UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

# SISTEMATIZACIÓN DE DISEÑO DE MOLINOS DE MARTILLOS FIJOS PARA GRANO

Luis Atarama-Valdiviezo

Piura, julio de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Atarama, L. (2018). *Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

# U N I V E R S I D A D  D E  P I U R A
## FACULTAD DE INGENIERÍA

**Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano**

**Tesis para optar el Título de**
**Ingeniero Mecánico Eléctrico**

**Luis Armando Atarama Valdiviezo**

**Asesor: MSc. Ing. Jorge Machacuay Arévalo**

**Piura, julio 2018**

A Dios y a mi familia.

# Prólogo

Los molinos son máquinas que aportan, con su función, a la industria minera, agraria, alimentaria, entre otras. La necesidad de triturar o moler diferentes materiales tales como minerales, granos, semillas, frutos, pescados, conchas de moluscos, etc. Es elemental para que parte de estas industrias puedan existir.

El diseño de estas máquinas es tan importante como su presencia misma en las diferentes actividades industriales donde se les necesita.

Este trabajo de tesis se centra en el molino de martillos fijos para granos, en sistematizar el diseño de esta máquina para su posterior confección.

Para terminar, quiero agradecer a las personas que colaboraron y estuvieron involucradas en el desarrollo del presente trabajo de tesis. De manera especial al Ing. Jorge Machacuay por brindarme el apoyo constante en el desarrollo del mismo, además a mi familia que siempre me dio palabras de aliento para concluir este trabajo de tesis.

## Resumen

En este trabajo de tesis se presenta en los diferentes capítulos desarrollados, la historia y evolución del molino, en el que se muestra la evolución desde las herramientas usadas por los primeros hombres hasta las máquinas de hoy; en el capítulo dos, la molienda en la industria, se hace mención de las diferentes industrias que presentan la molienda dentro de sus procesos; se continua con el capítulo donde se expone los diferentes tipos de molinos que existen, así como sus características y aplicaciones. En el capítulo cuatro y principal de este trabajo, se comenta las visitas en campo, se calcula y define cada uno de los componentes del molino de martillos fijos para grano, entre estos, el eje del molino y la potencia de motor.

En el caso de eje del molino, se calcula el diámetro de eje con dos aleaciones diferentes de acero, AISI 1045 (H-V945, aceros Bohler) y AISI 4140H (VCL-V320, aceros Bohler), ambos con aplicación para fabricación de ejes, donde el primero presenta características mecánicas inferiores al segundo; para la potencia del motor, se calcula con las leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño, ley de Kick, Ley de Rittinger y ley de Bond, resultando usar el valor obtenido por la ley de Bond, por ser la ley que aplica en el rango de reducción de partícula en los molinos de martillos fijos para grano. Los valores de cada uno de los componentes que se calcularon y definieron, sirvieron para obtener relaciones numéricas de dimensiones y potencia necesaria, útiles para sistematizar el diseño confiable del mismo.

El último capítulo es una simulación de un caso particular, usando el complemento Simulation de SolidWorks, se simula el ensamblaje eje-chumaceras, con dimensiones y valores obtenidos en el diseño sistematizado del mismo, en materiales, fundición gris para chumaceras y AISI 1045 para eje del molino, se usa esta aleación de acero con características mecánicas inferiores al AISI 4140H, en el eje, para asegurar la confianza de los valores de diseño propuestos en este trabajo. Los análisis de simulación, estático y en fatiga, para el ensamblaje, tuvieron resultados óptimos, sustentando que los valores de diseño expuestos, son acertados.

# Índice

**Introducción** ..... **1**

**Capítulo 1 Historia y evolución del molino** ..... **3**
1.1. Introducción ..... 3
1.2. Prehistoria ..... 3
1.2.1. Edad de Piedra ..... 3
1.2.1.1. Paleolítico ..... 3
1.2.1.2. Mesolítico ..... 4
1.2.1.3. Neolítico ..... 5
1.2.2. Edad de los Metales ..... 6
1.3. Historia ..... 6
1.3.1. Edad Antigua ..... 6
1.3.2. Edad Media ..... 8
1.3.3. Edad Moderna ..... 10
1.3.4. Edad Contemporánea ..... 10

**Capítulo 2 La molienda en la industria** ..... **13**
2.1. Introducción ..... 13
2.2. Tipos de industria ..... 13
2.2.1. Industria minera ..... 13
2.2.2. Industria metalúrgica ..... 17
2.2.3. Industria siderúrgica ..... 18
2.2.4. Industria cementera ..... 18
2.2.5. Industria alimentaria ..... 19
2.2.6. Industria de reciclaje ..... 20
2.2.7. Industria naturista ..... 20
2.2.8. Agroindustrial ..... 21

**Capítulo 3 Tipos de molinos ..... 23**
3.1. Introducción ..... 23
3.2. Tipos de molinos ..... 23
3.2.1. Molino de discos ..... 23
3.2.2. Molino de rodillos ..... 25
3.2.3. Molino de bolas ..... 27
3.2.4. Molino de barras ..... 29
3.2.5. Molino autógeno (AG) ..... 30
3.2.6. Molino semi autógeno (SAG) ..... 32
3.2.7. Molino de martillos ..... 33
3.2.8. Molino de Raymond o vertical ..... 35
3.2.9. Molino para carne ..... 36
3.2.10. Molino para plástico ..... 37

**Capítulo 4 Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano ..... 39**
4.1. Introducción ..... 39
4.2. Visitas a centros de molienda y recopilación de datos ..... 39
4.2.1. Visita a planta de molienda de Avícola y Servicios San Andrés S.A.C. ..... 42
4.2.2. Visita a planta de molienda de Acuiagro S.A.C. ..... 53
4.2.3. Visita a planta de molienda de Agroindustrias Khormoran ..... 56
4.3. Visita a centro de fabricación de molinos y recopilación de datos ..... 59
4.3.1. Molino picador (para moler o picar pasto) ..... 59
4.3.2. Molino de martillos movibles (para moler diatomita) ..... 62
4.3.3. Molino de martillos movibles (para moler palo santo) ..... 64
4.4. Datos de molinos de martillos fijos y su relación con la productividad ..... 70
4.5. Cálculo y definición de dimensiones de componentes ..... 72
4.5.1. Martillos ..... 73
4.5.2. Espesor de palancas porta martillos ..... 75
4.5.3. Separador de palancas porta martillos ..... 75
4.5.4. Caja o cámara de molino ..... 76
4.5.5. Longitud de palancas porta martillos ..... 78
4.5.6. Longitud y diámetro de pin de tope para martillo ..... 79
4.5.7. Ancho de palancas porta martillos ..... 82
4.5.8. Potencia del motor ..... 83
4.5.9. Cálculo de fuerzas y reacciones presentes en el eje ..... 87
4.5.9.1. Peso del rotor ..... 88

4.5.9.2. Peso de polea ..... 90
4.5.9.3. Cálculo de reacciones en los puntos de los rodamientos ..... 90
4.5.10. Diámetro de eje ..... 93
4.5.11. Longitud aproximada de eje ..... 97
4.5.12. Chumaceras y rodamientos ..... 97
4.5.13. Correas o bandas ..... 101
4.5.14. Cuñas o chavetas ..... 102
4.5.15. Fuerza del martillo ..... 104
4.5.16. Diámetro de poleas ..... 105
4.6. Definición de dimensiones de componentes para diseño de molino ..... 105
4.6.1. Tabla de proyección de productividad real aproximada ..... 107
4.6.1.1. Dimensión de caja de molino ..... 107
4.6.1.2. Dimensión de eje ..... 108
4.6.1.3. Dimensión de palanca porta martillos ..... 108
4.6.1.4. Dimensión de separador de palancas porta martillos ..... 108
4.6.1.5. Dimensión de peines de impacto ..... 109

**Capítulo 5 Simulación ..... 111**
5.1. Introducción ..... 111
5.2. Simulación de caso particular ..... 111
5.2.1. Análisis estático ..... 111
5.2.1.1. Tensiones (Von Mises) ..... 116
5.2.1.2. Desplazamiento estático ..... 117
5.2.1.3. Factor de seguridad tensiones Von Mises máximo ..... 118
5.2.2. Análisis en fatiga ..... 119
5.2.2.1. Vida ..... 121
5.2.2.2. Factor de carga ..... 121
5.2.3. Comentario de resultados ..... 122

**Conclusiones ..... 125**

**Bibliografía ..... 127**

**Anexos ..... 129**

Anexo A. Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas ..... 131

Anexo B. Catálogo de productos – Aceros Arequipa ..... 135

Anexo C. Barras redondas lisas y pulidas – Calidades ASTM A36 y SAE 1045 – Aceros Arequipa ..... 138

Anexo D. Platinas – Calidad ASTM A36 – Aceros Arequipa ..... 140

Anexo E. Tubo LAC ASTME A500 – Para estructuras – Aceros Arequipa ..... 142

Anexo F. Tubería en acero – Tubería acero al carbón SCH – Tecnituberías ..... 144

Anexo G. Catálogo 2013 - Tornillos y especialidades - Garniet ..... 146

Anexo H. Reducción de tamaño de solidos - Leyes para cálculo de energía y potencia en equipos de reducción de tamaño ..... 149

Anexo I. III Informe de laboratorio - Molienda ..... 151

Anexo J. Catálogo general - Motores eléctricos – Siemens ..... 157

Anexo K. Hoja técnica - VCL - Aceros Bohler ..... 160

Anexo L. Hoja técnica - H - Aceros Bohler ..... 161

Anexo M. Suitability of rolling bearings for industrial applications (Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales) - SKF ..... 162

Anexo N. Tabla de peso aproximado para barras de acero redondas, cuadradas y hexagonales - Aceros Bohler ..... 163

**Apéndice ..... 165**

Apéndice A. Cálculo y definición de dimensiones de componentes ..... 167

Apéndice B. Simulación de ensamble - Análisis estático - SolidWorks ..... 184

Apéndice C. Simulación ..... 199

## Índice de Tablas


Tabla 1. Molino de discos – datos técnicos referenciales. ..... 25
Tabla 2. Molino de discos vibratorios – datos técnicos referenciales. ..... 25
Tabla 3. Molino de rodillos – datos técnicos referenciales. ..... 27
Tabla 4. Molino de bolas – datos técnicos referenciales ..... 28
Tabla 5. Molino de barras – datos técnicos referenciales. ..... 30
Tabla 6. Molino autógeno (AG) – datos técnicos referenciales. ..... 32
Tabla 7. Molino semi autógeno (SAG) – datos técnicos referenciales. ..... 33
Tabla 8. Molino de martillos – datos técnicos referenciales. ..... 34
Tabla 9. Molino de Raymond o vertical – datos técnicos referenciales. ..... 35
Tabla 10. Molino para carne – datos técnicos referenciales. ..... 37
Tabla 11. Molino para plástico – datos técnicos referenciales. ..... 38
Tabla 12. Molino de martillos movibles – Avícola y Servicios San Andrés S.A.C. ..... 51
Tabla 13. Molino de martillos movibles – Acuiagro S.A.C. ..... 55
Tabla 14. Molino de martillos fijos – Agroindustrias Khormoran. ..... 58
Tabla 15. Molino de martillos movibles – Facultad de zootecnia. ..... 62
Tabla 16. Molino de martillos movibles – Acuiagro S.A.C. (2). ..... 64
Tabla 17. Molino de martillos movibles – persona natural. ..... 69
Tabla 18. Molino de martillos movibles – Avícola y Servicios San Andrés S.A.C. ..... 70
Tabla 19. Molino de martillos fijos – Agroindustrias Khormoran. ..... 70
Tabla 20. Tabla. 4.9. Datos de molinos de martillos fijos y su correlativa productividad. ..... 71
Tabla 21. Datos de valores para dimensionamiento de martillo - Anexo 2 ..... 74
Tabla 22. Valores de dimensiones para diseño de martillo. ..... 75
Tabla 23. Dimensiones de elementos y cantidad para cada molino ..... 77
Tabla 24. Medida ocupada por la cantidad de cada elemento. ..... 78

Tabla 25. Medida interna del ancho de la caja de molino según número de martillos. ..... 78
Tabla 26. Medida interna del diámetro de la caja de molino según número de martillos. ..... 78
Tabla 27. Medida de longitud de palanca porta martillos para cada molino según el número de martillos. ..... 79
Tabla 28. Dimensiones de pin de tope para martillo. ..... 81
Tabla 29. Valores de dimensiones para diseño de palancas porta martillos Dimensiones de palanca porta martillos ..... 82
Tabla 30. Molinos de martillos fijos y su correlativa productividad. ..... 84
Tabla 31 Productividad con diámetro menor. ..... 85
Tabla 32. Potencias calculadas. ..... 86
Tabla 33. Rangos de trabajo de las leyes de molienda. ..... 86
Tabla 34. Potencia de motor según molino. ..... 87
Tabla 35. Dimensiones comerciales de palancas y martillos. ..... 88
Tabla 36 Peso en kg de palancas, pines y martillos. ..... 88
Tabla 37. Peso en N de palancas, pines y martillos. ..... 89
Tabla 38. Peso en N de chavetas, separadores y pernos. ..... 89
Tabla 39. Peso del rotor en N. ..... 89
Tabla 40. Distancia r según el número de martillos del molino. ..... 91
Tabla 41. Potencia y torque de motor. ..... 92
Tabla 42. Características mecánicas acero VCL. ..... 94
Tabla 43. Características mecánicas acero H. ..... 94
Tabla 44. Tabla. 4.33. Momento resultante en el eje según número de martillos. ..... 95
Tabla 45. Factores de carga A.S.M.E. para ejes giratorios. ..... 95
Tabla 46. Torque de motor de molino según número de martillos. ..... 96
Tabla 47. Diámetro de eje de molino de 24 martillos – variando FS. ..... 96
Tabla 48. Diámetro de eje para cada caso de molino. ..... 97
Tabla 49. Medida interna del ancho de la caja de molino según número de martillos. ..... 97
Tabla 50. Longitud aproximada de eje de molino según número de martillos. ..... 97
Tabla 51. Carga dinámica y estática según molino. ..... 98
Tabla 52. Diámetro de eje para cada caso de molino. ..... 100
Tabla 53. Secciones de bandas en V estándar. ..... 101
Tabla 54. Circunferencias interiores de bandas en V estándar. ..... 101
Tabla 55. Dimensiones en pulgadas de aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar. ..... 102
Tabla 56. Longitud de chaveta en polea para eje de molino de 24 martillos. ..... 104

Tabla 57. Productividad real aproximada de molino según número de martillos..... 106
Tabla 58. Dimensiones de componentes principales de molino según número de martillos. ..... 106
Tabla 59. Proyección de productividad real aproximada de molino según número de martillos. ..... 107
Tabla 60. Dimensión de caja de molino según número de martillos. ..... 107
Tabla 61. Dimensiones de eje de molino según número de martillos..... 108
Tabla 62. Dimensión de palanca porta martillos..... 108
Tabla 63. Dimensión de separador de palancas porta martillos..... 109

## Índice de Figuras


Figura 1. Homínidos del Paleolítico recolectando frutos. ..... 4
Figura 2. Grupo de H. habilis carroñeando un rinoceronte y fabricando herramientas. ..... 4
Figura 3. Instrumentos de caza, pesca y recolección. ..... 5
Figura 4. Recipientes de piedra y molinos de mano de la cultura Natufiense. ..... 5
Figura 5. Molino de mano barquiforme. ..... 6
Figura 6. Molino rotatorio - edad de bronce. ..... 7
Figura 7. Molino rotario de mano. ..... 7
Figura 8. Molino de sangre ..... 8
Figura 9. Molino de trapetum romano ..... 8
Figura 10. Molino de piedras concéntricas. ..... 9
Figura 11. Molino de agua. ..... 9
Figura 12. Molino de viento. ..... 9
Figura 13. Molino de piedras troncocónicas o de cono. ..... 10
Figura 14. Molino de bolas ..... 11
Figura 15. Molino de martillos ..... 11
Figura 16. Molino vertical de rodillos ..... 12
Figura 17. Molino de discos. ..... 14
Figura 18. Molino de rodillos. ..... 14
Figura 19. Molino de bolas ..... 15
Figura 20. Molino de barras. ..... 15
Figura 21. Molino autógeno. ..... 16
Figura 22. Molino semi autógeno ..... 16
Figura 23. Molino de martillos. ..... 17
Figura 24. Molino de Raymond o vertical. ..... 19
Figura 25. Molino para carne. ..... 20
Figura 26. Molino para plástico. ..... 21

Figura 27. Molino de discos. 24
Figura 28. Molino de discos vibratorios u oscilantes. 24
Figura 29. Molino de rodillos – minería. 26
Figura 30. Molino de rodillos – harinero. 26
Figura 31. Molino de rodillos – caña de azúcar. 26
Figura 32. Molino de bolas – compartimentos múltiples (molienda seca). 27
Figura 33. Molino de bolas – interior. 28
Figura 34. Molino de barras. 29
Figura 35. Molino de barras - interior. 29
Figura 36. Molino autógeno (AG). 31
Figura 37. Molino autógeno (AG). 31
Figura 38. Molino semi autógeno (SAG). 32
Figura 39. Molino semi autógeno (SAG). 33
Figura 40. Molino de martillos. 34
Figura 41. Molino de Raymond o vertical. 35
Figura 42. Molino para carne. 36
Figura 43. Molino para carne. 36
Figura 44. Molino para plástico. 37
Figura 45. Rotor de un molino de martillos movibles. 40
Figura 46. Rotor de un molino de martillos movibles. 40
Figura 47. Rotor de un molino de martillos locos o movibles. 41
Figura 48. Rotor de un molino de martillos fijos. 41
Figura 49. Rotor de un molino de martillos fijos. 42
Figura 50. Instalaciones donde se descarga el maíz desde el camión de los proveedores. 43
Figura 51. Rejilla donde se descarga el maíz desde el camión de los proveedores y elevador (color amarillo). 43
Figura 52. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje. 44
Figura 53. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje. 44
Figura 54. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje. 45
Figura 55. Poza de almacenaje. 45
Figura 56. Ventiladores de las pozas. 46
Figura 57. Ventilador. 46
Figura 58. Poza común y elevador (color amarillo). 47
Figura 59. Elevador de la poza común. 47

Figura 60. Ducto de alimentación de molino. ..... 48
Figura 61. Ducto de alimentación de molino. ..... 48
Figura 62. Trampas del ducto de alimentación de molino. ..... 49
Figura 63. Trampas del ducto de alimentación de molino. ..... 49
Figura 64. Partícula extraña retenida por la trampa. ..... 50
Figura 65. Ducto de alimentación de molino y molino. ..... 50
Figura 66. Molino de martillos locos. ..... 51
Figura 67. Línea post molienda – silos, elevadores y mezcladores para alimento. ..... 52
Figura 68. Línea post molienda – silos, elevadores y mezcladores para alimento. ..... 52
Figura 69. Molino de martillos movibles – rotor y polea. ..... 53
Figura 70. Martillos y anillos separadores. ..... 53
Figura 71. Rotor sin martillos ..... 54
Figura 72. Zaranda. ..... 54
Figura 73. Motor y polea. ..... 55
Figura 74. Molino de martillos fijos, impulsor y silo. ..... 56
Figura 75. Molino de martillos fijos e impulsor. ..... 56
Figura 76. Rotor de un molino de martillos fijos. ..... 57
Figura 77. Rotor de un molino de martillos fijos. ..... 57
Figura 78. Rotor, eje y zaranda. ..... 58
Figura 79. Molino de martillos movibles y picadora de pasto. ..... 59
Figura 80. Picadora de pasto verde – cuchilla fija y cuchilla movible. ..... 60
Figura 81. Picadora de pasto verde - cuchilla movible. ..... 60
Figura 82. Molino de martillos movibles – rotor y zaranda. ..... 61
Figura 83. Peines de impacto ubicados en el interior de tolva. ..... 61
Figura 84. Agujero de zaranda. ..... 62
Figura 85. Rotor e interior de tolva. ..... 63
Figura 86. Peines de impacto en interior de tolva. ..... 63
Figura 87. Martillo. ..... 63
Figura 88. Plantilla de caja. ..... 64
Figura 89. Parte de lo que será el bastidor - caja. ..... 65
Figura 90. Parte de lo que será el bastidor - caja. ..... 65
Figura 91. Avance de caja de molino. ..... 65
Figura 92. Soldado de ángulo para base. ..... 66
Figura 93. Bastidor y tolva casi terminados. ..... 66
Figura 94. Avance de rotor - eje y discos porta martillos. ..... 67
Figura 95. Base de cojinete, cojinete, eje, discos y pin porta martillos. ..... 67

Figura 96. Martillos..... 68
Figura 97. Peines de impacto ubicados en el interior de tolva..... 68
Figura 98. Molino para palo santo. ..... 69
Figura 99. Molino de martillos fijos. ..... 72
Figura 100. Polea conductora y sistema de transmisión por fajas. ..... 72
Figura 101. Rotor de un molino de martillos fijos..... 73
Figura 102. Rotor de un molino de martillos fijos..... 73
Figura 103. Geometría de martillo..... 74
Figura 104. Disposición de palanca porta martillos, martillo, pin y perno..... 75
Figura 105. Disposición de separadores y palancas porta martillos. ..... 76
Figura 106. Disposición de palancas porta martillos, separadores, tope y tuerca..... 77
Figura 107. Vista de perfil de los elementos del rotor. ..... 79
Figura 108. Disposición de palanca, martillo, perno y pin. ..... 80
Figura 109. Variedad de maíz duro..... 81
Figura 110. Disposición de palanca, martillo, perno y pin. ..... 82
Figura 111. Diagrama de carga, fuerzas y reacciones en el eje. ..... 87
Figura 112. Relación de poleas – molino Avícola y Servicios San Andrés S.A.C..... 90
Figura 113. Distancias de fuerzas y reacciones presentes en el eje. ..... 91
Figura 114. Fuerzas presentes en el sistema de transmisión de potencia. ..... 92
Figura 115. Tabla de selección de rodamientos – Anexo M..... 99
Figura 116. Rodamiento de rodillos a rótula..... 99
Figura 117. Lista de rodamientos según diámetro SKF..... 100
Figura 118. Lista de rodamientos según diámetro SKF..... 100
Figura 119. Peines de impacto en interior de tolva..... 109
Figura 120. Diseño y modelado de chumacera. ..... 113
Figura 121. Chumacera en material de fundición gris. ..... 114
Figura 122. Diseño y modelado de eje de molino..... 114
Figura 123. Eje de molino en material AISI 1045 (H-V945, acero Bohler)..... 115
Figura 124. Definición de material de chumacera en Simulation..... 115
Figura 125. Definición de material de eje de molino en Simulation. ..... 116
Figura 126. Definición de condiciones de ensamble en Simulation..... 116
Figura 127. Resultado de tensiones (Von Mises). ..... 117
Figura 128. Resultado de desplazamiento estático. ..... 118
Figura 129. Factor de seguridad tensiones Von Mises máximo. ..... 119
Figura 130. Definición de cargas por fatiga..... 120
Figura 131. Definición de curvas SN..... 120

Figura 132. Resultado de vida total en ciclos. ..... 121
Figura 133. Resultado de Factor de carga. ..... 122

# Introducción

El presente trabajo de tesis se centra principalmente en el diseño de un molino de tipo martillos fijos con aplicación para molienda de granos, estos pueden ser maíz, trigo, soya, entre otros; donde el producto molido puede destinarse para consumo humano y/o animal. Para el desarrollo de este trabajo, se asistió a locales donde se muele estos productos y también donde se confecciona este tipo de molinos, para estudiar el funcionamiento y construcción del mismo, a la par se realizaron cálculos en base a conceptos de diseño de elementos o componentes presentes en esta máquina.

Este tipo de molinos con las características de diseño obtenidas en este trabajo de tesis para la aplicación de molienda de granos, obtiene su funcionamiento ideal, siempre que el producto a moler este seco.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- Exponer la necesidad de esta máquina a través de la historia, la cual la ha llevado a su evolución.
- Presentar las diferentes industrias donde se les necesita.
- Dar a conocer los diferentes tipos de molinos existentes, así como sus características y aplicaciones.
- Sistematizar en parte, la línea de fabricación de un molino de tipo de martillos fijos con aplicación para molienda de granos.

Conseguir a partir de un requerimiento, el diseño de este tipo de molino para su posterior fabricación.

Este trabajo de tesis se desarrolla en cuatro capítulos, que se describen a continuación:

En el capítulo uno, se expone la historia y evolución del molino, desde los primeros grupos humanos que tuvieron la necesidad de triturar o moler algún fruto seco o grano, hasta la actualidad. Mostrando así los primeros elementos para esta actividad como lo fueron piedras, posteriormente mecanismos rudimentarios pero que cubrían esta necesidad; al día de hoy máquinas con producción mayor, producto molido por tiempo.

El capítulo dos, presenta las diferentes industrias donde existe la actividad de molienda, donde cada una de ellas presenta diferentes intereses al moler, por lo que las lleva a elegir diferentes tipos de molinos existentes para cumplir su expectativa.

En el capítulo tres se presenta los diferentes tipos de molinos, comentados en el capítulo anterior, detallando sus características y aplicaciones.

El capítulo cuatro y principal de este trabajo de tesis, se centra en el diseño de un molino tipo de martillos fijos para molienda de grano, se hace una sistematización en esta parte pre a la fabricación. Para el desarrollo de este estudio, se recopila y se analiza información del funcionamiento y confección de esta máquina, asistiendo a locales y centros respectivos, donde se muele y también donde se fabrica este tipo de molino. Teniendo claro lo recopilado en el campo de actividad, en paralelo se realizan cálculos en base a conceptos y teorías de diseño y máquinas, obteniéndose finalmente relaciones numéricas de los componentes del mismo.

