1.1.1- Calidad del agua	236
6.1.1.2- Condiciones hidráulicas	237
6.1.1.3- Viscosidad	239
6.1.1.4- Sólidos finos	240
6.1.1.5- Factores externos	240
6.1.2- Teoría de los clasificadores de corriente de superficie	241
6.1.3- Teoría de los clasificadores de corriente ascendente	242
6.1.4- Teoría de la decantación acelerada	242
6.2- Hidroclasificadores	243
6.2.1- Clasificadores hidráulicos de sedimentación simple	245
6.2.1.1- Clasificadores hidráulicos de cono	245
6.2.1.2- Hidroseparator	246
6.2.1.3- Canales de clasificación. Cajas piramidales	254
6.2.1.4- Clasificadores mecánicos	255
6.2.1.4.1- Clasificador de tornillo. Tornillo lavador.	255
6.2.1.4.2- Clasificador de rastrillos	259
6.2.1.4.3- Desenlodador de paletas o lavador de paletas de dos ejes	260
6.2.1.4.4- Elutriador-lavador de arenas	262
6.2.1.4.5- Noria decantadora	263
6.2.1.4.6- Mesa de sacudidas	265
6.2.1.4.7- Otros clasificadores mecánicos	268
6.2.2- Clasificadores hidráulicos de contracorriente	269
6.2.2.1- Clasificador hidráulico de cono	269
6.2.2.2- Clasificador hidráulico de doble cono	271
6.2.2.3- Clasificador hidráulico simple	272
6.2.2.4- Clasificador hidráulico múltiple	275
6.2.2.5- Clasificador hidráulico Fahrenwald	277

6.2.2.6- Clasificador Spitzkasten	278
6.2.2.7- Hidro-oscilador	278
6.2.2.8- Hidroclasificador Rheax	279
6.2.2.9- Jig	282
6.2.3- Clasificadores hidráulicos centrífugos	298
6.2.4- Hidrociclones	301
6.2.4.1- Introducción a los hidrociclones	302
6.2.4.2- Dinámica del interior del hidrociclón	306
6.2.4.3- Teoría del cortocircuito en hidrociclones	308
6.2.4.4- Efecto FishHook	309
6.2.4.5- Parámetros que afectan al trabajo del hidrociclón	312
6.2.4.6- Aplicaciones de los hidrociclones	318
6.2.4.7- Operaciones prácticas con hidrociclones	323
6.2.4.8- Tipos de hidrociclones	333
6.2.4.8.1- Hidrociclones cónicos	333
6.2.4.8.1.1- Hidrociclones convencionales o de cono pronunciado	334
6.2.4.8.1.2- Hidrociclones de cono ancho	335
6.2.4.8.2- Hidrociclones cilíndricos	335
6.2.4.8.2.1- Hidrociclones cilíndricos con descarga periférica	335
6.2.4.8.2.2- Hidrociclones cilíndricos de fondo plano	336
6.2.4.8.2.2.1- Diferencias entre los hidrociclones de fondo plano y los convencionales	342
6.2.4.8.3.1- Hidrociclón criba	343
6.2.4.8.3.2- Hidrociclón aireado	343
6.3- Avances en los procesos de clasificación por vía húmeda	344

CAPÍTULO 7. CLASIFICACIÓN NEUMÁTICA

7.1- Teoría de la clasificación neumática	352
7.2- Eficacia de la separación	357
7.3- Tipos de clasificadores neumáticos	362
7.3.1- Clasificadores de corriente de aire ascendente	362
7.3.1.1- Criba despolvoreadora neumática	362
7.3.1.2- Clasificadores simples de corriente ascendente	363
7.3.1.3- Clasificadores en zig-zag	363
7.3.2- Separadores por centrifugación	364
7.3.2.1- Separadores de aire estáticos	364
7.3.2.1.1- Separadores estáticos de corriente vertical ascendente ...	364
7.3.2.1.2- Ciclón	366
7.3.2.1.2.1- Principio de las operaciones del ciclón	367
7.3.2.1.2.2- Separador ciclónico	369
7.3.2.1.2.2.1- Tipos de separadores ciclónicos	369
7.3.2.1.2.2.1.1- Ciclones de entrada tangencial y descarga axial	369