En el capítulo cinco y final, se plantea un caso de requerimiento de un molino de este tipo, donde se aplican las relaciones numéricas obtenidas anteriormente, se apoya con una modelación solida de los elementos o componentes principales, mediante el software Simulation de SolidWorks.

# Capítulo 1
# Historia y evolución del molino

## 1.1. Introducción

Este capítulo presenta por medio de una cronología según el enfoque, en su mayoría, para el continente europeo, de la evolución del hombre; la necesidad desde los primeros grupos de homínidos de triturar, moler o partir frutos, granos o carne, parte de su dieta alimenticia, usando herramientas como piedras; hasta la actualidad donde se usan máquinas, molinos, para moler estos, entre otros productos.

## 1.2. Prehistoria

### 1.2.1. Edad de Piedra

#### 1.2.1.1. Paleolítico

Es el periodo que hace referencia a la "edad antigua" de piedra, comprende aproximadamente desde los cuatro millones de años hasta los doce mil años a. C., se subdivide en paleolítico inferior, medio y superior.

Los homínidos de esta época tenían una dieta a base de raíces, cortezas, frutas, semillas, insectos y animales, lo que les obligaba en algunos casos, a necesitar herramientas para cortar, triturar o partir estos, para poder consumirlos. El resultado de la confección de estas herramientas iba acorde con la capacidad del hombre de este periodo.

En el paleolítico inferior no eran cazadores, lo consiguen hasta el paleolítico superior, por lo que consumían carne por medio de la carroña, usaban piedras para cortar el cuero y carne, para moler cartílagos y para partir huesos, así aprovechar el tuétano de estos.

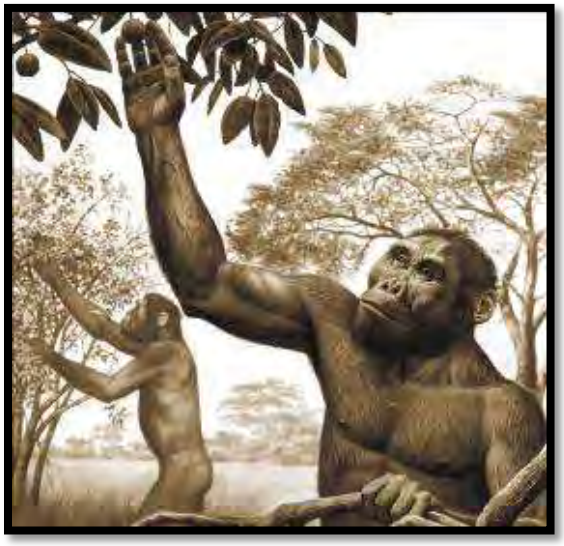


Figura 1. Homínidos del Paleolítico recolectando frutos.
Fuente: https://sobrehistoria.com/homo-sapiens/

Figura 2. Grupo de H. habilis carroñeando un rinoceronte y fabricando herramientas.
Fuente: https://www.dkfindout.com/uk/history/stone-age/making-tools/

### 1.2.1.2. Mesolítico

Es el período de transición entre el Paleolítico y el Neolítico, hace referencia a la "edad media" de piedra, comprende aproximadamente desde los doce mil hasta los nueve mil años a.C. Se cree que fue un tiempo de decadencia, pero hallazgos en el siglo XX dan por demostrado que hubo una continuidad cultural por lo que se redefine como Epipaleolítico que significa "por encima del Paleolítico".

Las herramientas e instrumentos de piedra fueron mejor trabajadas, a comparación del Paleolítico, muchas de estas eran estilizadas. En esta época ya eran cazadores y recolectores, se piensa que ya habían conseguido domesticar algunos animales como perros y cabras. Su dieta se hizo más compleja, además de consumir raíces, frutos, vegetales, animales; empezaron

a consumir aves y alimentos de origen marino como pescados, caracoles y conchas.

Sus asentamientos en lugares ricos en alimentos marinos empezaron a ser permanentes y de grandes grupos, contaban con molinos y morteros de piedra, de grandes dimensiones.

Figura 3. Instrumentos de caza, pesca y recolección.
Fuente: https://sites.google.com/site/historiaalimentacion/mesolitico-una-epoca-de-cambios

Figura 4. Recipientes de piedra y molinos de mano de la cultura Natufiense.
Fuente: https://sites.google.com/site/historiaalimentacion/mesolitico-una-epoca-de-cambios

### 1.2.1.3. Neolítico

Es el período seguido del Mesolítico, comprende aproximadamente desde los nueve mil a los cinco mil años a.C., se le llama así por referirse a una "edad nueva" de piedra o a una "edad de la piedra pulida". Los hombres habían conseguido vivir en asentamientos de grandes grupos totalmente sedentarios donde cada uno de estos presentaba particularidades culturales y de costumbres, organización y estratificación social, se empezaron a presentar los primeros modelos socio-económicos; se había conseguido el cultivo de plantas y domesticación de animales, apareciendo los primeros agricultores y

ganaderos, también comenzaron a surgir los primeros oficios. Entre las plantas cultivables estaban los cereales, trigo, maíz y arroz, donde para moler estos granos se usaron molinos de piedra barquiformes o de vaivén con dimensiones moderadas, a comparación con el Mesolítico.

Figura 5. Molino de mano barquiforme.
Fuente: https://anagarcia97.wordpress.com/neolitico/

### 1.2.2. Edad de los Metales

Se le llama así porque a diferencia de la edad de piedra, las herramientas, armas e instrumentos eran parcial o totalmente hechos de metal. El hombre descubre el cobre, bronce y el hierro, aproximadamente a partir de los 5000, 3000 y 1800 años a.C. respectivamente. En este período se da el surgimiento de ciudades, de la metalurgia, invención de la rueda, nace el comercio marítimo con embarcaciones de vela, avances en la construcción de herramientas como el arado para la agricultura, los molinos de movimiento rotatorio (aquellos compuestos por piedras sobrepuestas que al girar muelen el grano que se encuentra entre ellas), entre otras. (figura 6)

## 1.3. Historia

### 1.3.1. Edad Antigua

Se le llama así a la edad que comprende desde la aparición o nacimiento de la escritura en el año 3000 a. C. hasta la caída del imperio Romano de Occidente en el año 476 d.C., se subdivide en antigüedad clásica y tardía. En este periodo se desarrollaron civilizaciones antiguas importantes como las de Egipto, Mesopotamia, Grecia, Roma, India, entre otras que mostraron gran progreso en la agricultura, ganadería, metalurgia, navegación, arquitectura, en las ciencias y el arte; nació la monarquía como sistema de gobierno con un modelo de producción esclavista, la moneda metálica en el comercio y para pago de impuestos.

Figura 6. Molino rotatorio - edad de bronce.
Fuente: http://www.vallenajerilla.com/berceo/rioja-abierta/bronce/metales.htm

En la molienda de grano y fruto se mantuvo el sistema rotario, además de existir los molinos de mano, aparecieron los molinos de sangre con movimiento de rotación y traslación, aquellos movidos por hombres o animales, eran de mayor dimensión y permitían moler mayor cantidad de grano.

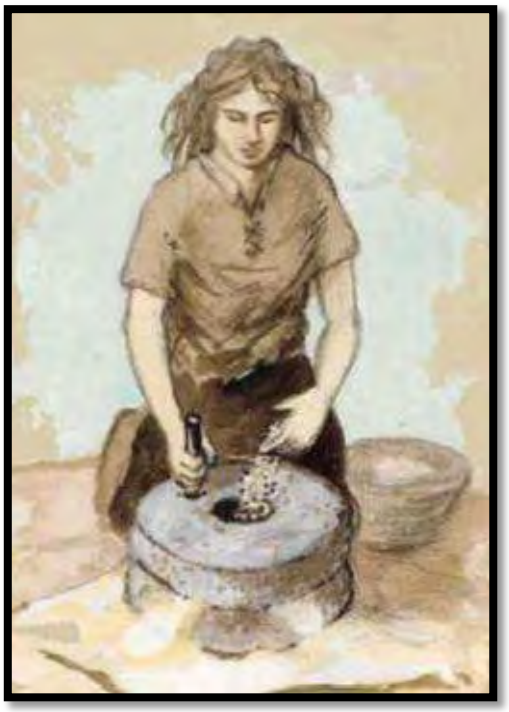


Figura 7. Molino rotario de mano.
Fuente: http://www.fcalapurisima.com/p/historia-de-la-molineria.html

Figura 8. Molino de sangre.
Fuente: http://www.sokzoliwki.pl/historia_tloczenia_oliwy.html

### 1.3.2. Edad Media

Esta edad comprende desde la caída del Imperio Romano de Occidente en el año 476 d.C. hasta el descubrimiento de América en el año 1492 o hasta la caída del Imperio Bizantino en el año 1453, siendo el mismo de la invención de la imprenta. Se subdivide en alta edad media y baja edad media, donde la baja edad media se subdivide a la vez en plena edad media y crisis de la edad media.

En este período se van a dar progresos en la arquitectura y el arte; nace el sistema de producción feudal, se da el teocentrismo cristiano o musulmán.

En la molienda hay una evolución notable, se rediseña los molinos de sangre y aparecen los de viento e hidráulicos. (Figuras, 9, 10, 11 y 12).

Figura 9. Molino de trapetum romano.
Fuente: http://redes-cepalcala.org/olivaryescuela/divulgacion/Rincon/rincon_2017.htm

Figura 10. Molino de piedras concéntricas.
Fuente: http://historia2nuse.blogspot.pe/2017/03/el-ambito-urbano-en-la-baja-edad-media.html

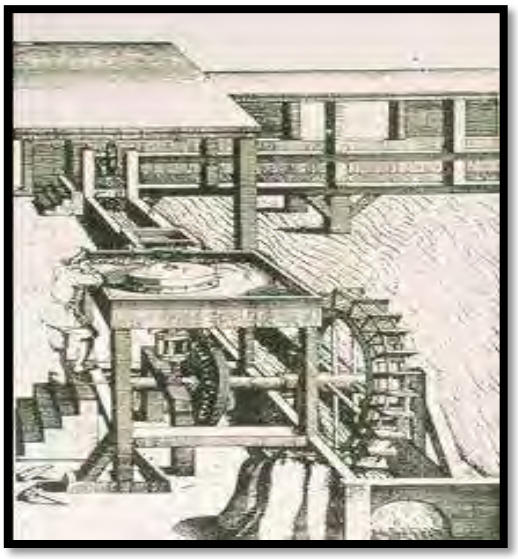


Figura 11. Molino de agua.
Fuente: http://www.nodo50.org/arevolucionaria/masarticulos/junio2003/altaedadmedia5.htm

Figura 12. Molino de viento.
Fuente: http://www.fcalapurisima.com/p/historia-de-la-molineria.html

### 1.3.3. Edad Moderna

Es la edad seguida a la edad media, comprende para algunos desde la caída del Imperio Bizantino en el año 1453 y para otros, desde el Descubrimiento de América en el año 1492, hasta la Revolución francesa en el año 1789. En este periodo se dan grandes cambios naciendo los principios de la ciencia y la técnica, muchos de ellos se mantienen hasta nuestros días, se descubren nuevas tierras, los reyes retoman el poder; este tiempo viene acompañado de movimientos o corrientes en la política con el absolutismo, economía con mercantilismo, en lo intelectual con el racionalismo, y en lo artístico con el humanismo, renacimiento y posteriormente con el barroco.

En la molienda se rediseñaron los tipos de molinos existentes hasta la edad media, aparece el molino de piedras troncocónicas o de cono, podían ser movidos por sangre, viento o corriente de agua.

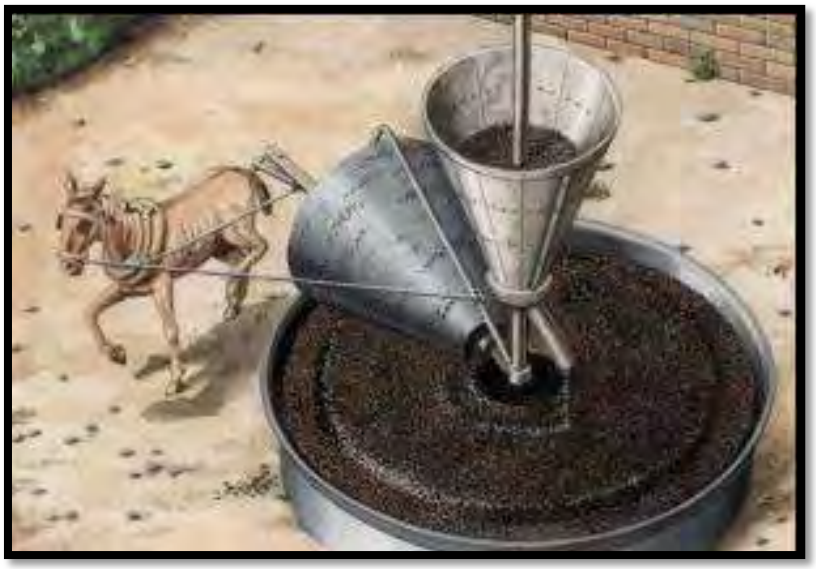


Figura 13. Molino de piedras troncocónicas o de cono.
Fuente: http://www.sokzoliwki.pl/historia_tloczenia_oliwy.html

### 1.3.4. Edad Contemporánea

Es la edad donde nos encontramos actualmente, empezando para unos desde la revolución francesa en el año 1789 y para otros, desde la declaración de independencia de los Estados Unidos en el año 1776, hasta nuestros días. En este período se han dado una serie de revoluciones y movimientos independistas en distintas partes, dos guerras donde han intervenido varios países, llamándose guerras mundiales, y una serie de eventos o sucesos sociales, científicos y tendencias tanto en lo cultural como en lo artístico, que han influenciado directa o indirectamente en gran parte del mundo. En los avances a nivel industrial como consecuencia de los descubrimientos científicos e innovación tecnológica, se permite conocer nuevas fuentes de energía, así como inventar máquinas para la transformación de esta. Entre las máquinas más conocidas están los motores de combustión tanto externa como la máquina de vapor, e interna como los motores a Diesel, gasolina, GLP y GNC, el

motor eléctrico y el motor de reacción, este último, de combustión con un funcionamiento particular usado para la aviación.

En la molienda aparecen los molinos de metal, en variedades tanto de diseño como de uso, ya no solo se usan para moler grano, también minerales, carne de aves y animales, y productos marinos como pescado y conchas de molusco; pueden ser movidos por un motor de combustión o eléctrico, antes mencionados.

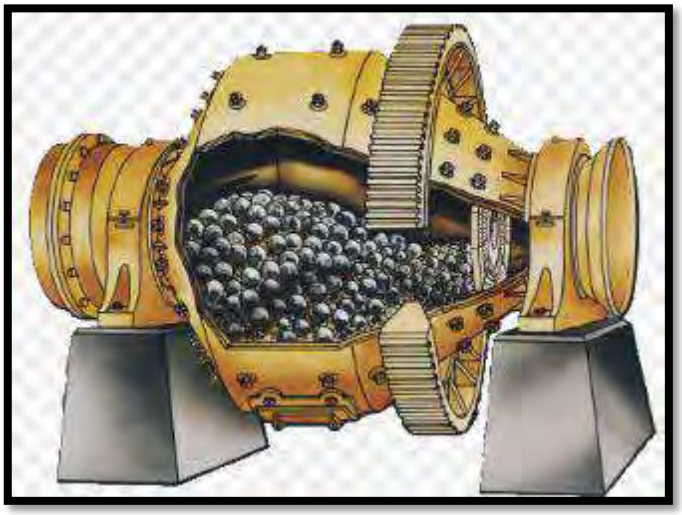


Figura 14. Molino de bolas
Fuente: https://molinosdebolas.wordpress.com/molinos-de-bolas-para-mineria/

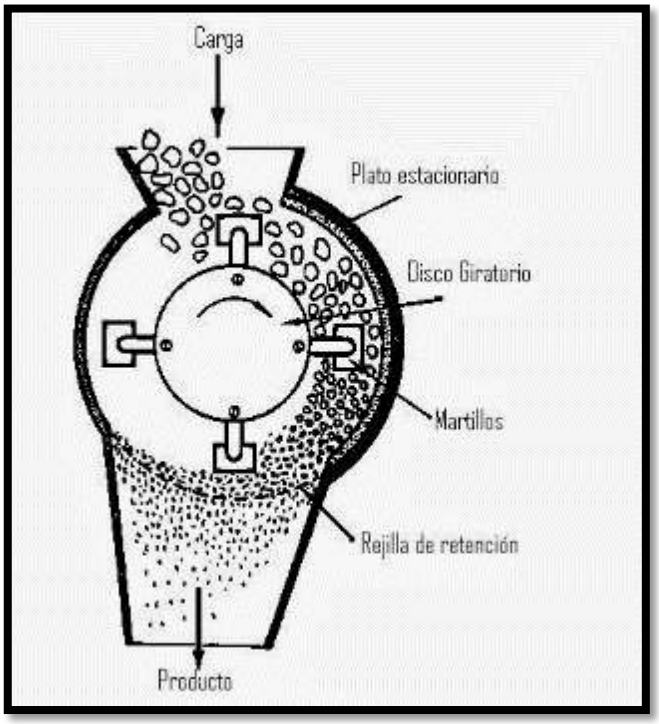



Figura 15. Molino de martillos
Fuente: http://fiai-pe.blogspot.pe/2013/10/molinos-de-martillos.html

Figura 16. Molino vertical de rodillos
Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/noticias/1493.html

# Capítulo 2
# La molienda en la industria

## 2.1. Introducción

La industria es toda actividad que busca obtener como resultado un producto con un valor agregado, consecuencia de procesar algún tipo de materia o material. La molienda es un proceso necesario en muchas de ellas; podemos mencionar la industria alimentaria con sus productos, en su mayoría, de conserva; la industria de rubro minero, agropecuario, agroindustrial, entre otras. En este capítulo se presenta los diferentes tipos de industria existentes, donde se encuentra la molienda entre sus procesos, se comenta cada tipo de industria y se menciona el tipo o tipos de molinos que utilizan.

## 2.2. Tipos de industria

### 2.2.1. Industria minera

La industria minera como actividad económica se encuentra en el sector primario, por ser de extracción y recolección de minerales, materia prima para el sector económico secundario. Ésta se divide en dos minerías, metálica y no metálica, la primera cuya materia obtenida se destina a la industria metalúrgica y siderúrgica, y la segunda cuya materia obtenida se destina para el sector de industrias de materiales de construcción, alhajas, entre otras. Estos minerales se encuentran en el suelo y/o subsuelo, accediendo a ellos por medio de procedimientos técnicos que además respetan el medio ambiente o no, haciendo la diferencia entre minería legal o ilegal.

Los tipos de minas que se pueden distinguir siguiendo un criterio simple, son de superficie o cielo abierto y subterránea; dependiendo del yacimiento se define el tipo de mina, maquinaria, herramientas, sistemas y procedimientos para la extracción del mineral o minerales existentes.

Los minerales existentes en el yacimiento no se encuentran, en su mayoría, en estado puro por lo cual se extraen grandes volúmenes de material de la mina para obtener, por procedimientos físicos y químicos, el mineral metálico o no metálico de importancia.

Entre los procedimientos físicos que se aplica a estos volúmenes de material sacado de la mina están: el transporte, chancado, trituración, molienda, entre otros. Para el procedimiento de molienda se usan molinos de gran y mediana capacidad en volumen con flujos de entre 0.17 a 250 toneladas/ hora.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18), de bolas (Figura 19), de barras (Figura 20), autógeno "AG" (Figura 21) y semi autógeno "SAG" (Figura 22).

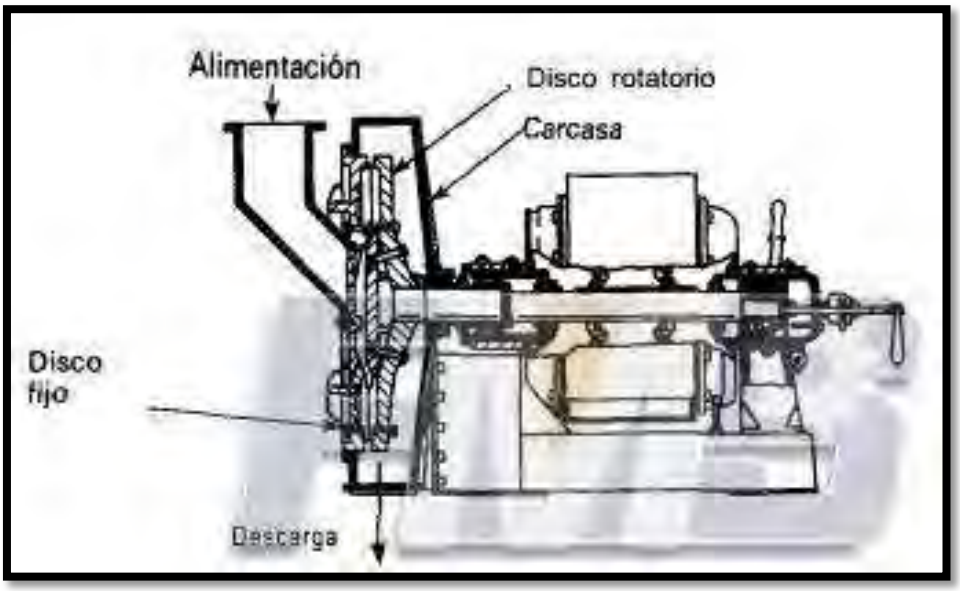



Figura 17. Molino de discos.
Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/wiki/445.html

Figura 18. Molino de rodillos.
Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molino-de-tambor-rotatorio-o-de-rodillos.html

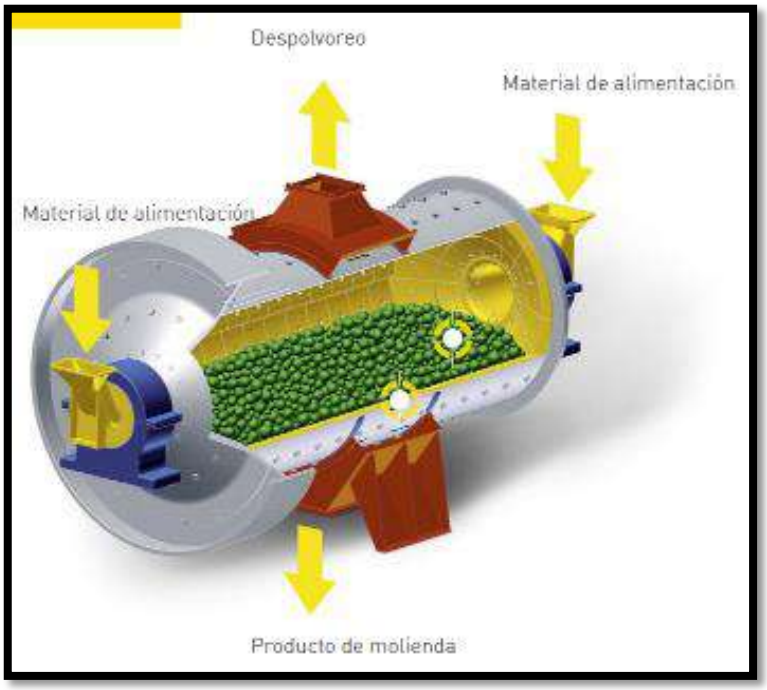



Figura 19. Molino de bolas.
Fuente: http://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-de-bolas-mrdmre/

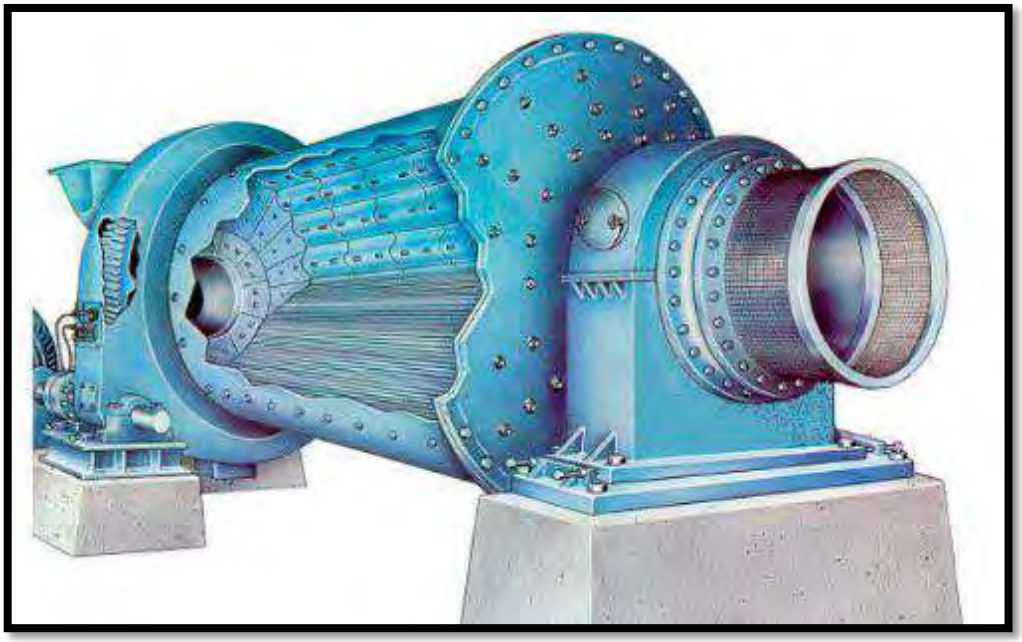


Figura 20. Molino de barras.
Fuente: https://www.emaze.com/@ALCILCCZ/-copy4

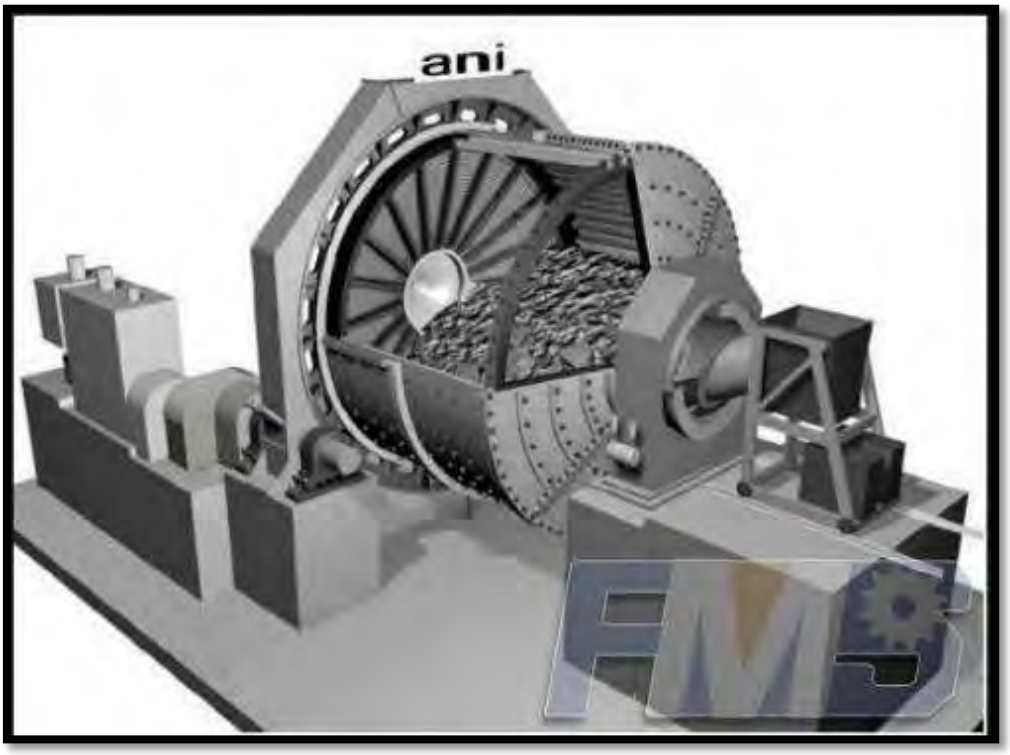



Figura 21. Molino autógeno.
Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molienda-Aut%C3%B3gena.html

Figura 22. Molino semi autógeno.
Fuente: http://www.metso.com/es/productos/molienda/molinos-autogenos-y-semiautogenos/

### 2.2.2. Industria metalúrgica

La industria metalúrgica como actividad económica se encuentra en el sector secundario, aplica procesos y tratamientos técnicos tanto físicos como químicos al mineral metálico extraído de los yacimientos para obtener el metal o aleaciones en presentaciones como barras, planchas, rollos y otros objetos.

Entre los procesos físicos iniciales para la obtención del metal está la molienda, que se hace antes de separar la mena de la ganga, donde la mena es el mineral metálico de importancia y la ganga el material de no importancia o cuyo valor de aprovechamiento, en términos rentables, es despreciable o muy costoso. El material molido se transporta por fajas para iniciar con el primer proceso metalúrgico, siendo el de concentración del mineral, donde se separa la mayor cantidad de mena de la ganga mediante tipos de operaciones como son el de peso específico, conductividad eléctrica, color, tensión superficial, entre otros, que se aplica según las propiedades del metal a obtener, para continuar con los procesos metalúrgicos siguientes como son el de levigación, flotación, donde ambos consisten en un tratamiento con agua, o tostación, calcinación, entre otros, hasta llegar al afino, donde se obtiene el metal con la menor cantidad posible de impurezas.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18), el de bolas (Figura 19), de barras (Figura 20) y de martillos (Figura 23).

Figura 23. Molino de martillos.
Fuente: http://www.chancadoras.org/productos/molino-de-martillos.html

### 2.2.3. Industria siderúrgica

La industria siderúrgica es una actividad económica que se encuentra en el sector secundario, aplica procesos y tratamientos técnicos comunes como particulares a la metalurgia para la extracción, tratamiento y obtención de aleaciones de hierro.

El mineral de hierro es la materia prima, la mena de este mineral contiene variedad porcentual de este elemento por lo que se le procesa y trata de manera física, térmica y químicamente, para obtener hierro fundido, acero u otra aleación, en presentaciones de lingotes, barras, planchas, entre otros objetos.

Los procesos siderúrgicos inician con un peletizado, que parte con un proceso de molienda de la mena, este material molido es transportado por fajas pasando por debajo de un electromagneto giratorio en forma de tambor que atrae el material ferromagnético y deja pasar el diamagnético, en una operación llamada susceptibilidad magnética para la concentración de mineral, luego se mezcla el hierro obtenido con arcilla y se forman pellets, a los que se les añade una capa de carbón antes de pasar por un proceso de horneado, seguido de esto, se funden con piedra caliza, de este último proceso, de fundición, se obtiene arrabio y escoria; el primero, una mezcla de hierro, oxígeno y carbono, que será fundido nuevamente para dar paso a las fundiciones comerciales y el segundo, una mezcla de hierro, silicio y azufre.

Las diferentes aleaciones, en su mayoría, compuestas por los mismos elementos y que al tratárseles de manera térmica, química o al variar el porcentaje de composición, se obtiene un producto con propiedades específicas.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18), el de bolas (Figura 19), de barras (Figura 20) y de martillos (Figura 23).

### 2.2.4. Industria cementera

La industria cementera es una actividad económica del sector secundario, donde se procesa piedra caliza u otros minerales para obtener cemento.

Los procesos y tratamientos de esta industria se inician con la trituración del material clasificado que se extrae de la cantera, piedra caliza, óxido de tiza, esquisto, aluminio, hierro mineral, yeso mineral, marga, etc., para obtener un tamaño adecuado antes del proceso de molienda, que es donde estos y demás agregados como la arena de sílice consiguen la granulometría necesaria para la correcta cocción de los componentes minerales dosificados en el horno; seguido de la molienda se continua con procesos físicos de calentamiento, enfriamiento, entre otros, hasta obtener finalmente el cemento.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de bolas (Figura 19) y de Raymond o vertical (Figura 24).

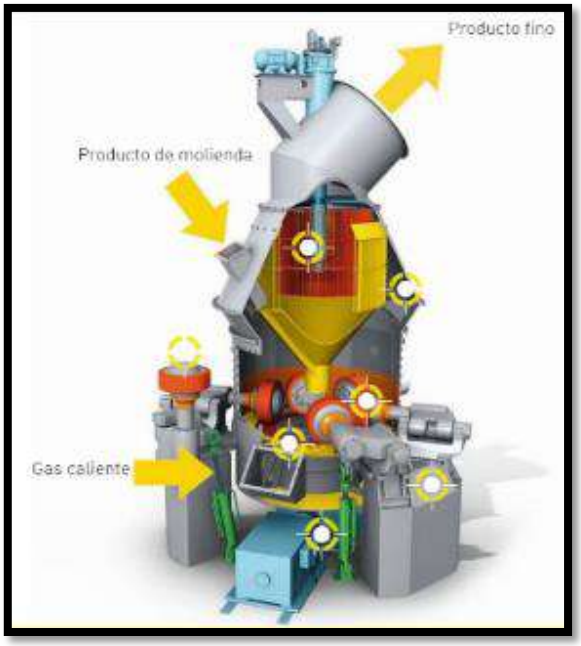



Figura 24. Molino de Raymond o vertical.
Fuente: http://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-vertical-de-rodillos-mvr-convencional/

### 2.2.5. Industria alimentaria

La industria alimentaria es una actividad económica del sector secundario, donde se elabora productos comestibles y bebibles para el consumo humano y animal, estos pueden ser de origen mineral, vegetal y animal.

En esta industria la materia prima se transporta, almacena y puede ser procesada o no; cumple estrictamente normas de higiene y conservación de alimentos, leyes alimentarias; donde organizaciones se encargan que las empresas, de este rubro, cumplan con ellas.

Esta industria se puede dividir en otras más, según el producto alimenticio ofrecido, ejemplo, pesquera, cárnica, lácteas, de bebidas, de sector agro, entre otras. En la mayoría se aplica un proceso de molienda, por ejemplo, en las pesqueras y cárnicas, en las de bebidas a base de caña, en las harinas de soya, maíz, etc.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18), de martillos (Figura 23) y para carne (Figura 25).

Figura 25. Molino para carne.
Fuente: http://www.atlantic.com.py/molino-para-carne-chino-p1781

### 2.2.6. Industria de reciclaje

La industria del reciclaje es una actividad económica del sector secundario, la cual en las últimas décadas ha crecido mucho por la concientización medioambiental.

Está dedicada a la recuperación y reúso de los desechos orgánicos e inorgánicos para la generación de energía, y procesamiento de la misma para la obtención de materia prima útil a la industria como metalúrgica, siderúrgica, del vidrio, plástico, papel y cartón.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18), de martillos (Figura 23) y para plástico (Figura 26).

### 2.2.7. Industria naturista

La industria naturista es una actividad económica del sector secundario, procesa recursos naturales como frutas, raíces, tallos, cortezas, entre otros, para elaborar harinas, ungüentos, cremas, bebidas, aceites y otros productos para consumo humano.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18) y de martillos (Figura 23).

Figura 26. Molino para plástico.
Fuente: http://www.comesa-mex.com/molinos/molino_plasticos_pet.html

### 2.2.8. Agroindustrial

La agroindustria es una actividad económica del sector secundario. Es una industria, que al igual que la industria alimentaria, procesa los recursos naturales biológicos para obtener productos que cubran en lo posible las necesidades y demandas de consumo del hombre.

En esta industria están las tabacaleras, fábricas de papel y de cartón, fábrica de lociones y perfumes a base de esencia de flores, cosmética, aserraderos, fábrica de fibras vegetales y tejidos, entre otras.

Los tipos de molinos que se usan son: de discos (Figura 17), de rodillos (Figura 18) y de martillos (Figura 23).

# Capítulo 3
# Tipos de molinos

## 3.1. Introducción

Como se vio en el capítulo anterior, en la actualidad muchas industrias usan uno o más tipos de molinos, lo cual se define por el material que procesan, costos y granulometría final. En el presente capítulo se comenta el campo de aplicación, funcionamiento y características técnicas de todos ellos.

## 3.2. Tipos de molinos

### 3.2.1. Molino de discos

En el molino de discos existen dos variedades, de discos y de discos vibratorios u oscilantes; por el principio de funcionamiento, el primero, es usado en diferentes industrias, ejemplo, minera, metalúrgica, siderúrgica, cementera, agroindustria, laboratorios, entre otras; el segundo, es usado en diferentes industrias, a nivel de laboratorio.

La molienda, en el molino de discos, se da por medio de la presión y la frotación o la fuerza de cizallamiento que se ejerce entre los dos discos, que son ajustados a la medida de la granulometría del producto que se desea. Estos pueden ser: lisos, dentados o con variedad de relieves en su área. Los discos giran en sentidos opuestos, o se mantiene uno estático y el otro en movimiento. (Ver Figura 27).

La molienda, en el molino de discos vibratorios u oscilantes, se da por impacto y fricción entre el producto a moler y los elementos del sistema que se encuentran dentro del recipiente que los contiene; estos elementos son: una masa, en forma de disco, y un anillo; el impacto y fricción, entre ellos, es ocasionado por el movimiento de rotación horizontal del sistema. (Ver Figura 28)

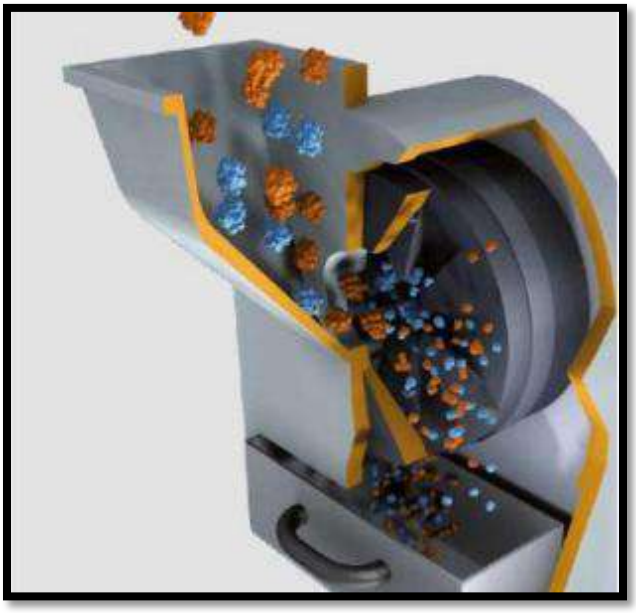


Figura 27. Molino de discos.
Fuente: Retsch, “Catálogo general”, 99.001.0010/SP-10-2016

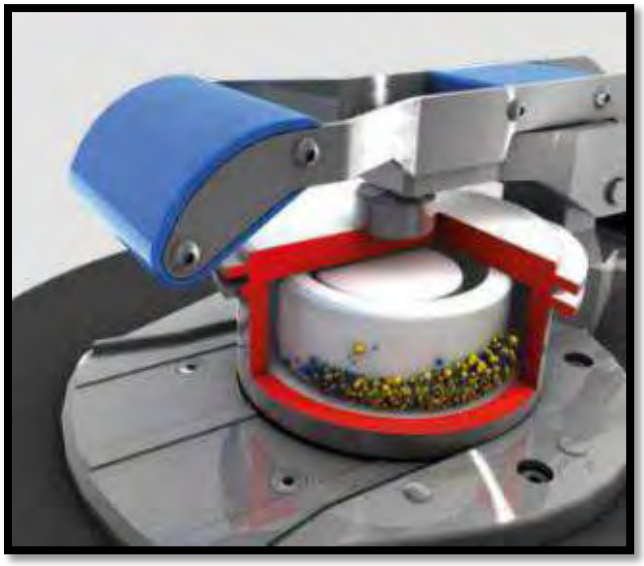


Figura 28. Molino de discos vibratorios u oscilantes.
Fuente: Retsch, “Catálogo general”, 99.001.0010/SP-10-2016

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de las variedades de este tipo de molino:

Tabla 1. Molino de discos – datos técnicos referenciales.

| Molino de discos | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Geología/metalurgia/materialesdeconstrucción/química/plástico/vidrio/cerámica/agroindustria |
| Tipo de material a moler | Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Presión, fricción |
| Granulometría inicial | < 20 mm |
| Granulometría final | < 50 µm |
| Rpm (referencial) | 180 rpm a 440 rpm |
| Material de los discos | Oxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso. |

Fuente: Retsch, "Catálogo general", 99.001.0010/SP-10-2016

Tabla 2. Molino de discos vibratorios – datos técnicos referenciales.

| Molino de discos vibratorios u oscilantes | |
|---|---|
| Aplicación | Reducción de tamaño, mezcla, trituración |
| Campos de aplicación | Geología/metalurgia/materiales de construcción/medio ambiente/vidrio/cerámica |
| Tipo de material a moler | Duro, semiduro, frágil, fibroso (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Presión, fricción |
| Granulometría inicial | < 20 mm |
| Granulometría final | < 20 µm |
| Rpm (referencial) | 700 rpm a 1500 rpm |
| Material de los discos | Acero templado, carburo de tungsteno, óxido de circonio, acero 1.1740 |

Fuente: Retsch, "Catálogo general", 99.001.0010/SP-10-2016

### 3.2.2. Molino de rodillos

Los molinos de rodillos se usan en diferentes industrias, ejemplo, minera, metalúrgica, agroindustria, entre otras.

La molienda se da por la compresión y fricción que se le ejerce al producto a moler, cuando pasa entre los dos rodillos que giran en sentidos opuestos, estos se ajustan a la granulometría del producto que se desea (Ver Figura 29) o espesor, en el caso de la caña de azúcar (Ver Figura 31).

Los rodillos pueden ser lisos o corrugados, con relieves poco pronunciados, lo que los diferencia de las trituradoras de rodillos.

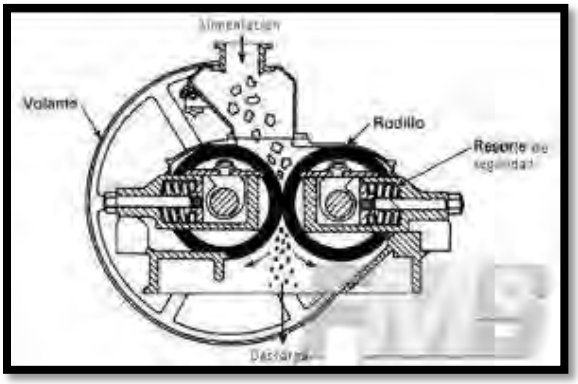



Figura 29. Molino de rodillos – minería.
Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/wiki/497.html

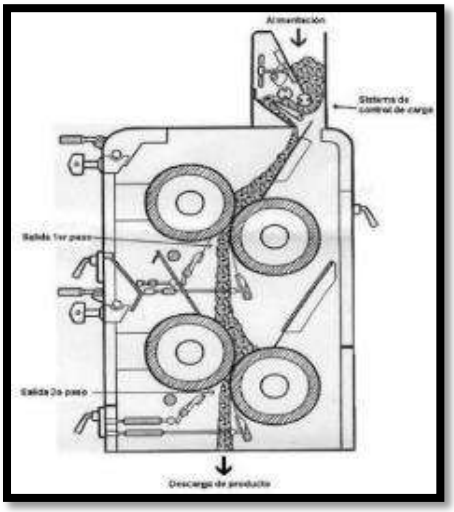



Figura 30. Molino de rodillos – harinero.
Fuente: https://line.do/es/molino-harinero/6cw/vertical

Figura 31. Molino de rodillos – caña de azúcar.
Fuente: https://procesodelapanela.wordpress.com/

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 3. Molino de rodillos – datos técnicos referenciales.

| Molino de rodillos | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Geología/metalurgia/materialesdeconstrucción/química/ vidrio/cerámica/agroindustria |
| Tipo de material a moler | Duro, semiduro y frágil |
| Principio de molienda | Compresión, fricción |
| Granulometría inicial | < 30 mm (en el caso de mineral) |
| Granulometría final | < 50 µm (en el caso de harinas) |
| Rpm (referencial) | 40 rpm (en el caso de la caña de azúcar) |
| Material de rodillos | Oxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso, piedra. |

Fuente: Metso, "Catálogo Rodillos de molienda de alta presión HRC", Folleto No. 2866-06-13-ESBL/SOROCABA-ESPAÑOL ©2013

### 3.2.3. Molino de bolas

El molino de bolas es usado en molienda fina de mineral, por lo que se usa en la industria minera, metalúrgica, siderúrgica y cementera. Está catalogado como molino convencional, la relación longitud/diámetro es mayor a 1 y menor a 2.

La molienda se da dentro de un cilindro de eje horizontal que contiene masas libres de acero, en forma de bolas, el material a moler entra en el cilindro, se hace rotar y las bolas en un movimiento de efecto cascada muelen el material por impacto y fricción. En su mayoría el tipo de molienda es húmeda, haciendo la descarga con agua, y cuando es seca, la descarga es por medio de corrientes de aire.

Estos molinos pueden ser de una cámara o un compartimento, o de varias cámaras o de compartimentos múltiples, resultando tener variedad de molienda en un mismo equipo. (Ver Figura 32)

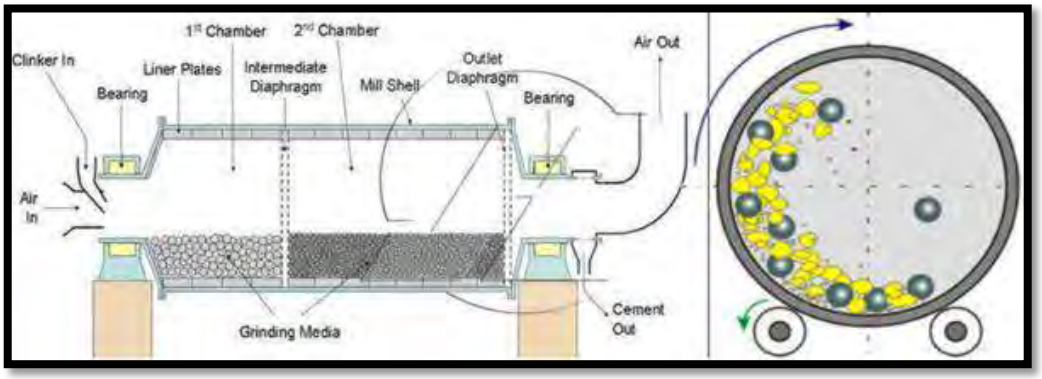



Figura 32. Molino de bolas – compartimentos múltiples (molienda seca).
Fuente: https://www.alibaba.com/product-detail/ball-pebble-grinding-mill-pebble-ball_60238322430.html

Figura 33. Molino de bolas – interior.
Fuente: http://www.metso.com/es/services/medios-de-molienda/

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 4. Molino de bolas – datos técnicos referenciales.

| Molino de bolas | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Minería/metalurgia/siderurgia/cemento |
| Tipo de material a moler | Duros y semiduros (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Impacto y fricción |
| Granulometría inicial | < 30 mm |
| Granulometría final | < 0.5 mm |
| Rpm (referencial) | de 14 rpm a 38 rpm |
| % de velocidad crítica | 65% a 75% |
| Material de bolas | Aleaciones de hierro-carbono al manganeso o al cromo |
| Diámetro de bolas | De 25 mm a 125 mm |
| Peso de bola (kg) | De 1.5 a 33 |
| Dureza de bolas (HRC) | DE 50 a 65 |
| Consumo de elementos de molienda | De 43 a 120 toneladas/mes (depende dureza de material) |
| Revestimiento interno del casco | Acero al manganeso, Ni-hard, cromo-molibdeno. (depende del mineral que se muele) |
| % de mineral en peso | De 65% a 80% |
| % de volumen de bolas en la cámara | De 40% a 50% |
| % de agua en peso | 50% a 60% (molienda húmeda) |
| Producción (t/h) | De 0.17 a 250 |
| Diámetro de molino | De 900 mm a 4500 mm |
| Longitud de molino | De 900 mm a 6100 mm |
| Potencia (kW) | De 18.5 a 2300 |

Fuente: https://www.alibaba.com/product-detail/Cement-Ball-Mill-Rock-Ball-Mill_885783042.html

### 3.2.4. Molino de barras

El molino de barras es usado en molienda gruesa de mineral, por lo que se usa en la industria minera, metalúrgica y siderúrgica. Al igual que el molino de bolas, está catalogado como molino convencional, la relación longitud/diámetro es mayor a 1 y menor a 2. (Ver Figura 34)

La molienda se da dentro de un cilindro de eje horizontal que contiene masas libres de acero, en forma de barras, cuya longitud es aproximadamente la longitud del cilindro; el material a moler entra en él, se hace rotar y las barras en un movimiento de efecto cascada muelen el material por impacto y fricción. En su mayoría el tipo de molienda es húmeda, haciendo la descarga con agua, y cuando es seca, la descarga es por medio de corrientes de aire.

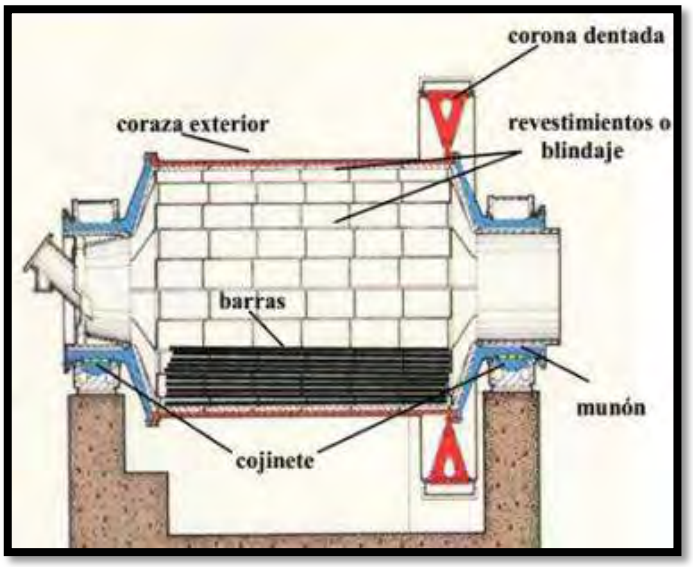



Figura 34. Molino de barras.
Fuente: https://procesaminerales.blogspot.pe/2012/09/molienda-etapas-y-tipos.html

Figura 35. Molino de barras - interior.
Fuente: https://procesaminerales.blogspot.pe/2012/09/molienda-etapas-y-tipos.html

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 5. Molino de barras – datos técnicos referenciales.

| Molino de barras | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Minería/metalurgia/siderurgia |
| Tipo de material a moler | Duros y semiduros (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Impacto y fricción |
| Granulometría inicial | < 55 mm |
| Granulometría final | De 0.5 mm a 6.7 mm |
| Rpm (referencial) | de 18 rpm a 32 rpm |
| % de velocidad crítica | 60% a 69% |
| Material de barras | Aleaciones de hierro-carbono al manganeso o al cromo |
| Diámetro de barras | < 90 mm |
| Relación longitud de barras/diámetro de molino | De 1.4 a 1.6 (asegura no trabamiento en el molino) |
| Dureza de barras (HB) | De 280 a 540 |
| Consumo de elementos de molienda | De 0.1 a 1 kg/tonelada de mineral molido (depende dureza de material) |
| Relación de reducción de material | De 15:1 a 20:1 |
| Revestimiento interno del casco | Acero al manganeso, Ni-hard, cromo-molibdeno. (depende del mineral que se muele) |
| % de mineral en peso | De 60% a 80% |
| % de volumen de barras en la cámara | De 35% a 45% |
| % de agua en peso | 50% a 60% (molienda húmeda) |
| Producción (t/h) | De 0.62 a 250 |
| Diámetro de molino | De 900 mm a 3600 mm |
| Longitud de molino | De 1800 mm a 5400 mm |
| Potencia (kW) | De 22 a 1600 |

Fuente: http://hanoidongahotel.com/products/grinding/molino-de-barras-humedo.html

### 3.2.5. Molino autógeno (AG)

Los molinos autógenos también conocidos como “AG”, son usados en la minería; es un molino no convencional, la relación longitud/diámetro es menor a 1. (Ver Figura 36)

La molienda se da al rotar el cilindro de eje horizontal, en forma de tambor, que contiene el material o solidos a moler, y en un movimiento de efecto catarata y cascada, este mismo, por impacto y fricción, se muele (Ver Figura 37). Por el principio de funcionamiento, no utiliza elementos de molienda, ejemplo, bolas o barras; por lo general es en molienda húmeda, y llega a obtener grandes relaciones de reducción de material.