7.3.2.1.2.2.1.2- <i>Ciclones de entrada tangencial y salida periférica</i>	370
7.3.2.1.2.2.1.3- <i>Ciclones con entrada y salida axial</i>	370
7.3.2.1.2.2.1.4- <i>Ciclones de entrada axial y salida periférica</i>	371
7.3.2.1.2.3- <i>Cálculo de la eficiencia del ciclón</i>	374
7.3.2.1.2.4- <i>Pérdida de carga en ciclones</i>	380
7.3.2.1.2.5- <i>Variación de los parámetros de trabajo con ciclones</i>	381
7.3.2.1.2.6- <i>Diseño de ciclones</i>	382
7.3.2.1.2.6.1- <i>Ejemplo de diseño de un ciclón</i>	385
7.3.2.1.2.7- <i>Recirculación del gas del interior del ciclón</i>	393
7.3.2.1.2.8- <i>Ventajas e inconvenientes de los ciclones</i>	394
7.3.2.1.2.9- <i>Operaciones con ciclones</i>	394
7.3.2.2- <i>Separadores de aire dinámicos</i>	396
7.3.2.2.1- <i>Separadores dinámicos con ventilador interno</i>	400
7.3.2.2.1.1- <i>Parámetros de control de los separadores de primera generación</i>	404
7.3.2.2.2- <i>Separadores dinámicos con ventilador externo y ciclones planetarios</i>	409
7.3.2.2.2.1- <i>Parámetros de control de los separadores de segunda generación</i>	411
7.3.2.2.3- <i>Separadores dinámicos de alta eficiencia</i>	412
7.3.2.2.3.1- <i>Separadores dinámicos Sepax</i>	413
7.3.2.2.3.2- <i>Separadores de alto rendimiento Sturtevant tipo SD</i>	417
7.3.2.2.3.3- <i>Separadores de alto rendimiento O-SEPA</i>	421
7.3.2.2.3.4- <i>Separadores de alto rendimiento Sepol-Polysius</i>	422
7.3.2.2.3.5- <i>Separadores de alto rendimiento Sepmaster KHD</i>	424
7.3.2.2.3.6- <i>Separadores de alto rendimiento Pfeiffer QDK</i>	426
7.3.2.2.3.7- <i>Separadores de alto rendimiento Pfeiffer JS</i>	427
7.3.2.2.3.8- <i>Separadores de flujo cruzado O&K</i>	428
7.3.2.2.3.9- <i>Parámetros de control de los separadores de tercera generación</i>	429
7.3.2.2.4- <i>Diseño y dimensionamiento de separadores</i>	430
7.3.2.2.5- <i>Evaluación y optimización de los separadores</i>	432
7.3.2.2.5.1- <i>Distribución de partículas</i>	433
7.3.2.2.5.2- <i>Factor de circulación</i>	434
7.3.2.2.5.3- <i>Eficiencia de la separación</i>	436
7.3.2.2.5.4- <i>Método de retenidos parciales</i>	438
7.3.2.4- <i>Filtros de mangas</i>	445
7.3.2.4.1- <i>Tipos de filtros de mangas</i>	446
7.3.2.4.1.1- <i>Sacudidas</i>	446
7.3.2.4.1.2- <i>Sacudidas y aire inverso</i>	447
7.3.2.4.1.3- <i>Aire inverso</i>	448

7.3.2.4.2- Operaciones con los filtros de mangas	449
7.3.2.4.2.1- Operación de filtración	449
7.3.2.4.2.2- Operación de limpieza	450
7.3.2.4.3- Parámetros a tener en cuenta en el diseño de filtros de mangas	451
7.3.2.4.3.1- Velocidad de filtración	451
7.3.2.4.3.2- Caída de presión	452
7.3.2.4.3.3- Características del flujo de gas	456
7.3.2.4.3.4- Temperatura de operación	456
7.3.2.4.3.5- Características de las partículas	457
7.3.2.4.3.6- Selección del medio filtrante	457
7.3.2.4.3.7- Número de mangas	457
7.3.2.4.3.8- Potencia del ventilador	457
7.3.2.5- Electrofiltros o precipitadores electrostáticos	458
7.3.2.6- Comparativa filtros de mangas y electrofiltros	460
7.3.2.7- Equipos auxiliares en clasificación neumática. Ventiladores	460
7.3.2.7.1- Clasificación de los ventiladores	461
7.3.2.7.1.1- Según la aplicación a desarrollar	462
7.3.2.7.1.2- Según la trayectoria del aire en el ventilador	462
7.3.2.7.1.2.1- Ventiladores centrífugos	462
7.3.2.7.1.2.2- Ventiladores axiales	463
7.3.2.7.1.2.3- Ventiladores helicocentrífugos	463
7.3.2.7.1.2.4- Ventiladores tangenciales	463
7.3.2.7.1.3- Según la presión del ventilador	464
7.3.2.7.1.4- Según las condiciones de funcionamiento	464
7.3.2.7.1.5- Según el sistema de accionamiento de la hélice	464
7.3.2.7.1.6- Según método de control de las prestaciones del ventilador	464
7.3.2.7.2- Teoría de los ventiladores centrífugos	465
7.3.2.7.3- Variación de la potencia por arrastre de sólidos	469
7.3.2.7.4- Curvas características de un ventilador	471
CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA	475