Figura 36. Molino autógeno (AG).
Fuente: http://hanoidongahotel.com/products/grinding/molino-autogeno-de-alta-eficiencia.html

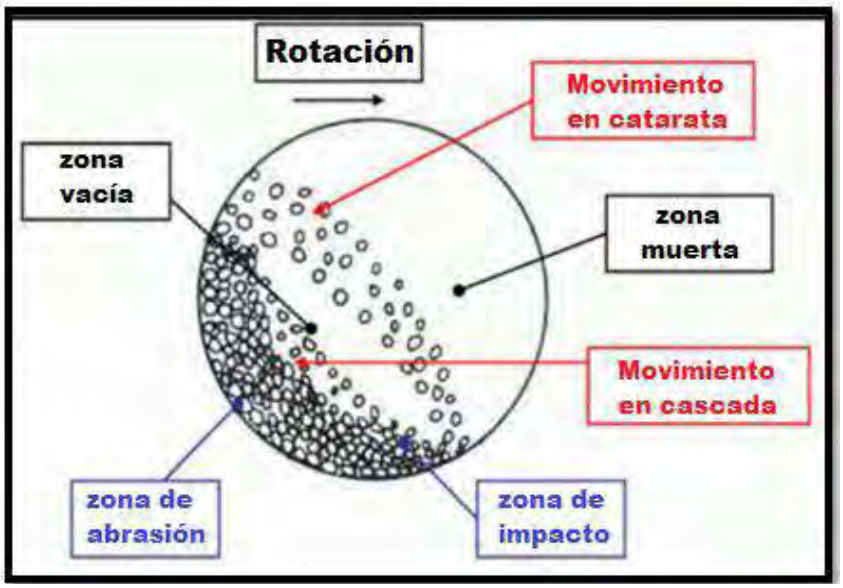



Figura 37. Molino autógeno (AG).
Fuente: http://slideplayer.es/slide/3186914/

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 6. Molino autógeno (AG) – datos técnicos referenciales.

| Molino autógeno (AG) | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Minería |
| Tipo de material a moler | Duros y semiduros (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Impacto y fricción |
| Granulometría inicial | De 200 a 400 mm |
| Relación de reducción de material | Puede llegar de 1000:1 (dependiendo del tiempo de molienda) |
| Rpm (referencial) | de 14 rpm a 19 rpm |
| % velocidad crítica (referencial) | 90 % |
| Relación longitud/diámetro de molino | 0.35 a 0.52 |
| Revestimiento interno del casco | Acero al manganeso, Ni-hard, cromo-molibdeno. (depende del mineral que se muele) |
| % de mineral en peso | De 50% a 80% |
| % de agua en peso | 75% (molienda húmeda) |
| Agregados para optimizar molienda | Agua/arena/piedra caliza |
| Diámetro de molino | De 4000 mm a 7500 mm |
| Longitud de molino | De 1400 mm a 2800 mm |
| Potencia (kW) | De 245 a 2500 |

Fuente: http://hanoidongahotel.com/products/grinding/molino-autogeno-de-alta-eficiencia.html

### 3.2.6. Molino semi autógeno (SAG)

Los molinos semi autógenos también conocidos como “SAG”, son usados en la minería; es un molino no convencional, la relación longitud/diámetro es menor a 1. (Ver Figura 38)

La molienda se da dentro de un cilindro de eje horizontal, en forma de tambor, que contiene un porcentaje mínimo, de su volumen, masas libres en forma de bolas, se hace rotar, y el material o solidos a moler, por movimiento de efecto catarata y cascada, se muele por impacto y fricción (Ver Figura 39). Por el principio de funcionamiento, utiliza elementos de molienda, bolas; por lo general es en molienda húmeda, y llega a obtener grandes relaciones de reducción de material.

Figura 38. Molino semi autógeno (SAG).
Fuente: http://www.directindustry.es/prod/flsmidth-dorr-oliver-eimco/product-62016-404118.html

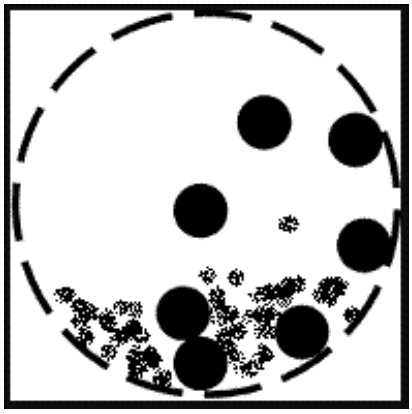


Figura 39. Molino semi autógeno (SAG).
Fuente: https://www.emaze.com/@ALCILCCZ/-copy4

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 7. Molino semi autógeno (SAG) – datos técnicos referenciales.

| Molino semi autógeno (SAG) | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Minería |
| Tipo de material a moler | Duros y semiduros (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Impacto, compresión y abrasión |
| Granulometría inicial | De 200 a 350 mm |
| Relación de reducción de material | Puede llegar de 2000:1 (dependiendo del tiempo de molienda) |
| Rpm (referencial) | de 10 rpm a 16 rpm |
| % velocidad crítica (referencial) | 77 % |
| Relación longitud/diámetro de molino | 0.35 a 0.52 |
| Material de bolas | Aleaciones de hierro-carbono agregando Ni o Cr o Mo o V |
| Diámetro de bolas | De 80 mm a 125 mm |
| % de volumen de bolas en la cámara | De 6% a 10% |
| Revestimiento interno del casco | Acero al manganeso, Ni-hard, cromo-molibdeno. (depende del mineral que se muele) |
| % de mineral en peso | De 20% a 24% |
| % de agua en peso | 40% (molienda húmeda) |
| Diámetro de molino | Existen de 11600 mm |
| Longitud de molino | Existen de 5800 mm |
| Potencia (kW) | Existen de 26100 |

Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/wiki/Molino-SAG.html

### 3.2.7. Molino de martillos

Los molinos de martillos son usados en muchas industrias, ejemplo, metalúrgica, agroindustria, de reciclaje, entre otras.

La molienda se da dentro de una cámara que contiene un rotor de eje horizontal que está compuesto por extensiones movibles o fijas, llamados martillos, que son perpendiculares al eje y están a lo largo de él; el rotor gira con velocidad y potencia suficiente para moler el material que ingresa a la cámara, impactándolo con los martillos y a su vez con la superficie interna de la misma; el material molido sale al

cumplir con la granulometría que define la criba, zaranda o rejilla de retención a la salida. (Ver Figura 40)

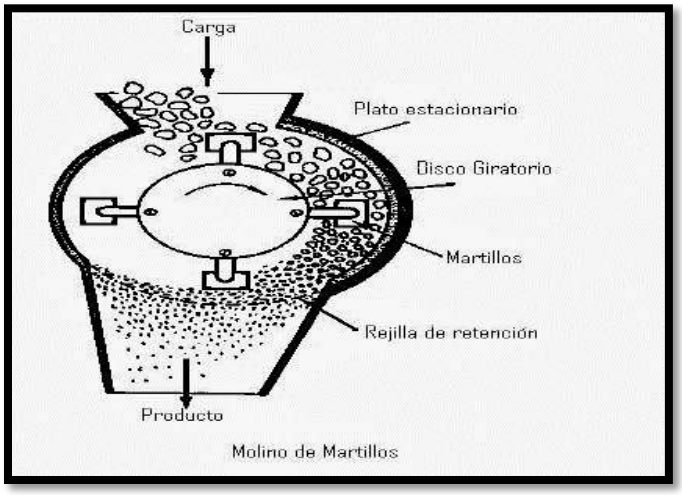



Figura 40. Molino de martillos.
Fuente: http://fiai-pe.blogspot.pe/2013/10/molinos-de-martillos.html

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 8. Molino de martillos – datos técnicos referenciales.

| Molino de martillos | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda preliminar y fina |
| Campos de aplicación | Geología/metalurgia/materialesdeconstrucción/química/plástico/vidrio/cerámica/ agroindustria |
| Tipo de material a moler | Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs) |
| Principio de molienda | Impacto |
| Dimensión de cámara de molienda (mm) | Largo/ancho/altura de 2310/1665/1610 a 3720/2650/2540 (minería) |
| | Ancho/diámetro De 150/250 a 120/150 (agroindustria) |
| Granulometría inicial (mm) | < 100 (minería) |
| | < 40 (agroindustria) |
| Granulometría final | De 0 a 3 mm (minería) |
| | < 100 µm (agroindustria) |
| % de humedad del material a moler | Hasta el 20% (en molienda húmeda) |
| Rpm (referencial) | 500 rpm a 1000 rpm (minería) |
| | Hasta 2000 rpm (agroindustria) |
| Producción toneladas/hora | De 35 a 100 (minería) |
| | De 0.05 a 3 (agroindustria) |
| Potencia (kW) | De 75 a 132 (minería) |
| | De 3 a 38 (agroindustria) |
| Material de los martillos | Acero al manganeso (minería) |
| | Acero al carbono (agroindustria) |

Fuente: http://trituradoras-de-roca.com/Molino/Molino-de-martillos.html

### 3.2.8. Molino de Raymond o vertical

Los molinos de Raymond o también conocidos como molinos verticales, son usados en la industria del cemento.

La molienda se da dentro de una cámara vertical que contiene una pista circular, que gira por debajo de unos rulos o muelas, el material que se encuentra encima de la pista, se muele por la presión que ejercen los rulos al rodar sobre ella; el material sale por el filo externo de la pista y cae a un anillo que forma parte de un sistema de aire o gases calientes, que ingresan a la cámara elevando el producto molido hasta un separador, que clasifica, y dependiendo de la granulometría, regresa a la pista de molienda, o si el producto es fino, pasa hasta el ducto de salida que se ubica en la parte superior. (Ver Figura 41)

Figura 41. Molino de Raymond o vertical.
Fuente: http://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-vertical-de-rodillos-mvr-convencional/

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 9. Molino de Raymond o vertical – datos técnicos referenciales.

| Molino de Raymond o vertical | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda fina |
| Campos de aplicación | Cemento/construcción |
| Tipo de material a moler | Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs) |
| Materiales a moler | Crudo de cemento/carbón/coque de petróleo/Clinker |
| Principio de molienda | Presión y fricción |
| Granulometría inicial | Hasta 120 mm |
| Granulometría final | Hasta 100 µm |
| Rpm de la pista de molienda | De 25 a 35 rpm |
| Diámetro orbital de pista de molienda | Existen mayores de 5000 mm |
| Diámetro de rulo o muela | Existen mayores de 3000 mm |
| Numero de rulos o muelas | Hasta 6 |
| Producción toneladas/hora | De 35 a 650 |
| Potencia (kW) | Hasta 18000 |

Fuente: http://www.gebr-pfeiffer.com/es/productos/molino-vertical-de-rodillos-mvr-convencional/

### 3.2.9. Molino para carne

Los molinos para carne son usados en la industria alimentaria.

La molienda se da dentro de una cámara que contiene un sistema de un tornillo sinfín, en un extremo de éste, está el mecanismo para generar el movimiento de rotación, y en el otro, esta una cuchilla que pica y muele por fricción la carne que ingresa, y que es conducida hasta ella por el sinfín; en este mismo extremo, muy pegada a la cuchilla, está la rejilla o cedazo que definirá la medida de la carne molida a la salida. (Ver Figura 42 y Figura 43)

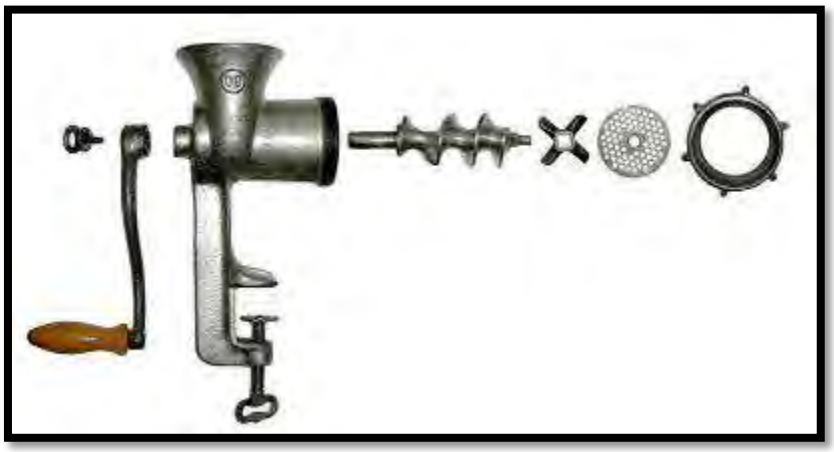


Figura 42. Molino para carne.
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fleischwolf-zerlegt.jpg

Figura 43. Molino para carne.
Fuente: https://www.tetengoelregalo.com/producto/molino-de-carne-casero-multiusos/

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 10. Molino para carne – datos técnicos referenciales.

| Molino para carne | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda de carne |
| Campos de aplicación | Alimentaria |
| Tipo de material a moler | Carne |
| Principio de molienda | Corte y fricción |
| Granulometría inicial | Trozos de carne |
| Granulometría final | Molido |
| Rpm (referencial) | Varia (manual y con motor) |
| Material de rejilla o cedazo | acero templado, acero inoxidable |
| Material de cuchilla | Acero inoxidable |
| Potencia (W) | De 220 a 3000 |
| Producción kilogramo/hora | Existen de 100 a más |

Fuente: http://www.dosze.com.co/mcz002-molino-para-carnes-electrico-lem-comercial-035-hp.html

### 3.2.10. Molino para plástico

Los molinos para plástico son usados en la industria del reciclaje.

La molienda se da dentro de una cámara o caja que contiene un rotor de eje horizontal que cuenta con cuchillas fijas y dispuestas a lo largo del eje, además la cámara cuenta con cuchillas fijas, cuyos filos miran a las cuchillas que rotan; a la salida, hay una criba que definirá la granulometría del plástico que se descarga. (Ver Figura 44)

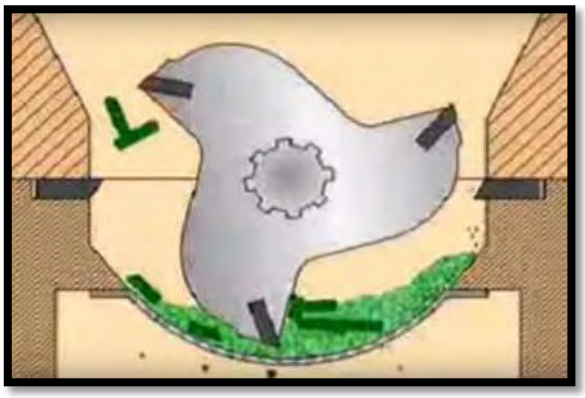


Figura 44. Molino para plástico.
Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=wVypNWCx45g

A continuación, se muestran datos técnicos referenciales de este tipo de molino:

Tabla 11. Molino para plástico – datos técnicos referenciales.

| Molino para plástico | |
|---|---|
| Aplicación | Molienda de plástico |
| Campos de aplicación | reciclaje |
| Tipo de material a moler | Plástico |
| Principio de molienda | Corte |
| Material de entrada | Variado de tamaño y de espesor no mayor a los 15 mm |
| Granulometría final | Picado |
| Rpm (referencial) | 2000 a más |
| Material de criba | acero |
| Material de cuchillas | acero AISI D-2 con alto contenido de cromo |
| Numero de cuchillas | De rotor 3 caja 2 a rotor 6 caja 4 |
| Potencia (kW) | De 3 a 37 |
| Producción kilogramo/hora | De 30 a 2000 |

Fuente: http://maquinariapulvex.com/molino-para-plasticos.html

# Capítulo 4
# Sistematización de diseño de molinos de martillos fijos para grano

## 4.1. Introducción

Para el desarrollo de este capítulo se asistió a centros de molienda de grano donde se usa molinos de martillos fijos y martillos locos o movibles, el principio de funcionamiento es el mismo en ambos. Un eje rotante compuesto por extensiones perpendiculares a lo largo de su longitud, donde en los extremos de estas extensiones, se ubican unas platinas llamadas martillos que son los que muelen el producto por impacto, la diferencia como su mismo nombre lo dice es, en los fijos, el elemento de sujeción a la extensión perpendicular al eje rotante no les permite movilidad en el plano que se encuentra; en el de martillos movibles el pin pasante de sujeción a la volante o disco perpendicular al eje, les permite la movilidad en el plano que se encuentran.

A la vez se asistió a un centro donde se confeccionan, reparan, modifican y se le da mantenimiento a este tipo de molinos, de martillos fijos y movibles.

Se consultó a las personas encargadas tanto en los locales de uso y confección de estos molinos, todo en cuanto al funcionamiento, datos y otros detalles que se creyeron necesarios para el diseño de un molino de martillos fijos.

## 4.2. Visitas a centros de molienda y recopilación de datos

En las visitas a los centros de molienda de grano donde el producto final es destinado para consumo animal o para consumo humano, se encontró con molinos de martillos movibles y fijos, donde las variantes de dimensionamiento tanto de materiales usados en la confección como el dimensionamiento de la caja del molino, y factores como la granulometría del producto molido a obtener y potencia del motor que mueve el sistema; define la relación de cantidad de producto molido por tiempo. Se debe tener en cuenta que para el buen funcionamiento y producción tiene que haber una correcta dosificación en la alimentación de producto a moler, de lo contrario, puede existir una sobre carga ocasionando atascamiento o “tiempos muertos”, que es cuando el molino se encuentra con la caja vacía generando tiempo de improductividad. A continuación, se muestra un rotor de un molino de martillos movibles y uno de martillos fijos, para poder diferenciarlos.
Rotor de un molino de martillos locos o movibles:

Figura 45. Rotor de un molino de martillos movibles.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Rotor de un molino de martillos movibles.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 45 y Figura 46 el rotor consta de un eje, perpendicular a éste, unas volantes o discos llamados discos porta martillos, separados, que van fijos (soldado) a un tubo de mayor diámetro del eje (como una camisa) sujeto

fijamente (al eje) por unos pernos pasantes para evitar algún movimiento; entre disco y disco van unos pines (paralelos al eje) donde se encuentran los martillos, entre éstos últimos, unos separadores para distanciar uno de otro. Como se puede ver en la Figura 45 los martillos tienen movilidad en su plano.

Figura 47. Rotor de un molino de martillos locos o movibles.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 47 se puede apreciar lo antes dicho con mayor cantidad de discos, pines, martillos y sus separadores.

A continuación, se muestra un rotor de un molino de martillos fijos:

Figura 48. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 48 y Figura 49 se observa un rotor de un molino de martillos fijos, se puede ver que no hay discos porta martillos y pines pasantes en los martillos como en el rotor de un molino de martillos movibles. En este rotor se disponen unas extensiones en un plano perpendicular al eje llamadas palancas porta martillos, fijadas a presión por unas tuercas en los extremos, y entre una y una, unos separadores; las palancas están desfasadas 60° y en sus extremos llevan dos martillos, uno en cada cara (Ver Figura 49), en el extremo interno del martillo, hay un pasante fijo en la extensión, dispuesto de esa forma para evitar su movilidad al impactar con el producto a moler.

Se visitó tres centros de molienda, planta de molienda de Avícola y Servicios San Andrés S.A.C. ubicada actualmente en el cruce de la carretera a La Legua - Piura, planta de molienda de Acuiagro S.A.C. ubicada en el centro poblado de Yapato en el distrito de La Unión – Piura, y planta de molienda de Agroindustrias Khormoran ubicada en el distrito de Chulucanas – Morropón – Piura.

### 4.2.1. Visita a planta de molienda de Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.

En esta planta de molienda se muele el maíz para abastecer de alimento a las gallinas de postura o ponedoras que se encuentran en los galpones de la avícola.

A continuación, se muestran imágenes de la planta:

Figura 50. Instalaciones donde se descarga el maíz desde el camión de los proveedores.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Rejilla donde se descarga el maíz desde el camión de los proveedores y elevador (color amarillo).
Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Sistema para transporte de maíz desde la poza de descarga a las pozas de almacenaje.
Fuente: Elaboración propia.

El sistema de transporte de maíz que se observa en la Figura 52, Figura 53 y Figura 54 consiste en un elevador de maíz (Figura 51), un ducto que interiormente cuenta con un sistema de paletas que eleva el maíz hasta el ducto de distribución; el ducto de distribución, interiormente tiene un transportador de tornillo sin fin que lleva el maíz a través del mismo, en el trayecto de éste se ubican compuertas para descargue en cada poza de almacenaje.

Figura 55. Poza de almacenaje.
Fuente: Elaboración propia.

Cabe indicar que en el fondo de las pozas se encuentra un sistema de transporte donde se recolecta el maíz y se lleva a través de un ducto a una poza común (Ver Figura 58.), además cada poza cuenta con un sistema de ventilación para evitar en lo posible la humedad que se pueda generar en el producto almacenado por el ambiente.

Figura 56. Ventiladores de las pozas.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Ventilador.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58 se ve la poza común que es donde llega el maíz recolectado de las pozas de almacenaje y el elevador (Ver Figura 58 y Figura 59) que llevara el maíz desde aquí hasta el ducto que alimenta al molino (Ver Figura 60 y Figura 61).

Figura 58. Poza común y elevador (color amarillo).
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Elevador de la poza común.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Ducto de alimentación de molino.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Ducto de alimentación de molino.
Fuente: Elaboración propia.

El ducto de alimentación del molino cuenta internamente con un sistema de trampas para retener en lo posible partículas como piedras, metales, entre otras, que pueden perjudicar el funcionamiento del molino o estar en el producto molido cuando no deben estar (Ver Figura 62, Figura 63 y Figura 64).

Figura 62. Trampas del ducto de alimentación de molino.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Trampas del ducto de alimentación de molino.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Partícula extraña retenida por la trampa.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Ducto de alimentación de molino y molino.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. Molino de martillos locos.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra en la Tabla 12 las características del molino usado en esta planta:

Tabla 12. Molino de martillos movibles – Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.

| **Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos locos o movibles** (molienda de maíz) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 20.32 |
| | diámetro (cm) | 60.96 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.476 |
| Martillos | número | 40 |
| | ancho (cm) | 3.81 |
| | espesor (cm) | 0.635 |
| | largo (cm) | 12.00 |
| Eje | diámetro (cm) | 5.08 |
| Discos porta martillos | número | 3 |
| | diámetro (cm) | 45.72 |
| | espesor (cm) | 1.27 |
| Pines porta martillos | número | 8 |
| | diámetro (cm) | 1.905 |
| | largo (cm) | 19.05 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.635 |
| | espesor (cm) | 0.476 |
| Productividad aproximada | t/h | 1.5 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 22.38 |
| | rpm | 1800 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67. Línea post molienda – silos, elevadores y mezcladores para alimento.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 68. Línea post molienda – silos, elevadores y mezcladores para alimento.
Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.2. Visita a planta de molienda de Acuiagro S.A.C.

En esta planta se muele diatomita, roca mineral no metálica compuesta químicamente en gran porcentaje por $SiO_2$; este material, al tacto, es suave, molido y de fácil deslizamiento; se forma por la sedimentación de gran cantidad de frústulas o parte dura de las diatomeas, tipo de algas unicelulares de fitoplancton. El producto es usado, en este caso, para la acuicultura.

A continuación, se muestran imágenes del molino:

Figura 69. Molino de martillos movibles – rotor y polea.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Martillos y anillos separadores.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 71. Rotor sin martillos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 72. Zaranda.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 73. Motor y polea.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Molino de martillos movibles – Acuiagro S.A.C.

| **Acuiagro S.A.C.** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos locos o movibles** (molienda de diatomita) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 27.94 |
| | diámetro (cm) | 40.64 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.476 |
| Martillos | número | 36 |
| | ancho (cm) | 3.81 |
| | espesor (cm) | 0.635 |
| | largo (cm) | 15.00 |
| Eje | diámetro (cm) | 4.445 |
| Discos porta martillos | número | 3 |
| | diámetro (cm) | 21.59 |
| | espesor (cm) | 0.953 |
| Pines porta martillos | número | 4 |
| | diámetro (cm) | 1.905 |
| | largo (cm) | 25.4 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.159 |
| | espesor (cm) | 0.318 |
| Productividad aproximada | t/h | 3 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 18.65 |
| | rpm | 1755 |

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3. Visita a planta de molienda de Agroindustrias Khormoran

En esta planta de molienda se obtiene harina de trigo, de soya y de maíz, para consumo humano.

A continuación, se muestran imágenes de la planta:

Figura 74. Molino de martillos fijos, impulsor y silo.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 75. Molino de martillos fijos e impulsor.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 76. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 77. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 78. Rotor, eje y zaranda.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Molino de martillos fijos – Agroindustrias Khormoran.

| **Agroindustrias Khormoran** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos fijos** (molienda de trigo, soya y maíz) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 35.72 |
| | diámetro (cm) | 45.72 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.318 |
| Martillos | número | 60 |
| | ancho (cm) | 3.81 |
| | espesor (cm) | 0.476 |
| | largo (cm) | 10.16 |
| Eje | diámetro (cm) | 5.08 |
| Palancas porta martillos | número | 15 |
| | largo (cm) | 35.56 |
| | ancho (cm) | 10.16 |
| | espesor (cm) | 0.794 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.318 |
| | espesor (cm) | 0.318 |
| Productividad aproximada | t/h | 1 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 22.38 |
| | rpm | 1755 |

Fuente: Elaboración propia.

## 4.3. Visita a centro de fabricación de molinos y recopilación de datos

El centro de labores de fabricación de molinos donde también brindan servicio de reparación, modificación y mantenimiento, de estos y de otras máquinas para la industria, fue Servicios Metalnor S.C.R.L. ubicado en el distrito de Veintiséis de Octubre - Piura; se encontró dos molinos de martillos movibles ya confeccionados, un molino picador (muele y también pica pasto) y un molino para moler diatomita; también se estuvo presente en la confección de un molino de martillos movibles para moler palo santo.

### 4.3.1. Molino picador (para moler o picar pasto)

Este molino picador se hizo a pedido de una facultad de zootecnia de una universidad de la región. Se solicitaba un molino de pasto seco y también una picadora de pasto verde para abastecer de alimento al ganado existente en los establos de esta facultad. Esta máquina en modo de molino también puede moler grano.

A continuación, se muestran imágenes del molino picador:

Figura 79. Molino de martillos movibles y picadora de pasto.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 80. Picadora de pasto verde – cuchilla fija y cuchilla movible.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 81. Picadora de pasto verde - cuchilla movible.
Fuente: Elaboración propia.

Esta máquina en el modo de picadora cuenta con una cuchilla fija que se encuentra empernada al bastidor del molino (Ver parte inferior de la Figura 80) y dos cuchillas movibles empernadas fijamente al disco porta martillos (Ver parte superior de la Figura 80 y Figura 81), estas cuchillas pueden ser fácilmente retiradas para afilamiento o cambio.

Figura 82. Molino de martillos movibles – rotor y zaranda.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 83. Peines de impacto ubicados en el interior de tolva.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 84. Agujero de zaranda.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Molino de martillos movibles – Facultad de zootecnia.

| **Facultad de zootecnia** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos movibles** (para moler o picar pasto) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 21.59 |
| | diámetro (cm) | 53.34 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.476 |
| Martillos | número | 24 |
| | ancho (cm) | 3.81 |
| | espesor (cm) | 0.635 |
| | largo (cm) | 15.24 |
| Eje | diámetro (cm) | 3.81 |
| Discos porta martillos | número | 2 |
| | diámetro (cm) | 20.32 |
| | espesor (cm) | 0.953 |
| Pines porta martillos | número | 4 |
| | diámetro (cm) | 1.588 |
| | largo (cm) | 17.78 |
| Peines de impacto | número | 10 |
| | fierro cuadrado (cm) | 0.953 |
| | largo (cm) | 20.60 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 1.27 |
| | espesor (cm) | 0.318 |
| Productividad aproximada | t/h | ---- |
| Motor de molino | potencia (kW) | 8.95 |
| | rpm | 1755 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2. Molino de martillos movibles (para moler diatomita)

Este molino se hizo a pedido de la empresa Acuiagro S.A.C. para una ampliación de su planta de molienda.

A continuación, se muestran imágenes del molino:

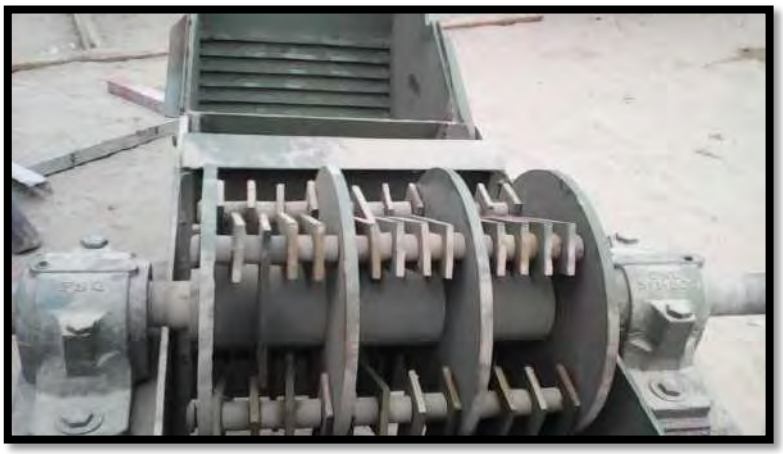


Figura 85. Rotor e interior de tolva.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 86. Peines de impacto en interior de tolva.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 87. Martillo.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Molino de martillos movibles – Acuiagro S.A.C. (2).

| **Acuiagro S.A.C. (2)** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos movibles** (molienda de diatomita) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 35.56 |
| | diámetro (cm) | 59.69 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.476 |
| Martillos | número | 48 |
| | ancho (cm) | 5.08 |
| | espesor (cm) | 0.635 |
| | largo (cm) | 16.51 |
| Eje | diámetro (cm) | 5.08 |
| Discos porta martillos | número | 4 |
| | diámetro (cm) | 29.21 |
| | espesor (cm) | 0.953 |
| Pines porta martillos | número | 4 |
| | diámetro (cm) | 1.588 |
| | largo (cm) | 34.29 |
| Peines de impacto | número | 9 |
| | fierro cuadrado (cm) | 1.27 |
| | largo (cm) | 34.29 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.159 |
| | espesor (cm) | 0.318 |
| Productividad aproximada | t/h | 4.2 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 22.38 |
| | rpm | 1755 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.3. Molino de martillos movibles (para moler palo santo)

Este molino se hizo a pedido para obtener viruta de palo santo. A continuación, se muestran imágenes de su confección:

Figura 88. Plantilla de caja.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 89. Parte de lo que será el bastidor - caja.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 90. Parte de lo que será el bastidor - caja.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 91. Avance de caja de molino.
Fuente: Elaboración propia.

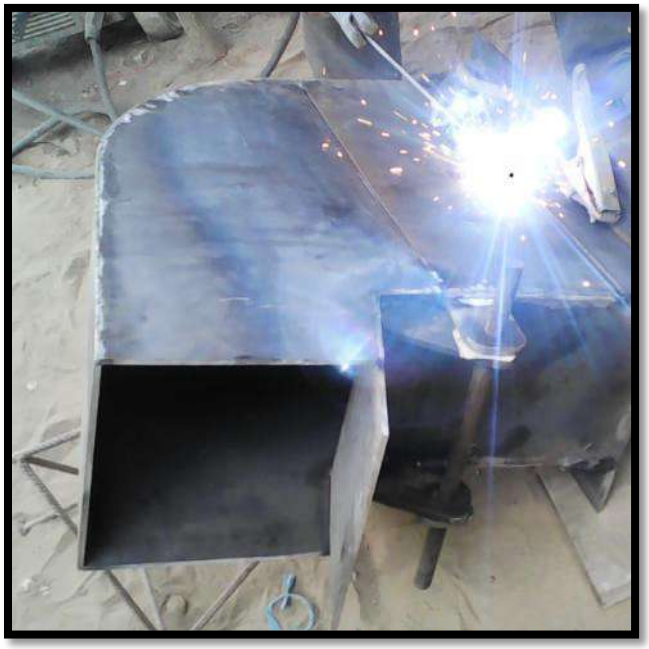


Figura 92. Soldado de ángulo para base.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 93. Bastidor y tolva casi terminados.
Fuente: Elaboración propia.

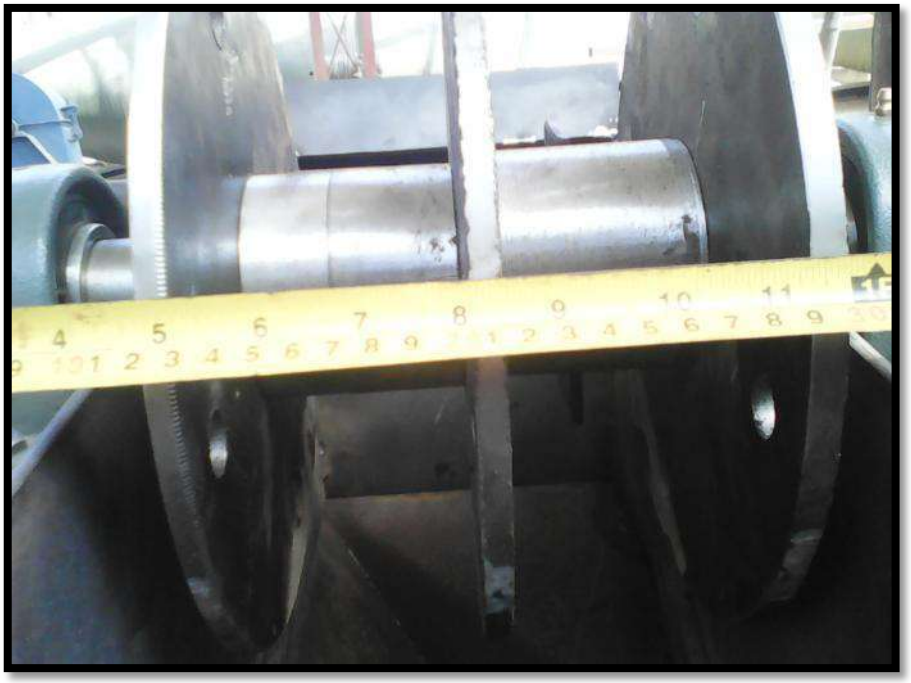


Figura 94. Avance de rotor - eje y discos porta martillos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 95. Base de cojinete, cojinete, eje, discos y pin porta martillos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 96. Martillos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 97. Peines de impacto ubicados en el interior de tolva.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 98. Molino para palo santo.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Molino de martillos movibles – persona natural.

| **Persona natural** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos movibles** (molienda de palo santo) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 22.86 |
| | diámetro (cm) | 53.34 |
| | espesor de plancha (cm) | 0.635 |
| Martillos | número | 32 |
| | ancho (cm) | 5.08 |
| | espesor (cm) | 0.635 |
| | largo (cm) | 14.61 |
| Eje | diámetro (cm) | 4.445 |
| Discos porta martillos | número | 3 |
| | diámetro (cm) | 26.67 |
| | espesor (cm) | 0.953 |
| Pines porta martillos | número | 4 |
| | diámetro (cm) | 1.905 |
| | largo (cm) | 20.96 |
| Peines de impacto | número | 12 |
| | fierro cuadrado (cm) | 1.588 |
| | largo (cm) | 21.59 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.635 |
| | espesor (cm) | 0.476 |
| Productividad aproximada | t/h | ---- |
| Motor de molino | potencia (kW) | 14.92 |
| | rpm | 1755 |

Fuente: Elaboración propia.

## 4.4. Datos de molinos de martillos fijos y su relación con la productividad

Se debe tener entendido que para el buen funcionamiento, el rotor de un molino de martillos debe girar entre 3000 a 3500 rpm, en el mercado se encuentran motores eléctricos trifásicos con rpm mayores al límite permitido y la mínima rpm inmediata es entre 1750 a 1800 rpm, por lo que hay que usar un sistema de transmisión de potencia del motor al molino, éste puede ser por fajas o por cadena; en las visitas se observó que el sistema de transmisión usado era de fajas o bandas o también llamadas correas, debido a que no se requiere grandes torques y al ser velocidades altas es silenciosa, no necesita lubricación y limpieza.

En los centros tanto de uso como de confección se consultó datos y factores que podrían hacer variar la productividad del molino, toneladas de producto molido por hora. Nuestro interés es moler grano por lo que se preguntó con sobre detalle en los centros de molienda de Avícola y Servicios San Andrés S.A.C. donde se usa un molino de martillos movibles, y Agroindustrias Khormoran donde se usa un molino de martillos fijos; se prestó importancia en dimensiones de caja, número de martillos, hueco de zaranda y potencia del motor.

Tabla 18. Molino de martillos movibles – Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.

| **Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos locos o movibles** (molienda de maíz) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 20.32 |
| | diámetro (cm) | 60.96 |
| | volumen aprox. ($m^3$) | 0.0593 |
| Martillos | número | 40 |
| Eje | diámetro (cm) | 5.08 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.635 |
| Productividad aproximada | t/h | 1.5 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 22.38 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Molino de martillos fijos – Agroindustrias Khormoran.

| **Agroindustrias Khormoran** | | |
|---|---|---|
| **Molino de martillos fijos** (molienda de trigo, soya y maíz) | | |
| **Características** | | **Detalles** |
| Caja de molino | ancho o profundidad (cm) | 35.72 |
| | diámetro (cm) | 45.72 |
| | volumen aprox. ($m^3$) | 0.0586 |
| Martillos | número | 60 |
| Eje | diámetro (cm) | 5.08 |
| Zaranda | diámetro de hueco (cm) | 0.318 |
| Productividad aproximada | t/h | 1 |
| Motor de molino | potencia (kW) | 22.38 |

Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver en la Tabla 18 y Tabla 19 que el volumen de caja, en metros cúbicos, es aproximadamente igual, el número de martillos varia de 40 a 60, pero se debe tener en cuenta que el molino de Agroindustrias Khormoran dispone de esa cantidad cuando lo técnico debe ser un martillo por extremo de la palanca porta martillos (Ver Figura 48 y Figura 49); el diámetro de eje es el mismo, la medida del diámetro del agujero o hueco de la zaranda varia de 0.635 a 0.318, el doble; la productividad varia 1.5 a 1 t/h, y el motor es de 22.38 kW en ambos. Se puede decir que la diferencia de 0.5 t/h en productividad es por causa del diámetro del agujero de la zaranda, y en parte también se podría decir que esta diferencia no es mayor, por la ventaja en la cantidad de martillos.

El operador del molino de Agroindustrias Khormoran mencionó que en casos usan también una zaranda con diámetro de agujero más grande, 0.476 cm, con una productividad aproximada de 27 a 29 quintales, tomaremos el valor medio, 28 quintales, sería aproximadamente 1.27 t/h (1 quintal americano es 45.36 kg). Se puede decir nuevamente que la diferencia de 0.27 t/h es por causa del aumento del diámetro del agujero de la zaranda.

En el centro de fabricación se preguntó por datos de molinos de martillos fijos que se han hecho y su correlativa productividad en t/h obtenidas. Es de interés molinos con productividad mayor o igual a 1 t/h:

Tabla 20. Tabla. 4.9. Datos de molinos de martillos fijos y su correlativa productividad.

| **Molino de martillos fijos** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Características** | | **Número de Martillos** | | |
| | | **24** | **30** | **36** |
| Plancha de caja | espesor (cm) | 0.476 | 0.476 | 0.476 |
| Palanca porta martillos | espesor (cm) | 0.635 | 0.635 | 0.635 |
| Martillos | espesor (cm) | 0.635 | 0.635 | 0.635 |
| Perno de sujeción de martillo | diámetro (cm) | 1.27 | 1.27 | 1.27 |
| | longitud (cm) | 3.81 | 3.81 | 3.81 |
| Eje | diámetro (cm) | 4.445 | 5.08 | 5.08 |
| Productividad aprox. (t/h) según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| | 0.476 cm | 1 | 1.2 | 1.5 |
| | 0.635 cm | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| Motor | potencia (kW) | 18.65 | 22.38 | 29.84 |

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de productividad en t/h de la Tabla 20 han sido aproximados a un valor redondeado a las décimas, menor al obtenido como respuesta, con la finalidad de asegurar que, al tomar estos datos de referencia para el diseño, se obtenga una productividad mayor o igual en el molino confeccionado.

Se puede comparar los datos y valores del molino de 30 martillos de la Tabla 20, y los datos y valores del molino de Agroindustrias Khormoran (Tabla 19), cuando el diámetro de hueco de la zaranda es 0.318 cm, la productividad es 1 t/h aproximadamente, en ambos; otro dato puede ser el que brindo el operador del molino de Agroindustrias Khormoran que, al usar una zaranda con diámetro de hueco igual a 0.476 cm, obtienen una productividad de 1.27 t/h (28 quintales); si se observa este valor para el molino de 30 martillos en la Tabla 20, diámetro de hueco de zaranda igual a 0.476 cm, le corresponde 1.2 t/h. Se puede decir que no hace diferencia significativa en el rendimiento del molino,

poner dos martillos por extremo de la palanca porta martillos, algo no técnico, como se puede ver en la Figura 48 y Figura 49.

## 4.5. Cálculo y definición de dimensiones de componentes

Anteriormente se comparó datos de molinos reales y su correlativa productividad obtenida, en este apartado se calcula y se define las dimensiones o valores de las partes o componentes, y se establecen relaciones dimensionales que puedan existir entre éstos con otro elemento.

Los cálculos para el diseño justificado serán: diámetro de eje, longitud aproximada de eje, longitud de palancas porta martillos, cálculo de caja, cálculo de rodamientos y chumaceras, potencia del motor, sistema de transmisión de potencia por fajas y poleas, entre otros detalles.

A continuación, se muestran imágenes con reconocimiento de partes:

Figura 99. Molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 100. Polea conductora y sistema de transmisión por fajas.
Fuente: Elaboración propia.

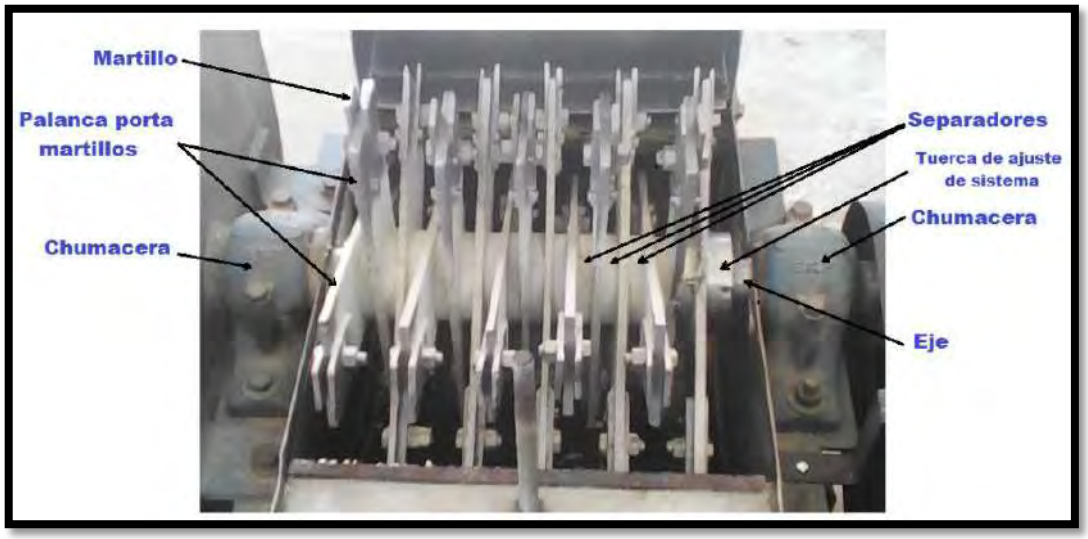



Figura 101. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 102. Rotor de un molino de martillos fijos.
Fuente: Elaboración propia.

Los martillos, palancas porta martillos y separadores (Ver Figura 48 y Figura 49) son las partes o elementos que conforman el sistema de desintegración.

### 4.5.1. Martillos

Para simplificación de cálculo de las dimensiones de este elemento, se consultó los propuestos en el Anexo A y a la vez se contrastó con lo visto en campo.

A continuación, se muestra un cuadro con las dimensiones propuestas en el Anexo A[1]:

Tabla 21. Datos de valores para dimensionamiento de martillo - Anexo 2

| **Dimensiones de martillo o herramienta de impacto** | |
|---|---|
| espesor (cm) | 0.47 |
| ancho (cm) | 3.7 |
| longitud (cm) | 10 |

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño, se establecieron, las dimensiones de ancho y longitud propuestas en el Anexo A, no se tomó el valor propuesto como espesor, por ser un valor por debajo del tamaño de un grano de maíz o soya, es con este lado que impacta el grano. Para el caso de un grano de trigo, el valor propuesto estaría bien, pero se necesita que el martillo impacte en lo posible con el área total de cualquiera de estos.

A continuación, se muestra la geometría del martillo:

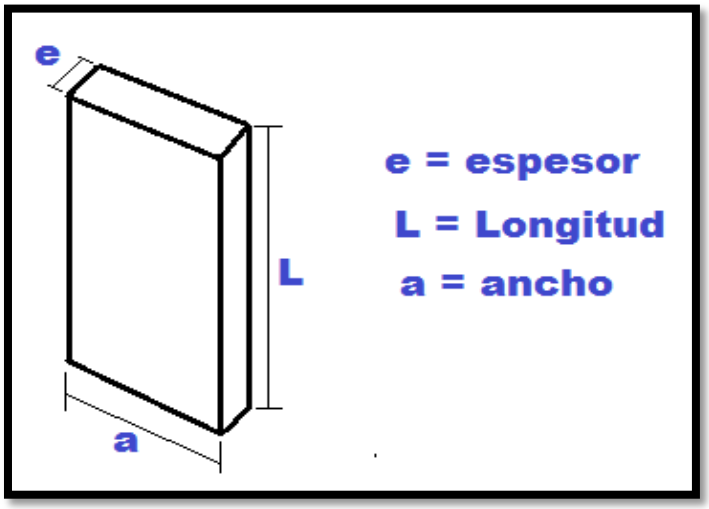



Figura 103. Geometría de martillo.
Fuente: Elaboración propia.

El valor de espesor para el diseño será 0.635 cm, dimensión comercial[2] para el tamaño promedio de un grano de maíz, el martillo llevará un agujero en el centro de su longitud (a 5 cm del borde), este agujero será de 1.27 cm de diámetro. Con estos valores de geometría se diseña esta herramienta, contrastando con los vistos en las visitas de campo, son acertados para la necesidad.

[1] Anexo A, “Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas”.
[2] Anexo D, “Platinas calidad: ASTM A36”, “Aceros Arequipa”.

A continuación, se muestra un cuadro con las dimensiones para el diseño:

Tabla 22. Valores de dimensiones para diseño de martillo.

| **Dimensiones de martillo o herramienta de impacto** | |
|---|---|
| espesor (cm) | 0.635 |
| ancho (cm) | 3.7 |
| longitud (cm) | 10 |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 22 se muestran las dimensiones definidas para el diseño de martillos, Se elige en el Anexo D[3], la platina de dimensiones comerciales que tengan dimensiones similares. Para la confección de martillos se usará platina de ¼" x 1½" x 6m (dimensiones comerciales[4]).

### 4.5.2. Espesor de palancas porta martillos

Para este elemento (Ver Figura 104) se define el espesor igual al del martillo, 0.635 cm. Posteriormente se definirá el ancho y longitud del mismo.

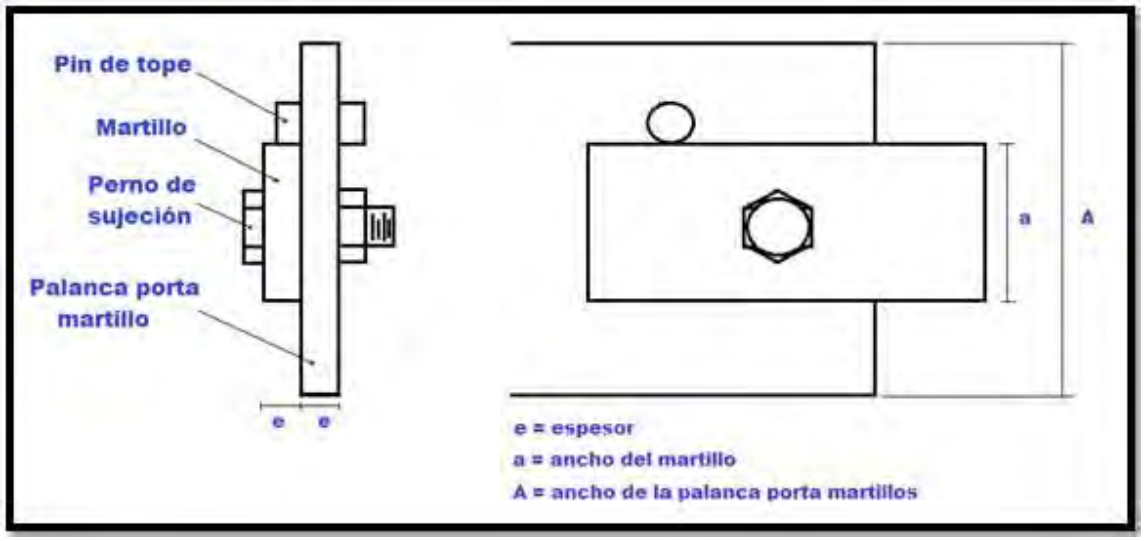



Figura 104. Disposición de palanca porta martillos, martillo, pin y perno.
Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.3. Separador de palancas porta martillos

Son los elementos que van entre cada palanca porta martillos, son de sección circular hueca, diámetro interno mayor al del eje del molino y con propiedades mecánicas para soportar la compresión en sus caras circulares adjuntas a la de las

[3] Anexo D, "Platinas calidad: ACTM A36", "Aceros Arequipa".
[4] Anexo D, "Platinas calidad: ASTM A36", "Aceros Arequipa".

palancas. Se puede definir el material evaluando las propiedades mecánicas de los tubos redondos que ofrece el mercado, en el Anexo E[5] se muestra presentaciones según el diámetro nominal, propiedades mecánicas ASTM A500 con límite de fluencia igual 230 MPa equivalente a 23 kN/cm$^2$ y resistencia a la tracción igual 310 MPa equivalente 31 kN/cm$^2$.

La medida del ancho de este elemento se define a criterio en relación al espesor de las palancas porta martillos, el valor será dos veces el espesor del elemento mencionado, 1.27 cm (Ver Figura 105). El diámetro interior de este elemento dependerá del diámetro del eje, el cual será calculado más adelante. Para valores con diámetro nominal menores a 42 mm se recomienda usar tubo redondo SCH 40[6], por presentar mayor espesor.

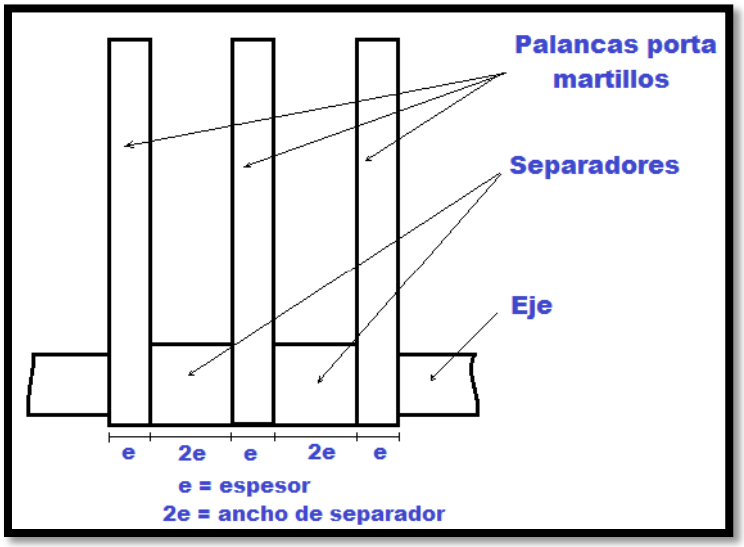



Figura 105. Disposición de separadores y palancas porta martillos.
Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.4. Caja o cámara de molino

Definidas las dimensiones del martillo, el espesor de la palanca porta martillos y el ancho del separador, se define el ancho de caja del molino con los valores de las dimensiones mencionadas.

En el apartado 4.4 se mencionó que era de interés molinos con productividad mayor o igual a 1 t/h, se considera así porqué un valor por debajo de éste, no sería tan rentable servirse o brindar servicio de la función de esta máquina, considerando que se busca moler cantidades significativas en la menor cantidad de tiempo. En la Tabla 20 de dicho apartado se obtuvo por consulta, datos de molinos con valores de productividad a la de interés, molinos desde los 24 a 36 martillos.

[5] Anexo E, "Tubo LAC ASTM A500 para estructuras", "Aceros Arequipa".
[6] Anexo F, "Tubería acero al carbón SCH", "Tecnituberias".

Se sabe que cada palanca puede portar dos martillos, por consiguiente, para un molino de 24 martillos, serán 12 palancas porta martillos; para uno de 30 martillos, 15 y para uno de 36, sería 18.

A continuación, se muestra en la Figura 106 para referencia:

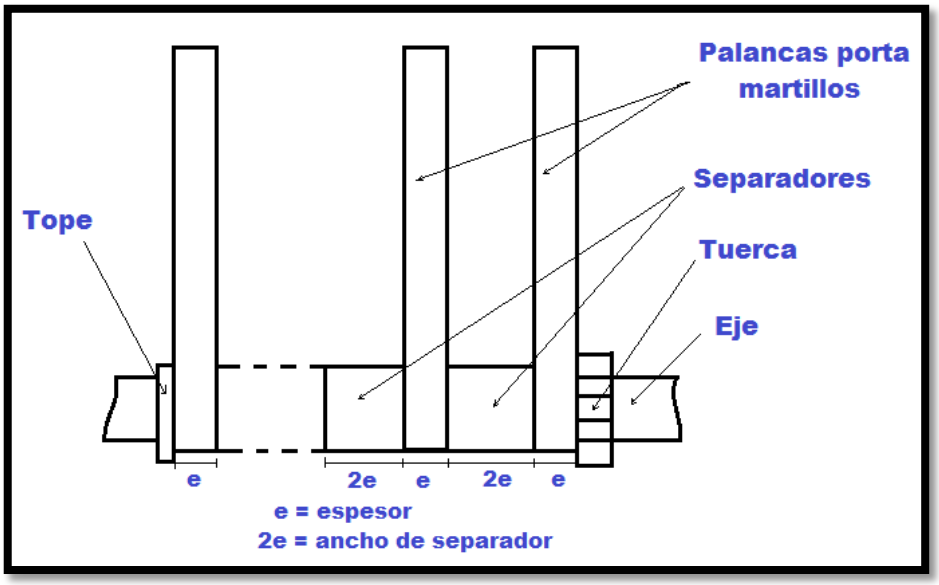



Figura 106. Disposición de palancas porta martillos, separadores, tope y tuerca.
Fuente: Elaboración propia.

Sabiendo la disposición en la que va cada elemento que conforma el sistema de desintegración o rotor de molino y la dimensión de cada uno (Ver Tabla 23), se calcula el ancho de caja en cada caso.

Tabla 23. Dimensiones de elementos y cantidad para cada molino.

| | | | **De 24 martillos** | **De 30 martillos** | **De 36 martillos** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Elemento** | **detalle** | **Valor (cm)** | **# elementos** | **# elementos** | **# elementos** |
| Palanca porta martillos | espesor | 0.635 | 12 | 15 | 18 |
| Separador | ancho | 1.27 | 11 | 14 | 17 |
| Tope | ancho | 0.953 | 1 | 1 | 1 |
| tuerca | ancho | 1.905 | 1 | 1 | 1 |
| Distancia de luz a cada lado | longitud | 1.27 | 2 | 2 | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

La distancia de luz a cada lado de la Tabla 23 se refiere a la distancia que debe existir entre el extremo del rotor o sistema de desintegración del molino a la cara interna de la caja, en este caso se ha definido 1.27 cm.

Teniendo el valor de cada detalle de los elementos y la cantidad de cada uno, se multiplican y suman para obtener la medida interna del ancho de la caja.

Tabla 24. Medida ocupada por la cantidad de cada elemento.

| | **Medida total ocupada** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Palancas porta martillos | Separadores | Tope | tuerca | Distancia de luz |
| **24 martillos** | 7.62 cm | 13.97 cm | 0.953 cm | 1.905 cm | 2.54 cm |
| **30 martillos** | 9.525 cm | 17.78 cm | 0.953 cm | 1.905 cm | 2.54 cm |
| **36 martillos** | 11.43 cm | 21.59 cm | 0.953 cm | 1.905 cm | 2.54 cm |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Medida interna del ancho de la caja de molino según número de martillos.

| | **24 martillos** | **30 martillos** | **36 martillos** |
|---|---|---|---|
| Medida interna del ancho de la caja | 26.98 cm | 32.70 cm | 38.42 cm |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 25 se define la medida interna del ancho de la caja del molino. Para la medida del diámetro se toma como referencia, el promedio de las diferencias de las medidas entre diámetro y ancho de las cajas de los molinos vistos en campo, aproximadamente 14 cm más que la medida interna del ancho.

A continuación, se muestra la medida de longitud o diámetro de caja:

Tabla 26. Medida interna del diámetro de la caja de molino según número de martillos.

| | **24 martillos** | **30 martillos** | **36 martillos** |
|---|---|---|---|
| Medida interna del diámetro de la caja | 40.64 cm | 45.72 cm | 50.8 cm |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.5. Longitud de palancas porta martillos

Teniendo el valor del diámetro de caja, se define la longitud de la palanca porta martillos, pendiente en el apartado 4.5.2, para esto, se debe tener claro la disposición de los elementos del rotor en su diámetro o longitud.

A continuación, se muestra una vista de perfil de la disposición de los elementos del rotor o sistema de desintegración a considerar:

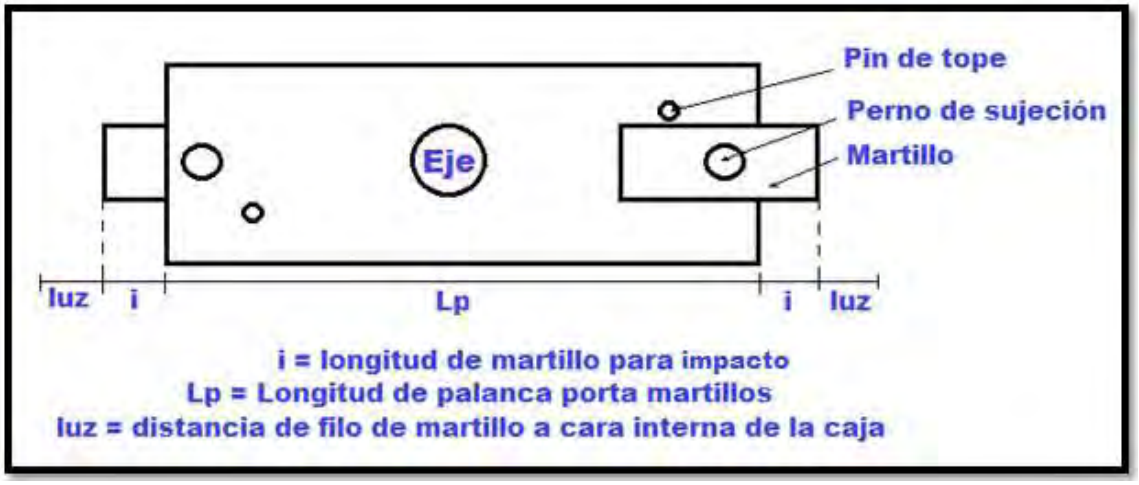



Figura 107. Vista de perfil de los elementos del rotor.
Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia el molino de Agroindustrias Khormoran, la medida i es igual a la de luz, aproximadamente la cuarta parte de la longitud del martillo, el valor de esta medida se multiplicará por cuatro para obtener el total y se resta al valor de la medida interna del diámetro de caja presentes en la Tabla 26.

A continuación, se muestra la medida de longitud de palanca porta martillos para cada molino según el número de martillos:

Tabla 27. Medida de longitud de palanca porta martillos para cada molino según el número de martillos.

| | **24 martillos** | **30 martillos** | **36 martillos** |
|---|---|---|---|
| medida de longitud de palanca porta martillos | 30.48 cm | 35.56 cm | 40.64 cm |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe indicar que la orientación de una palanca porta martillos con la que le sigue, tiene un desfase de 60°, en la Figura 101 y Figura 102, puede verse este detalle.

Para definir el ancho de la palanca porta martillos se debe tener presente la disposición de los elementos en el (Ver Figura 104), se puede ver que va un pin de tope para martillo y el martillo, la medida del ancho del martillo es conocida, la medida del diámetro del pin de tope se debe hallar, por lo que la medida del ancho de palanca porta martillos será definida posteriormente.

### 4.5.6. Longitud y diámetro de pin de tope para martillo

Este elemento es un pasante a través del espesor de la palanca porta martillos, su longitud se puede definir consecuentemente de las dimensiones de espesor del

elemento mencionado y del martillo (Figura 108), su longitud será 2.54 cm. Para calcular el diámetro del pin se debe definir el material a usar, el mercado ofrece barras solidas de sección redonda, confeccionar el pin será sencillamente cortes de la misma para luego ir soldado a la palanca porta martillos. En el Anexo C[7] se muestran las diferentes presentaciones según el diámetro y todas ellas con una longitud de 6 metros.

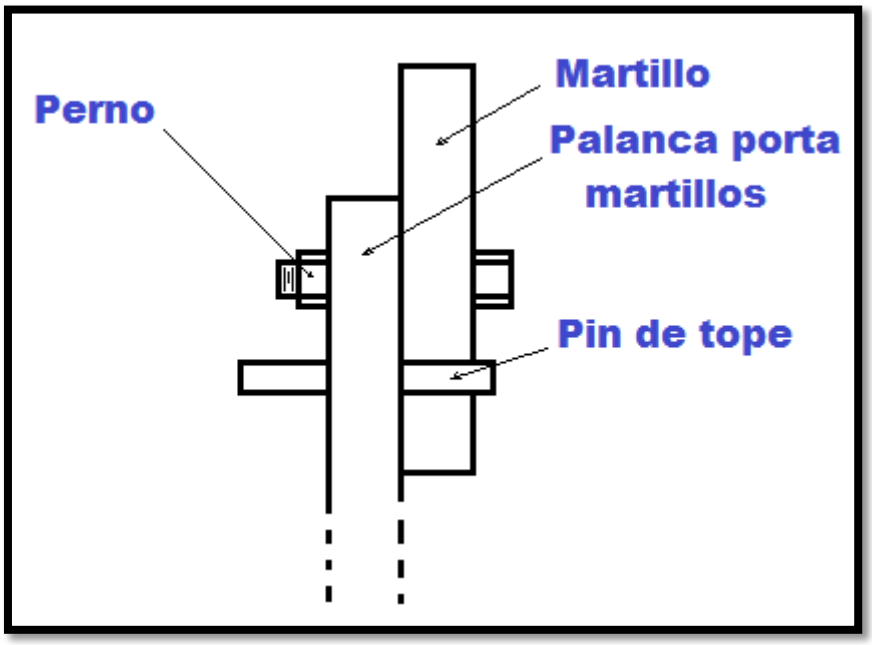



Figura 108. Disposición de palanca, martillo, perno y pin.
Fuente: Elaboración propia.

Para definir el diámetro del pin, se halla la sección transversal mínima para soportar las condiciones de servicio, del Anexo C se obtiene el límite de fluencia ASTM A36 igual a 2530 kg/cm$^2$ equivalente a 24810.82 N/cm$^2$, para simplificaciones de cálculo se hace un análisis de falla suponiendo que el elemento está sometido a una carga estática, entonces hallaremos el $\tau_{máx}$:

$$\tau_{máx} = \frac{S_y}{2n} \quad (4.1)^8$$

Donde $S_y$ es el límite de fluencia y n es el factor de seguridad. Se calcula inicialmente con un factor de seguridad igual a uno para saber el $\tau_{máx}$ al que puede estar sometido el pin de tope, reemplazando, se tiene:

$$\tau_{máx} = \frac{24810.82}{2} = 12405.41 \frac{N}{cm^2}$$

Para hallar la sección mínima se aplica la siguiente ecuación:

[7] Anexo C, "Barras redondas lisas y pulidas calidades: ASTM A36 y SAE 1045", "Aceros Arequipa".
[8] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Fallas resultantes de carga estática", "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Novena edición, página 211.

$$\tau_{máx} = \frac{4V}{3A} (4.2)^{9}$$

Donde V es la fuerza cortante y A es el área de la sección transversal que está siendo cortada. Reemplazando el valor de $\tau_{máx}$ y tomando el valor del diámetro más pequeño de las barras redondas ofrecidas en el Anexo 4, se calcula el valor de la fuerza cortante necesaria para alcanzar el $\tau_{máx}$, se halla antes el área de la sección, diámetro aproximado igual a 0.953 cm.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.953^2}{4} = 0.713 cm^2$$

Entonces:

$$V = \frac{3A\tau_{máx}}{4} = \frac{3 \times 0.713 \times 12405.41}{4} = 6633.79N$$

Para que suceda falla por cizallamiento por la carga de maíz (Ver Figura 109) tiene que ejercer una fuerza cortante mayor o igual a 6633.79N en el pin. Con este cálculo se define que el diámetro para el pin de tope es 0.953 cm.

Figura 109. Variedad de maíz duro.
Fuente: Elaboración propia.

Dicho y calculado todo lo anterior, las dimensiones del pin en el diseño son:

Tabla 28. Dimensiones de pin de tope para martillo.

| **Pin de tope para martillo** | |
|---|---|
| longitud (cm) | 2.54 |
| diámetro (cm) | 0.953 |

Fuente: Elaboración propia.

[9] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Análisis de carga y esfuerzo", "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Novena edición, Tabla 3-2, página 94.

### 4.5.7. Ancho de palancas porta martillos

En la Figura 104 del apartado 4.5.2, se observa la disposición del pin y del martillo en la palanca porta martillos, el ancho del martillo es igual 3.7 cm y el diámetro del pin es 0.953 cm, en la Figura 110 se muestran los elementos con sus respectivas dimensiones a considerar.

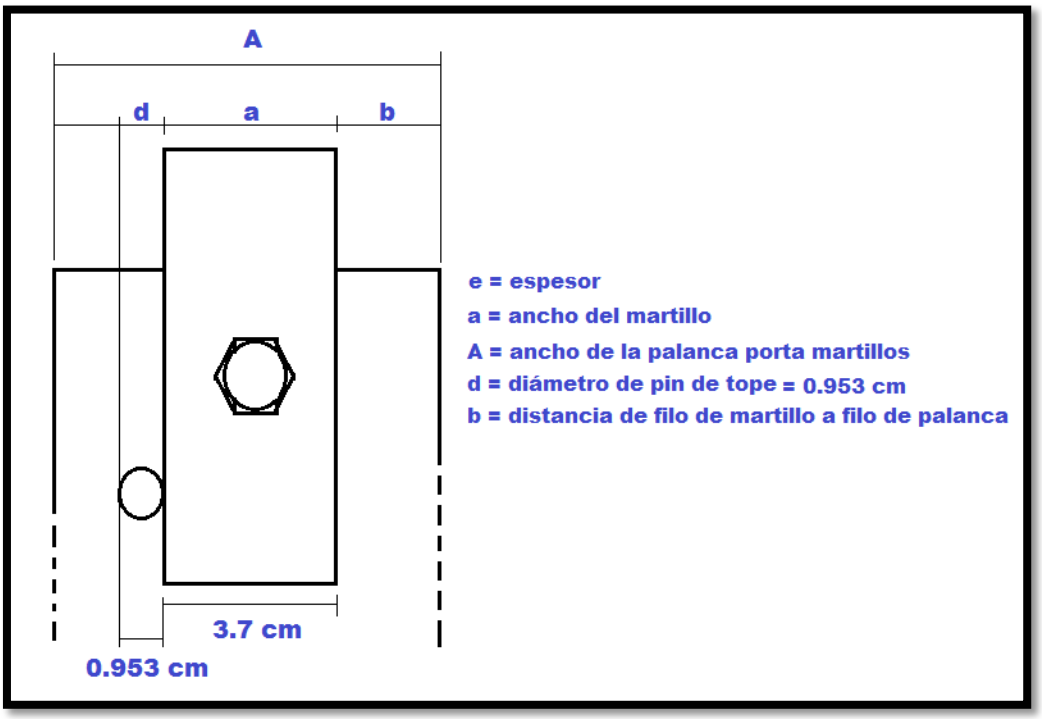



Figura 110. Disposición de palanca, martillo, perno y pin.
Fuente: Elaboración propia.

El valor de b podría ser dos veces d, b igual a 1.906 cm, medida tomada a criterio, entonces el ancho de la palanca porta martillos será igual a 7.622 cm. Entonces las medidas de las dimensiones de la palanca porta martillos serán las que se muestran a continuación:

Tabla 29. Valores de dimensiones para diseño de palancas porta martillos
Dimensiones de palanca porta martillos

| | | |
|---|---|---|
| espesor (cm) | | 0.635 |
| ancho (cm) | | 7.622 |
| longitud (cm) | molino de 24 martillos | 30.48 |
| | molino de 30 martillos | 35.56 |
| | molino de 36 martillos | 40.64 |

Fuente: Elaboración propia.

El valor del ancho de este elemento debe ser mayor al diámetro mayor del eje del molino, esta medida está sujeta a variación en caso el diámetro mayor del eje sea mayor a la definida en este apartado.

### 4.5.8. Potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se usarán las leyes que se presentan en el Anexo H[10], leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño, son tres, una de ellas es mencionada y aplicada en el Anexo A[11] para calcular la potencia del motor en molinos de grano, Ley de Rittinger, con esa referencia, se calcula la potencia aproximada del motor a usar para el diseño.

Se considera la ecuación que relaciona la energía requerida para reducir el tamaño de una partícula:

$$\frac{dE}{dD} = -\frac{K}{D^n} \quad (4.3)$$

$$E = \frac{P}{\dot{m}} \quad (4.4)$$

Donde:
E = Energía requerida por unidad de masa (kW.h/t)
D = Diámetro medio de las partículas (mm)
K = Constante
P = Potencia consumida (kW)
m = flujo másico de alimentación (t/h)
n = potencia

**Ley de Kick**
Considera n = 1 en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K \, ln\left[\frac{D_{pa}}{D_{pp}}\right] \quad (4.5)$$

Donde:
$K_K$ = Constante de Kick
$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

**Ley de Rittinger**
Considera n = 2, en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R \left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}}\right] \quad (4.6)$$

Donde:
$K_R$ = Constante de Rittinger
$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

[10] Anexo H, "Cálculo de energía y potencia en equipos de reducción de tamaño".
[11] Anexo A, "Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas.

**Ley de Bond**
Considera n = 1.5 en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_B \left[ \frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right] \quad (4.7)$$

Donde:
$K_B$ = Constante de Bond
$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

Las contantes de cada ley son alcanzadas en el Anexo I[12]:

$K_K$ = Constante de Kick = 30.42 $\frac{kW.h}{t}$

$K_R$ = Constante de Rittinger = 20.695 $\frac{kW.mm.h}{t}$

$K_B$ = Constante de Bond = 59.8702 $\frac{kW.mm^{\frac{1}{2}}.h}{t}$

Se puede ver que estas leyes están en función de la relación de reducción de partícula, el flujo másico de alimentación y una constante; el flujo másico es un valor esperado en el caso de diseño, para escogerlo con criterio y consecuencia, se toma como referencia los valores de interés de la Tabla 20, siendo los presentes en la Tabla 30, donde:

Tabla 30. Molinos de martillos fijos y su correlativa productividad.

| **Molino de martillos fijos** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Características** | | **Número de Martillos** | | |
| | | **24** | **30** | **36** |
| Productividad aprox. (t/h) según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| | 0.476 cm | 1 | 1.2 | 1.5 |
| | 0.635 cm | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| Motor | potencia (kW) | 18.65 | 22.38 | 29.84 |

Fuente: Elaboración propia.

Se debe saber que el motor del molino trabaja más cuando el diámetro de agujero de la zaranda es menor, esto se hace notar en la Tabla 30, se puede ver que la productividad en t/h disminuye cuando el diámetro del agujero o hueco también lo hace, esto es porque el producto permanecerá más tiempo en la cámara hasta conseguir pasar por los agujeros de la zaranda. Teniendo presente esto, se calculará la potencia del motor bajo esas condiciones.

[12] Anexo I, "Molienda III Informe de laboratorio",

Tabla 31 Productividad con diámetro menor.

| **Molino de martillos fijos** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Características** | | **Número de Martillos** | | |
| | | **24** | **30** | **36** |
| Productividad aprox. (t/h) según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Motor | potencia (kW) | 18.65 | 22.38 | 29.84 |

Fuente: Elaboración propia.

Antes de aplicar las leyes para calcular la potencia, se debe definir:
$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

$D_{pp}$ = diámetro de hueco de zaranda = 3.18 mm

$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)

$$D_{pa} = \frac{ancho + espesor + largo}{3}$$

Se midieron 5 muestras de grano de maíz y el promedio de cada medida fue:

$$D_{pa} = \frac{13 + 7 + 14.5}{3} = 11.5\ mm$$

Teniendo las constantes de cada ley, definido el flujo másico esperado, $D_{pp}$ y hallado $D_{pa}$, se calcula la potencia del motor para cada molino según las tres leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño.

**Molino de 24 martillos**

Ley de Kick

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K\ ln\left[\frac{D_{pa}}{D_{pp}}\right] \quad (4.5)$$

$$\frac{P}{0.8} = 30.42 \text{ x } ln\left[\frac{11.5}{3.18}\right]$$

$$P = 31.28 \text{ kW}$$

Ley de Rittinger

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R\left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}}\right] \quad (4.6)$$

$$\frac{P}{0.8} = 20.695\left[\frac{1}{3.18} - \frac{1}{11.5}\right]$$

$$P = 3.77 \text{ kW}$$

Ley de Bond

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_B\left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}}\right] \quad (4.7)$$

$$\frac{P}{0.8} = 59.8702\left[\frac{1}{\sqrt{3.18}} - \frac{1}{\sqrt{11.5}}\right]$$

$$P = 12.7 \text{ kW}$$

Se presentan los cálculos para el caso del molino de 24 martillos, para los casos de 30 y 36 martillos, se pueden ver en el Apéndice A[13].

Tabla 32. Potencias calculadas.

| Molino | Ley de Kick | Ley de Rittinger | Ley de Bond | Comercial (Anexo J[14]) |
|---|---|---|---|---|
| 24 martillos | 31.28 kW | 3.77 kW | 12.7 kW | 14.92 kW |
| 30 martillos | 39.10 kW | 4.71 kW | 15.92 kW | 18.65 kW |
| 36 martillos | 46.92 kW | 5.65 kW | 19.10 kW | 22.38 kW |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 32 se muestran los valores de potencia obtenidos aplicando las leyes de Kick, Rittinger y Bond. El más convincente, es el obtenido por la ley de Bond, lo cual coincide con la aplicación de la misma en el rango de trabajo propio de este diseño:

Tabla 33. Rangos de trabajo de las leyes de molienda.

| Aplicación de leyes de molienda según el rango de los diámetros de trabajo[15] | |
|---|---|
| Ley de Kick | d > 50 mm |
| Ley de Rittinger | d < 0.05 mm |
| Ley de Bond | 50 mm > d > 0.05 mm |

Fuente: Elaboración propia.

Al valor de potencia hallado por la ley de Bond se le hallo el equivalente comercial según el Anexo J (Catálogo de motores eléctricos trifásicos marca Siemens).

[13] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes".
[14] Anexo J, "Motores eléctricos", "SIEMENS".
[15] Jhon W. Schlanz, "Grinding: an Overview of operation and design", "North Caroline State University", año 1987, página 2 a 5

Comparando el valor comercial de la Tabla 32 con el valor de potencia de la Tabla 20

Tabla 34. Potencia de motor según molino.

| Molino | Comercial (Tabla 37) | Consulta (Tabla. 4.9) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 14.92 kW | 18.65 kW |
| 30 martillos | 18.65 kW | 22.38 kW |
| 36 martillos | 22.38 kW | 29.84 kW |

Fuente: Elaboración propia.

Se estima que los valores de potencia calculados son los necesarios para conseguir la productividad en t/h y la reducción de partícula requerida, pero para garantizar un buen funcionamiento y una larga vida del motor, se opta por elegir el siguiente motor de potencia comercial superior (Valores de la columna 3 de la Tabla 34).

### 4.5.9. Cálculo de fuerzas y reacciones presentes en el eje

El eje está sometido al peso del rotor o sistema de desintegración, peso de polea conducida, reacciones en los puntos de los rodamientos, fuerzas presentes en la polea conducida por efecto del sistema de transmisión de potencia.

A continuación, se muestra en la Figura 111 representativa de los antes dicho:

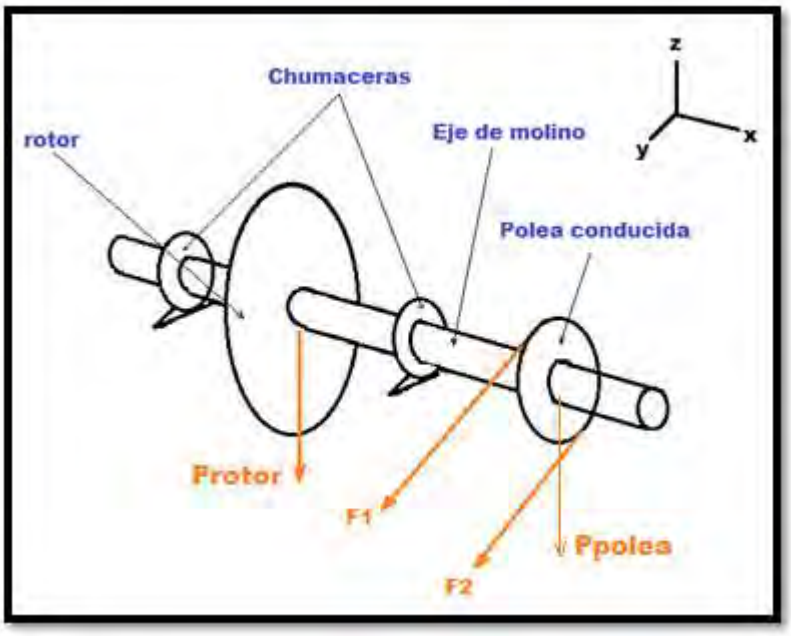



Figura 111. Diagrama de carga, fuerzas y reacciones en el eje.
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.9.1. Peso del rotor

El peso aproximado del rotor, compuesto por cuñas o chavetas que aseguran la no rotación de las palancas porta martillos, separadores, palancas porta martillos, pines de tope, pernos de sujeción de martillos y martillos. Se considerará para el cálculo palancas, martillos y pines, el valor de kg/m se encuentra en el Anexo D[16] (palancas y martillos) y Anexo C[17] (pines).

Para el caso de las palancas y martillos se tomará la presentación de platina comercial con las dimensiones nominales más cercanas o parecidas a las definidas anteriormente.

Tabla 35. Dimensiones comerciales de palancas y martillos.

| | **Dimensiones (espesor x ancho)** | | |
|---|---|---|---|
| | definidas | comercial (pulgadas) | equivalente |
| Palanca porta martillos | 0.635 x 7.512 cm | ¼ x 3 | 0.635 x 7.62 cm |
| martillos | 0.635 x 3.7 cm | ¼ x 1 ½ | 0.635 x 3.81 |

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta en la Tabla 36 los valores de peso hallado:

Tabla 36 Peso en kg de palancas, pines y martillos.

| **Molino** | **elemento** | **kg/m** | **longitud (m)** | **Peso (kg)** | **peso total (kg)** |
|---|---|---|---|---|---|
| 24 martillos | palancas | 3.8 | 3.658 | 13.9 | 18.8 |
| | pines | 0.559 | 0.61 | 0.34 | |
| | martillos | 1.9 | 2.4 | 4.56 | |
| 30 martillos | palancas | 3.8 | 5.334 | 20.27 | 26.4 |
| | pines | 0.559 | 0.762 | 0.43 | |
| | martillos | 1.9 | 3 | 5.7 | |
| 36 martillos | palancas | 3.8 | 7.32 | 27.82 | 35.17 |
| | pines | 0.559 | 0.914 | 0.51 | |
| | martillos | 1.9 | 3.6 | 6.84 | |

Fuente: Elaboración propia.

Se hace la conversión a N, los valores de la Tabla 37, en N, son los siguientes:

[16] Anexo D, "Platinas calidad: ASTM A36", "Aceros Arequipa".
[17] Anexo C, "Barras redondas lisas y pulidas calidades: ASTM A36 y SAE 1045", "Aceros Arequipa".

Tabla 37. Peso en N de palancas, pines y martillos.

| Molino | elemento | Peso (kg) | peso total (kg) | peso (N) |
|---|---|---|---|---|
| 24 martillos | palancas | 13.9 | 18.8 | 184.37 |
| | pines | 0.34 | | |
| | martillos | 4.56 | | |
| 30 martillos | palancas | 20.27 | 26.4 | 258.89 |
| | pines | 0.43 | | |
| | martillos | 5.7 | | |
| 36 martillos | palancas | 27.82 | 35.17 | 344.89 |
| | pines | 0.51 | | |
| | martillos | 6.84 | | |

Fuente: Elaboración propia.

A los pesos hallados en la Tabla 37 falta sumarles el peso correspondiente a chavetas de palancas, peso de cada separador y peso de pernos correspondientes a la cantidad de martillos.

Se ha considerado un peso en N a criterio, para cada uno de estos elementos

Tabla 38. Peso en N de chavetas, separadores y pernos.

| Molino | elemento | Peso (N) | cantidad | peso total (N) |
|---|---|---|---|---|
| 24 martillos | chaveta | 0.3 | 12 | 29 |
| | separador | 1 | 11 | |
| | perno | 0.6 | 24 | |
| 30 martillos | chaveta | 0.3 | 15 | 36.5 |
| | separador | 1 | 14 | |
| | perno | 0.6 | 30 | |
| 36 martillos | chaveta | 0.3 | 18 | 44 |
| | separador | 1 | 17 | |
| | perno | 0.6 | 36 | |

Fuente: Elaboración propia.

Se suman los valores resultantes de la Tabla 37 y Tabla 38, y se multiplica el total correspondiente por un factor de 1.2 para restar algún error.

Tabla 39. Peso del rotor en N.

| Molino | Peso del rotor (N) |
|---|---|
| 24 martillos | 256 |
| 30 martillos | 354.47 |
| 36 martillos | 466.67 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.9.2. Peso de polea

Al ser la polea conducida o polea del molino la que gire a mayor rpm, se necesita elevar las rpm del motor de aproximadamente 1755 a 3000 rpm. La polea de mayor diámetro está en el eje del motor (polea conductora) y la de menor diámetro en el eje del molino (polea conducida), de esta manera se elevan las rpm del motor (Ver Figura 112). El peso de esta polea se definirá tomando como referencia las vistas en campo, peso aproximado 98.06 N.

Figura 112. Relación de poleas – molino Avícola y Servicios San Andrés S.A.C.
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.9.3. Cálculo de reacciones en los puntos de los rodamientos

En la Figura 111 se muestran un diagrama de cargas, fuerzas y reacciones presentes en el eje, se puede ver que están presentes en "y" y "z". Se calcula las fuerzas y reacciones presentes:

$$\sum F_Z = 0 \quad (4.8)$$

$$\sum M_{1Z} = 0 \quad (4.9)$$

**Definición y cálculo de distancias donde actúan las fuerzas en el eje**

Para la ecuación 4.9 se necesita definir las distancias de las reacciones en las chumaceras y la distancia del peso de la polea. Las distancias de las reacciones en las chumaceras se definen a una distancia de 5.08 cm del borde respectivo del rotor (d) y la distancia del peso de la polea se define a 17.78 cm del borde respectivo del rotor (d+p) (Ver Figura 114).

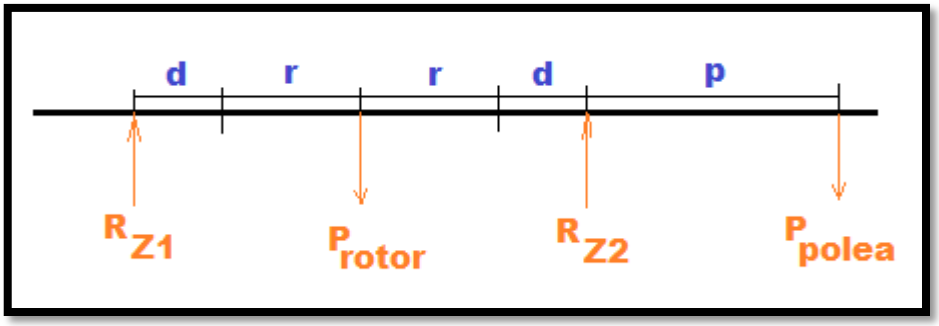



Figura 113. Distancias de fuerzas y reacciones presentes en el eje.
Fuente: Elaboración propia.

La distancia r depende de la medida del ancho del rotor, la cual es diferente según el número de martillos del molino,

Tabla 40. Distancia r según el número de martillos del molino.

| Molino | r (m) |
|---|---|
| 24 martillos | 0.1221 |
| 30 martillos | 0.1508 |
| 36 martillos | 0.1794 |

Fuente: Elaboración propia.

Definidas y halladas las distancias necesarias y calculado el peso del rotor de cada molino (Ver Figura 73), se resuelven las ecuaciones 4.8 y 4.9 para cada caso.

**Para el molino de 24 martillos**

Se obtiene:

$$R_{2Z} = 262.1N$$

$$R_{1Z} = 91.96\ N$$

Los cálculos para el caso del molino de 24, de 30 y 36 martillos, se pueden ver en el Apéndice A[18].

**Cálculo de fuerzas presentes en el sistema de transmisión de potencia**

Para simplificaciones de cálculo se asume que los centros de eje están a la misma altura. Para el cálculo de las fuerzas presentes en la polea por efecto de la transmisión de potencia desde el motor, usaremos la siguiente ecuación:

[18] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes".

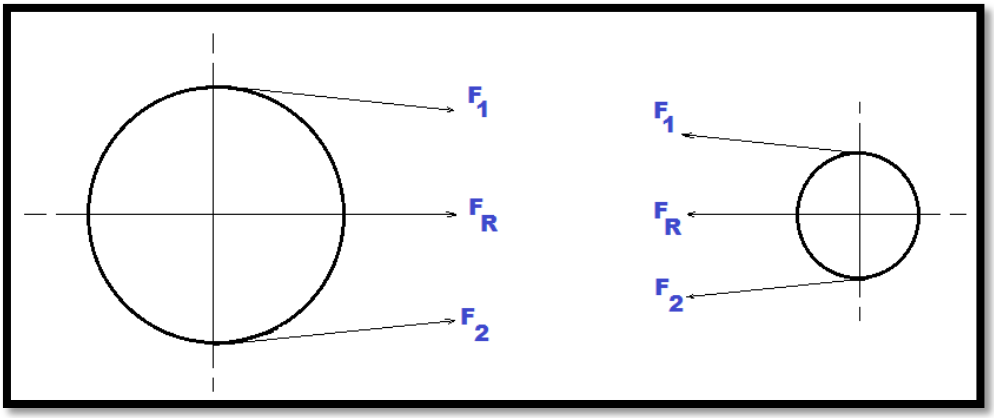



Figura 114. Fuerzas presentes en el sistema de transmisión de potencia.
Fuente: Elaboración propia.

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\emptyset_{Pm}} \quad (4.10)^{19}$$

Donde:
$F_R$ = Fuerza resultante en el eje = $F_1 + F_2$
T = torque del motor
$\emptyset_{Pm}$ = diámetro de polea del motor

El torque es el del motor definido para el molino según su número de martillos (Ver Tabla 34) y a las rpm correspondientes, donde se optó por tomar los siguientes valores:

Tabla 41. Potencia y torque de motor[20].

| Molino | Potencia de motor | Torque (N.m) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 18.65 kW | 100.33 |
| 30 martillos | 22.38 kW | 120.67 |
| 36 martillos | 29.84 kW | 161.34 |

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro de la polea del motor es la polea de mayor diámetro, definido así en el apartado 4.5.9.2, para definir el diámetro de esta polea se toma como referencia las vistas en campo, igual a 25.4 cm.

Se resuelve la ecuación 4.10 para cada caso:

[19] Robert L. Mott, "Diseño de Flechas y Ejes" "Diseño de elementos de máquinas", Segunda edición, página 291.
[20] Anexo J, "Catálogo general de motores eléctricos", "Siemens".

**Para el molino de 24 martillos**
Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 100.33}{0.254} = 1185\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$R_{2Y} = 1620.08\ N$$

$$R_{1Y} = -435.08\ N$$

Los cálculos para el caso del molino de 24, de 30 y 36 martillos, se pueden ver en el Apéndice A[21].

**Momento resultante**

Con las cargas halladas en los planos XZ y XY, se calcula el momento resultante para cada caso de molino. (Ver Apéndice A[22])

**Molino de 24 martillos**

$$\mathrm{M_R} = 151.34\ \mathrm{N.m}$$

**Molino de 30 martillos**

$$\mathrm{M_R} = 183.41\ \mathrm{N.m}$$

**Molino de 36 martillos**

$$\mathrm{M_R} = 246.62\ \mathrm{N.m}$$

### 4.5.10. Diámetro de eje

Para calcular el diámetro del eje, antes se tiene que elegir el acero comercial del cual se va confeccionar. El mercado ofrece presentaciones de ejes en variedades de aceros, para el cálculo seleccionaremos dos de ellos el VCL-V 320 (Ver Anexo K[23]) y el H-V945 (Ver Anexo L[24]).

A continuación, se muestran las características de cada uno de ellos:

[21] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes"
[22] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes".
[23] Anexo K, "Hoja técnica del acero VCL-V 320", "BOHLER".
[24] Anexo L, "Hoja técnica del acero H-V945", "BOHLER".

Tabla 42. Características mecánicas acero VCL.

| Resistencia en estado recocido | | Características mecánicas en estado bonificado | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| máx. $N/mm^2$ | Dureza Brinell máx. | Diámetro mm | | Límite de fluencia mín. $N/mm^2$ | Resistencia a la tracción $N/mm^2$ | Elongación ($L_0$=5d) % mín. | Estricción % mín. | Resiliencia según DVM JOULE ($kpm/cm^2$) |
| | | desde | hasta | | | | | |
| 770 | 241 | | 16 | 835 | 1030-1250 | 10 | 40 | 34 (5) |
| | | 16 | 40 | 715 | 930-1130 | 11 | 45 | 41 (6) |
| | | 40 | 100 | 595 | 830-1030 | 12 | 50 | 41 (6) |
| | | 100 | 160 | 530 | 730-900 | 13 | 55 | 41 (6) |
| | | 160 | 250 | 490 | 690-840 | 14 | 55 | 41 (6) |

Fuente: Anexo K.

Tabla 43. Características mecánicas acero H.

| Estado | Características mecánicas | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Diámetro mm | Límite de fluencia mín. $kg/mm^2$ | Resistencia a la tracción $kg/mm^2$ | Alargamiento (L=5d) % mín. | Concentración mín. % |
| Natural | - | 37 | 65 | 15 | 35 |
| Recocido | 16 – 100 | 34 | 60 – 75 | 17 | 35 |
| | 100 - 250 | 33 | 60 - 73 | 18 | - |

Fuente: Anexo L.

Para el cálculo se escogen los diámetros medios de la Tabla 42 y los valores en estado natural de la Tabla 43:

**Acero VCL**
$S_y$ = 595 MPa
$S_u$ = 1030 MPa

**Acero H**
$S_y$ = 37 $kg/mm^2$ = 362.85 MPa
$S_u$ = 65 $kg/mm^2$ = 637.43 MPa

Ya seleccionado el acero, y teniendo los datos de límite de fluencia mínimo ($S_y$) y resistencia a la tracción ($S_u$), se calcula el diámetro del eje con la fórmula propuesta por la A.S.M.E.[25] para ejes sometidos a torsión, flexión y carga axial:

$$\frac{S_{SD}}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3(1-K^4)} \sqrt{\left[\left(K_b M + \frac{\alpha F d_0(1-K^2)}{8}\right)^2 + (K_t T)^2\right]} \quad (4.11)$$

[25] Ing. Juan Hori A., "Ejes de transmisión y eje de máquinas", "Diseño de Elementos de Máquinas", Quinta edición, página 217.

Donde:
$S_{SD}$: Esfuerzo permisible a corte
K = $\frac{d_i}{d_0}$ = Relación de diámetro interior y diámetro exterior
$\alpha$ : Factor de carga axial
$K_b$: Factor de carga de momento flector
$K_t$: Factor de carga de torsión
M: Momento Flector
T: Momento torsor
$d_0$: Diámetro exterior de eje
F: Carga axial

El eje a diseñar está sometido a flexión y torsión principalmente, pero también presenta cargas axiales que no son significativas para su consideración, lo cual las componentes de la ecuación 4.11 referidas a estas serán nulas.

La relación de diámetro interior y diámetro exterior, se considera nula por ser un eje sólido.

El momento flector será igual al momento resultante hallado anteriormente

Tabla 44. Tabla. 4.33. Momento resultante en el eje según número de martillos.

| **Molino** | **$M_R$ (N. m)** |
|---|---|
| 24 martillos | 151.34 |
| 30 martillos | 183.41 |
| 36 martillos | 246.62 |

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de carga de momento flector y de carga de torsión, se presenta a elegir en la Tabla 45:

Tabla 45. Factores de carga A.S.M.E. para ejes giratorios.

| Tipo de carga | $K_b$ | $K_t$ |
|---|---|---|
| aplicada gradual | 1.5 | 1 |
| repentina (choque ligero) | 1.5 - 2 | 1 – 1.5 |
| repentina (choque fuerte) | 2 - 3 | 1.5 - 3 |

Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona los factores correspondientes a carga aplicada gradual, $K_b$ = 1.5 y $K_t$ = 1.

El esfuerzo permisible a corte $S_{SD}$ es igual a $0.3S_y$, a este esfuerzo se le multiplica por 0.75 por tener un canal chavetero en el eje.

**Acero VCL**
$S_{SD}$ = 0.75 x $0.3S_y$ = 0.75 x 0.3 x 595 = 133.88 MPa

**Acero H**

$S_{SD}$ = 0.75 x 0.3$S_y$ = 0.75x 0.3 x 362.85 = 81.64 MPa

El momento torsor será el del motor seleccionado para el molino según el número de martillos

Tabla 46. Torque de motor de molino según número de martillos.

| Molino | Torque (N.m) |
|---|---|
| 24 martillos | 100.33 |
| 30 martillos | 120.67 |
| 36 martillos | 161.34 |

Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el diámetro del eje para cada caso de molino:

**Molino de 24 martillos**

Reemplazando

**VCL**

$$\frac{S_{SD}}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(K_b M)^2 + (K_t T)^2]} \quad (4.12)$$

$$\frac{133.88 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 151.34)^2 + (100.33)^2]}$$

$$d_0^3 = 9.44 \times 10^{-6} \times FS$$

**H**

$$\frac{81.64 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 151.34)^2 + (100.33)^2]}$$

$$d_0^3 = 15.48 \times 10^{-6} \times FS$$

Tabla 47. Diámetro de eje de molino de 24 martillos – variando FS.

| | **Diámetro de eje (cm)** | |
|---|---|---|
| **FS** | **VCL** | **H** |
| 1 | 2.11 | 2.49 |
| 2 | 2.66 | 3.14 |
| 3 | 3.05 | 3.59 |
| 4 | 3.35 | 3.96 |
| 5 | 3.61 | 4.26 |
| 6 | 3.84 | 4.53 |

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan los cálculos para el caso del molino de 24 martillos, para los casos de 30 y 36 martillos, se pueden ver en el Apéndice A[26].

Calculados los diámetros para cada caso, se escogen los valores con FS igual a 4 (Ver Tabla 48)

Tabla 48. Diámetro de eje para cada caso de molino.

| **Molino** | **VCL** (cm) | **H** (cm) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 3.35 | 3.96 |
| 30 martillos | 3.57 | 4.22 |
| 36 martillos | 3.95 | 4.65 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.11. Longitud aproximada de eje

La longitud aproximada de eje depende del espacio ocupado por los componentes como son: rotor, chumaceras y polea; también el espacio libre que puede existir entre ellos. Para esta medida se toma como referencia el ancho de la caja, Tabla 49.

Tabla 49. Medida interna del ancho de la caja de molino según número de martillos.

| | **24 martillos** | **30 martillos** | **36 martillos** |
|---|---|---|---|
| medida interna del ancho de la caja | 26.98 cm | 32.70 cm | 38.42 cm |

Fuente: Elaboración propia.

A los valores de la Tabla 49 se le suma una distancia a cada lado, donde se encuentra una chumacera, y en el otro, una chumacera y polea; se debe considerar el espacio entre ellos y el espesor de la plancha metálica de la que está confeccionada la caja; para el diseño, plancha metálica de 4.5 mm de espesor[27].

La longitud a sumar, definida a criterio, es 31.75 cm en cada caso.

Tabla 50. Longitud aproximada de eje de molino según número de martillos.

| | **24 martillos** | **30 martillos** | **36 martillos** |
|---|---|---|---|
| Longitud de eje | 58.73 cm | 64.45 cm | 70.17 cm |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.5.12. Chumaceras y rodamientos

Para elegir estos elementos se calcula las cargas dinámicas y estáticas en el eje, antes se debe definir el torque en el eje del molino y el peso del eje. Para

[26] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes".

[27] Anexo B," Planchas y bobinas laminadas en caliente", "productos planos", "Catálogo de productos", "Aceros Arequipa".

simplificaciones de cálculo se asume diámetro de la polea del molino igual a 15.24 cm y 25.4 cm para la polea del motor, el peso del eje se calcula con los datos del Anexo N[28].

**Molino de 24 martillos**

$$T_{eje} = \frac{T_{motor}}{r_{polea\ motor}} \times r_{polea\ molino} = \frac{100.33\ N.m}{0.127m} \times 0.0762 = 60.20\ N.m$$

$$P_{eje\ promedio} = \frac{(0.5873 \times 8.95) + (0.5873 \times 9.87)}{2} = 5.53\ N$$

Carga dinámica

$$T = F \times r_{eje} \quad (4.13)$$

$$F_{VCL} = 3594.03\ N$$

$$F_H = 3040.40\ N$$

Los radios de eje para la ecuación 4.13 se toman de los valores de la Tabla 49

Carga estática

$$P = P_{eje} + P_{rotor} + P_{polea}$$

$$P = 5.53 + 256 + 98.06 = 359.59\ N$$

Se presentan los cálculos para el caso del molino de 24 martillos, para los casos de 30 y 36 martillos, se pueden ver en el Apéndice A[29]. Para los cálculos se considera la carga dinámica mayor, hallada.

Tabla 51. Carga dinámica y estática según molino.

| Molino | Carga dinámica | Carga estática |
|---|---|---|
| 24 martillos | 3594.03 N | 359.59 N |
| 30 martillos | 4056.02 N | 459.34 N |
| 36 martillos | 4901.27 N | 573.22 N |

Fuente: Elaboración propia.

[28] Anexo N, "Tabla de peso aproximado para barras de acero redondas, cuadradas y hexagonales", "BOHLER".

[29] Apéndice A, "Cálculo y definición de dimensiones de componentes".

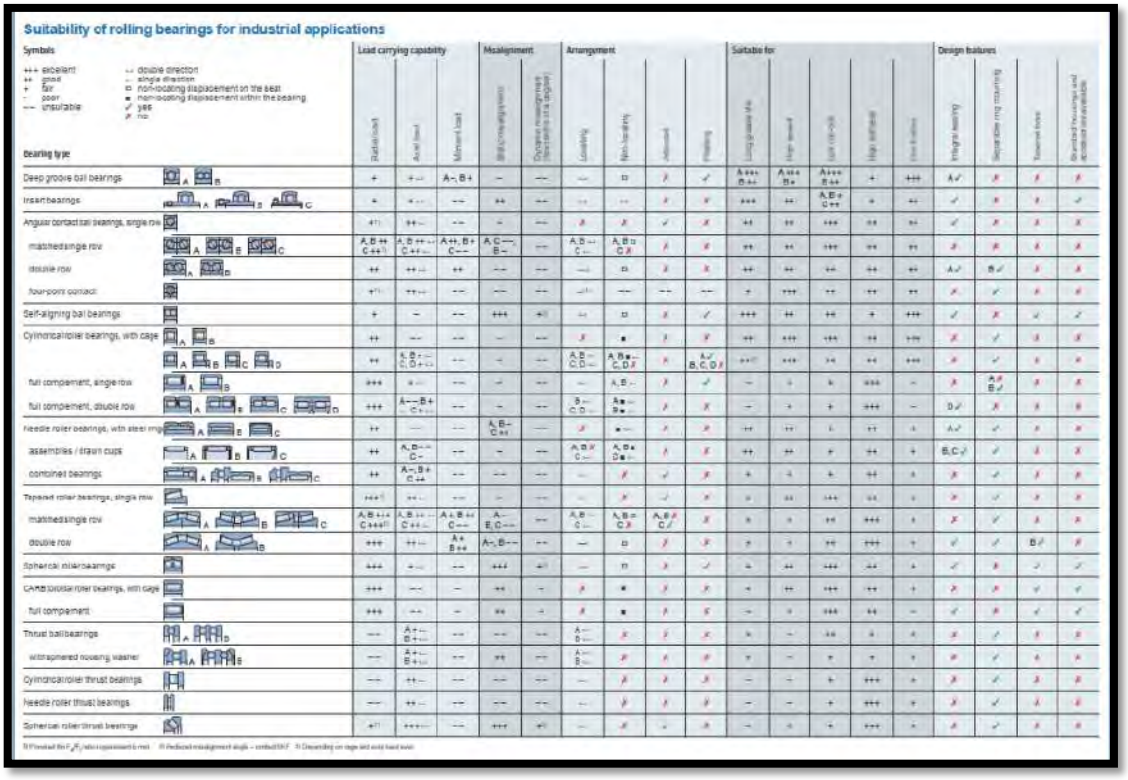



Figura 115. Tabla de selección de rodamientos – Anexo M[30].

De la tabla de selección de rodamientos se elige el rodamiento que preste excelentes condiciones para el servicio, por ser carga puramente radial se elige, rodamientos de rodillos a rótula (Ver Figura 116).

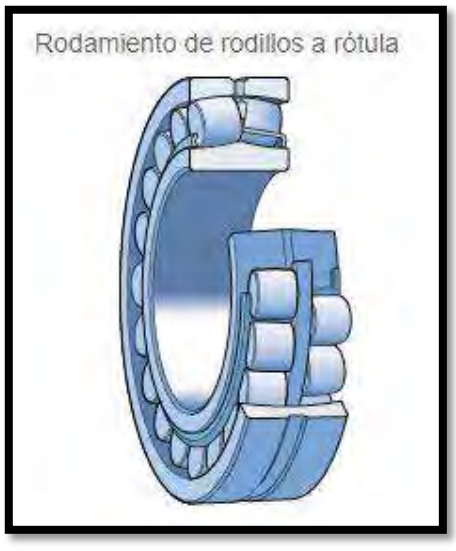


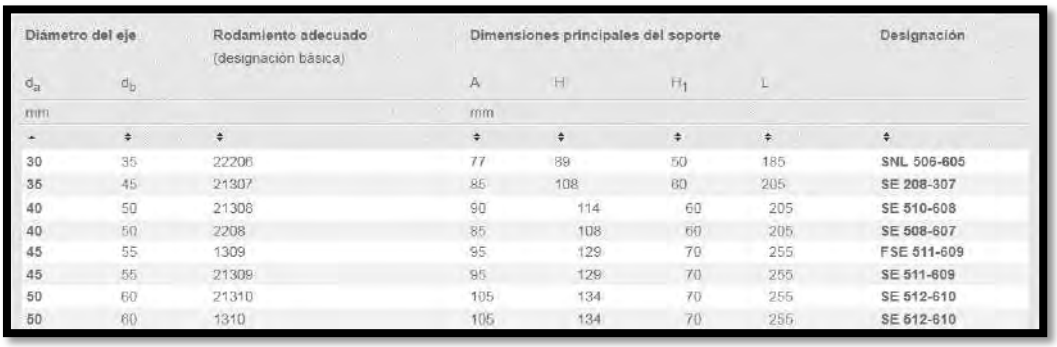

Figura 116. Rodamiento de rodillos a rótula
Fuente: www.skf.com

[30] Anexo M, "Tabla para selección de rodamientos", "SKF".

| Principal dimensions | Dimensiones principales | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Designación | Designaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | dinámica | estática | | Velocidad de referencia | Velocidad límite | Bearing | Manguito de fijación |
| $d / d_1$ | D | B | C | $C_0$ | $P_u$ | | | | |
| mm | mm | | kN | | kN | r/min | | | |
| 35 | 80 | 21 | 79.2 | 72 | 8.15 | 7300 | 9500 | 21307 CC | |
| 35 | 72 | 23 | 88.8 | 86 | 9.3 | 9000 | 12000 | ▶ 22207 E | |
| 40 | 90 | 33 | 155 | 140 | 15 | 6000 | 8000 | ▶ 22308 EK | |
| 40 | 90 | 23 | 107 | 108 | 11.8 | 7000 | 9500 | 21308 E | |
| 45 | 100 | 25 | 129 | 127 | 13.7 | 6300 | 8500 | 21309 E | |
| 45 | 100 | 36 | 190 | 183 | 19.6 | 5300 | 7000 | ▶ 22309 E | |
| 50 | 110 | 27 | 159 | 166 | 18.6 | 5600 | 7500 | ▶ 21310 E | |
| 50 | 110 | 27 | 159 | 166 | 18.6 | 5600 | 7500 | ▶ 21310 EK | |

Figura 117. Lista de rodamientos según diámetro SKF[31].

Se eligieron cuatro rodamientos para ejes de 35 mm, 40 mm, 45 mm y 50 mm; 21307CC, 21308E, 21309E y 21310E, respectivamente. Los soportes o chumaceras pie de dos piezas, series SNL y SE para rodamientos montados sobre un asiento cilíndrico, con sellos estándares, se muestran a continuación:



| Diámetro del eje | | Rodamiento adecuado (designación básica) | Dimensiones principales del soporte | | | | Designación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $d_a$ | $d_b$ | | A | H | $H_1$ | L | |
| mm | | | mm | | | | |
| 30 | 35 | 22206 | 77 | 89 | 50 | 185 | SNL 506-605 |
| 35 | 45 | 21307 | 85 | 108 | 60 | 205 | SE 208-307 |
| 40 | 50 | 21308 | 90 | 114 | 60 | 205 | SE 510-608 |
| 40 | 50 | 2208 | 85 | 108 | 60 | 205 | SE 508-607 |
| 45 | 55 | 1309 | 95 | 129 | 70 | 255 | FSE 511-609 |
| 45 | 55 | 21309 | 95 | 129 | 70 | 255 | SE 511-609 |
| 50 | 60 | 21310 | 105 | 134 | 70 | 255 | SE 512-610 |
| 50 | 60 | 1310 | 105 | 134 | 70 | 255 | SE 512-610 |

Figura 118. Lista de rodamientos según diámetro SKF[32].

Los soportes para los rodamientos 21307CC, 21308E, 21309E y 21310E, son: SE 208-307, SE 510-608, SE 511-609 y SE 512-610, respectivamente. Definido esto, los diámetros de eje son:

Tabla 52. Diámetro de eje para cada caso de molino.

| **Molino** | **VCL** (mm) | **H** (mm) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 35 | 40 |
| 30 martillos | 40 | 45 |
| 36 martillos | 40 | 50 |

Fuente: Elaboración propia.

[31] www.skf.com
[32] www.skf.com

### 4.5.13. Correas o bandas

Estos elementos son el medio para transmitir la potencia del eje del motor al eje del molino. Las bandas serán en V, bandas comerciales y con especificaciones de uso definidas.

Para la selección de las mismas se presentan los siguientes cuadros:

Tabla 53. Secciones de bandas en V estándar[33].

| Sección de la banda | Ancho a, pulg | Espesor b, pulg | Diámetro mínimo de polea, pulg | Intervalo de potencias (Hp), una o más bandas |
|---|---|---|---|---|
| A | ½ | 11/32 | 3.0 | ¼ - 10 |
| B | 21/32 | 7/16 | 5.4 | 1 – 25 |
| C | 7/8 | 17/32 | 9.0 | 15 – 100 |
| D | 1¼ | ¾ | 13.0 | 50 – 250 |
| E | 1½ | 1 | 21.6 | 100 y mayores |

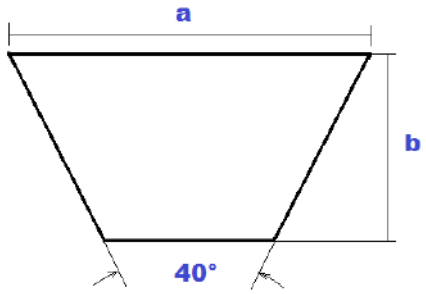



Tabla 54. Circunferencias interiores de bandas en V estándar[34].

| **Sección** | **Circunferencia, pulg** |
|---|---|
| A | 26,31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128 |
| B | 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300 |
| C | 51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 |
| D | 120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |
| E | 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |

[33] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, “Elementos mecánicos flexibles”, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, Novena edición, Tabla 17-9.

[34] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, “Elementos mecánicos flexibles”, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, Novena edición, Tabla 17-10.

Para el diseño la banda en V es de tipo C, la potencia de los motores están en ese rango, de 15 a 100 Hp, según Tabla 53, para definirla completamente se debe saber la medida de circunferencia que envuelve la polea del eje del motor junto con la polea del eje del molino ya ubicadas; por ejemplo, si la medida de circunferencia fuese 75 pulg, en el molino de 36 martillos que usa un motor de 40 Hp, las bandas a conseguir serian en V tipo C75.

### 4.5.14. Cuñas o chavetas

Este elemento está presente en las palancas porta martillos y en los ejes. Para el cálculo de sus dimensiones se define el acero del que son, acero H-V945, con $S_y$ = 37 kg/mm$^2$ = 362.85 MPa y $S_u$ = 65 kg/mm$^2$ = 637.43 MPa, y la geometría.

Para el diseño se usa cuñas cuadradas o rectangulares, a continuación, se presenta una tabla de las dimensiones w y h según el diámetro del eje.

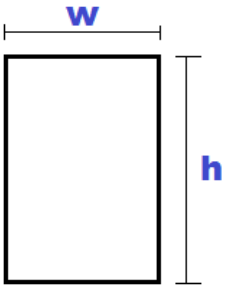



Tabla 55. Dimensiones en pulgadas de aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar[35].

| Diámetro del eje | | Tamaño de la cuña | | Profundidad del cuñero |
|---|---|---|---|---|
| Más de | Hasta (inclusive) | w | h | |
| 5/16 | 7/16 | 3/32 | 3/32 | 3/64 |
| 7/16 | 9/16 | 1/8 | 3/32 | 3/64 |
| | | 1/8 | 1/8 | 1/16 |
| 9/16 | 7/8 | 3/16 | 1/8 | 1/16 |
| | | 3/16 | 3/16 | 3/32 |
| 7/8 | 1 ¼ | 1/4 | 3/16 | 3/32 |
| | | 1/4 | 1/4 | 1/8 |
| 1¼ | 1 3/8 | 5/16 | 1/4 | 1/8 |
| | | 5/16 | 5/16 | 5/32 |
| 1 3/8 | 1 ¾ | 3/8 | 1/4 | 1/8 |
| | | 3/8 | 3/8 | 3/16 |
| 1 ¾ | 2 ¼ | 1/2 | 3/8 | 3/16 |
| | | 1/2 | 1/2 | ¼ |
| 2 ¼ | 2 ¾ | 5/8 | 7/16 | 7/32 |
| | | 5/8 | 5/8 | 5/16 |
| 2 3/4 | 3 1/4 | 3/4 | 1/2 | 1/4 |
| | | 3/4 | 3/4 | 3/8 |

[35] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, “Ejes, flechas y sus componentes”, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, Novena edición, Tabla 7-6.

La longitud "l" se halla con la siguiente ecuación:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \tau \quad (4.14) \text{ (Falla por cortante)}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{\tau}{2} \quad (4.15) \text{ (Falla por aplastamiento)}$$

$$S_{sy} = 0.577 S_y \quad (4.16)^{36}$$

$$\tau = \frac{F}{wl} \quad (4.17)$$

$$F = \frac{T}{r} \quad (4.18)$$

Donde *n* es el FS (factor de seguridad).

En el caso del eje del molino de:

**24 martillos**

Eje es 35 mm y 40 mm en VCL y H, respectivamente, de la Tabla 55 se tomarán los valores correspondientes a diámetro del eje en el rango de 1 3/8 a 1 3/4 pulgada, w = 3/8 pulgadas = 9.53 x $10^{-3}$ m, h = ¼ pulgadas = 6.35 x $10^{-3}$ m y profundidad del cuñero igual a 1/8 pulgadas = 3.18 x $10^{-3}$ m.

La longitud "l" será:

Se calcula la fuerza en la faja, torque del motor de molino de 24 martillos igual a 100.33 N.m (Ver Tabla. Tabla 46), se asume diámetro de polea del motor igual a 25.4 cm (radio = 0.127 m) y 15.24 cm (radio = 0.0762 m) para polea del eje del molino:

$$F_{banda} = \frac{100.33}{0.127} = 790\ N \quad (4.18)$$

$$T_{eje\ de\ molino} = 790\ x\ 0.0762 = 60.198\ N.m$$

Para el caso se tomará el eje de acero H, de diámetro 40 mm (radio = 0.02 m)

$$F = \frac{T}{r} = \frac{60.198}{0.02} = 3009.9\ N \quad (4.18)$$

$$S_{sy} = 0.577x362.85\ \text{MPa} = 209.36\ \text{MPa} \quad (4.16)$$

$$l = \frac{nxF}{wxS_{sy}} = n\ x\ 1.51\ x\ 10^{-3}\ m \text{ (reemplazando 4.17 en 4.14, falla por cortante)}$$

[36] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Fallas resultantes de carga estática", "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Novena edición, Teoría de la energía de distorsión, página 216.

$$l = \frac{nxF}{2wxS_{sy}} = n\ x\ 7.54\ x\ 10^{-4}\ m$$ (reemplazando 4.17 en 4.15, falla por aplastamiento)

Tabla 56. Longitud de chaveta en polea para eje de molino de 24 martillos.

| | Longitud de chaveta (mm) | |
|---|---|---|
| F.S. | Falla por cortante | Falla por aplastamiento |
| 1 | 1.51 | 0.754 |
| 2 | 3.02 | 1.51 |
| 3 | 4.53 | 2.26 |
| 4 | 6.04 | 3.02 |
| 5 | 7.55 | 3.77 |
| 6 | 9.06 | 4.52 |

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 56 para la longitud de la chaveta le corresponde valores menores a 1 cm. Por lo general la longitud de la chaveta o cuña es la longitud de la masa fijada (engranajes, poleas o ruedas), garantizándose estabilidad y mayor resistencia[37].

### 4.5.15. Fuerza del martillo

En este apartado se calcula la fuerza del martillo para tener una idea de la magnitud de esta fuerza al funcionar el molino.

Para simplificar los cálculos, en el apartado anterior se halló el torque del eje del molino. En el apartado 4.5.5 se definió la longitud de la palanca porta martillos (Ver Tabla 29) y la medida o longitud de impacto del martillo, aproximadamente la cuarta parte de la longitud total del mismo (Ver Figura 107). Entonces:

**Molino de 24 martillos**

$T_{eje\ de\ molino}$= 60.198 N.m
longitud de palanca porta martillos = 30.48cm
longitud de impacto del martillo igual a 2.5 cm (Ver Tabla 22)

$$F_{martillo} = \frac{T_{eje\ de\ molino}}{\left(\frac{0.3048}{2} + 0.025\right)}$$

$$F_{martillo} = 339.33\ \text{N}$$

[37] Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, "Fallas resultantes de carga estática", "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Novena edición, cuñas y pasadores, página 372 - 377.

### 4.5.16. Diámetro de poleas

Para el cálculo del diámetro de las poleas tanto del eje del molino como del motor, se usa la siguiente relación:

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2 \quad (4.19)$$

Donde:
$n_1$= rpm de polea del motor
$n_2$= rpm de polea del molino
$d_1$= diámetro de polea del motor
$d_2$= diámetro de polea del molino

La solución de la relación 4.19 depende de conocer tres términos de ella para encontrar el termino faltante, para el diseño se conoce que el rotor del molino debe girar a 3000 rpm, valor definido anteriormente; las rpm del motor se conoce[38], dato de placa; se tiene que definir el diámetro de una de las poleas y consiguiente, por la relación, obtener el diámetro de la otra.

En el caso del molino de 24 martillos se puede definir la polea del eje del molino, como se asumió anteriormente y poder hallar el diámetro de la polea del motor que corresponde.

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2$$

$$1765 \text{ rpm} \times d_1 = 3000 \text{ rpm} \times 0.1524 \text{ m}$$

$$d_1 = \frac{3000 \text{ rpm} \times 0.1524 \text{ m}}{1765 \text{ rpm}} = 0.2590 \text{ m}$$

El diámetro de la polea del motor debe ser de 25.90 cm y la polea del eje del molino de 15.24 cm.

## 4.6. Definición de dimensiones de componentes para diseño de molino

En el apartado 4.5 se calculó y definió las dimensiones de cada uno de los componentes o elementos principales de un molino de martillos fijos; para el cálculo se tomó los casos de molino de 24, 30 y 36 martillos por presentar rendimientos del rango de 1 t/h con variedad de reducción de partícula a 0.635, 0.476 y 0.318 cm.

En este apartado se define los valores de dimensión de los componentes de cualquier caso de molino de martillos fijos a partir de las relaciones de dimensión existentes entre los mismos componentes y potencia del motor de los casos estudiados. El requerimiento de productividad en t/h y reducción de partícula, determina el molino según el número de martillos.

[38] Anexo J, “Catálogo general motores eléctricos”, “Siemens”.

A continuación, se presenta un cuadro de los casos de molinos que han sido parte de los cálculos y la productividad real aproximada (Ver Tabla 20):

Tabla 57. Productividad real aproximada de molino según número de martillos.

| Molino de martillos fijos | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Características | | 24 martillos | 30 martillos | 36 martillos |
| Productividad en t/h según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| | 0.476 cm | 1 | 1.2 | 1.5 |
| | 0.635 cm | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| Potencia del motor | | 18.65 kW | 22.38 kW | 29.84 kW |
| | | 25 hp | 30 hp | 40 hp |

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 57 se puede notar que para una misma reducción de partícula la diferencia entre cada caso de molino varia en 0.2 t/h aproximadamente, y el valor de potencia es el siguiente valor comercial consecutivo, según el caso (Ver apartado 4.5.8).

A continuación, se presenta un cuadro con los valores calculados y definidos en el apartado 4.5:

Tabla 58. Dimensiones de componentes principales de molino según número de martillos.

| **Molino de martillos fijos** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Componente** | **Características** | | | **24 martillos** | | **30 martillos** | | **36 martillos** | | |
| | **Material** | **Dimensiones (mm)** | | | | | | | | |
| Caja de molino | Plancha LAC Calidad estructural ASTM A36 | espesor | | 4.5 | | | | | | |
| | | medida interna ancho | | 269.8 | | 327 | | 384.2 | | |
| | | medida interna diámetro | | 406.4 | | 457.2 | | 508 | | |
| Eje | VCL | diámetro | 1 | 21.1 | 25 | 22.5 | 25 | 24.9 | 25 | |
| | | | 2 | 26.6 | 30 | 28.4 | 30 | 31.3 | 35 | |
| | | | 3 | 30.5 | 35 | 32.5 | 35 | 35.8 | 40 | |
| | | | 4 | 33.5 | 35 | 35.7 | 40 | 39.5 | 40 | |
| | | | 5 | 36.1 | 40 | 38.5 | 40 | 42.5 | 45 | |
| | | | 6 | 38.4 | 40 | 41.0 | 45 | 45.2 | 50 | |
| | H | diámetro | 1 | 24.9 | 25 | 26.6 | 30 | 29.3 | 30 | |
| | | | 2 | 31.4 | 35 | 33.5 | 35 | 36.9 | 40 | |
| | | | 3 | 35.9 | 40 | 38.3 | 40 | 42.3 | 45 | |
| | | | 4 | 39.6 | 40 | 42.2 | 45 | 46.5 | 50 | |
| | | | 5 | 42.6 | 45 | 45.4 | 50 | 50.1 | 55 | |
| | | | 6 | 45.3 | 50 | 48.3 | 50 | 53.3 | 55 | |
| | longitud | | | 587.3 | | 644.5 | | 701.7 | | |
| Martillos | Platinas calidad ASTM A36 | espesor | | 6.35 | | | | | | |
| | | ancho | | 38.1 | | | | | | |
| | | longitud | | 100 | | | | | | |
| Palancas porta martillos | Platinas calidad ASTM A36 | espesor | | 6.35 | | | | | | |
| | | ancho | | 76.2 | | | | | | |
| | | longitud | | 304.8 | | 355.6 | | 406.4 | | |
| Separador de palancas porta martillos | Tubo SCH 40 | diámetro | VCL | 45 | | 50 | | 50 | | |
| | | | H | 50 | | 55 | | 60 | | |
| | | longitud | | 12.7 | | | | | | |
| Pin de tope de martillo | Barra redonda calidad ASTM A36 | diámetro | | 9.53 | | | | | | |
| | | longitud | | 25.4 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 58 se presentan los diámetros de eje en acero VCL y H, el diámetro calculado para diferentes valores de FS y su respectivo valor comercial; el diámetro de tubo para los separadores de palancas porta martillos son para diámetro de eje, sea VCL o H, con FS igual a 4 (fila sombreada correspondiente).

Los componentes como martillos y pin de tope de martillo, los valores de dimensión se mantienen para cualquier caso de molino. Los valores para selección de rodamientos y chumaceras, correas o bandas, cuñas o chavetas y diámetro de poleas; se presentan en los apartados 4.5.12, 4.5.13, 4.5.14 y 4.5.16, respectivamente.

### 4.6.1. Tabla de proyección de productividad real aproximada

En este apartado se presenta una proyección de la Tabla 57 para elección de molino según requerimiento de productividad y reducción de partícula, respetando la relación de variación entre cada uno.

Tabla 59. Proyección de productividad real aproximada de molino según número de martillos.

| Molino de martillos fijos | Productividad en t/h según diámetro de hueco de zaranda | | | Potencia del motor | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 3.18 mm | 4.76 mm | 6.35 mm | kW | hp |
| 12 martillos | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 11.19 | 15 |
| 18 martillos | 0.6 | 0.8 | 1 | 14.92 | 20 |
| 24 martillos | 0.8 | 1 | 1.2 | 18.65 | 25 |
| 30 martillos | 1 | 1.2 | 1.5 | 22.38 | 30 |
| 36 martillos | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 29.84 | 40 |
| 42 martillos | 1.5 | 1.8 | 2 | 29.84 | 40 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.1. Dimensión de caja de molino

Tomando como referencia los valores de dimensión de caja de molino de la Tabla 58, y respetando la relación de variación de sus dimensiones en cada caso, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 60. Dimensión de caja de molino según número de martillos.

| Molino de martillos fijos | Caja de molino | | |
|---|---|---|---|
| | Plancha LAC calidad estructural ASTM A36 | | |
| | espesor (mm) | medida interna ancho (mm) | medida interna diámetro (mm) |
| 12 martillos | 4.5 | 155.4 | 304.8 |
| 18 martillos | 4.5 | 212.6 | 355.6 |
| 24 martillos | 4.5 | 269.8 | 406.4 |
| 30 martillos | 4.5 | 327 | 457.2 |
| 36 martillos | 4.5 | 384.2 | 508 |
| 42 martillos | 4.5 | 441.4 | 558.8 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.2. Dimensión de eje

Tomando como referencia los valores de diámetro de eje no comercial de la Tabla 58, y respetando la relación de variación de sus dimensiones en cada caso, se obtiene el siguiente cuadro con los valores de diámetro de eje comercial:

Tabla 61. Dimensiones de eje de molino según número de martillos.

| Molino de martillos fijos | Eje de molino | | |
|---|---|---|---|
| | Diámetro (mm) | | Longitud (mm) |
| | VCL | H | |
| 12 martillos | 30 | 35 | 472.9 |
| 18 martillos | 35 | 40 | 530.1 |
| 24 martillos | 35 | 40 | 587.3 |
| 30 martillos | 40 | 45 | 644.5 |
| 36 martillos | 40 | 50 | 701.7 |
| 42 martillos | 45 | 55 | 758.9 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.3. Dimensión de palanca porta martillos

Tomando como referencia los valores de dimensión de palancas porta martillos de la Tabla 58, y respetando la relación de variación de sus dimensiones en cada caso, se obtiene el siguiente cuadro:

Tabla 62. Dimensión de palanca porta martillos.

| Molino de martillos fijos | Palancas porta martillos | | |
|---|---|---|---|
| | Platinas calidad ASTM A36 | | |
| | espesor (mm) | ancho (mm) | longitud (mm) |
| 12 martillos | 6.35 | 76.2 | 203.2 |
| 18 martillos | 6.35 | 76.2 | 254 |
| 24 martillos | 6.35 | 76.2 | 304.8 |
| 30 martillos | 6.35 | 76.2 | 355.6 |
| 36 martillos | 6.35 | 76.2 | 406.4 |
| 42 martillos | 6.35 | 76.2 | 457.2 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.4. Dimensión de separador de palancas porta martillos

Tomando como referencia los valores de los diámetros de eje de la Tabla 61, y respetando la relación de variación de sus dimensiones en cada caso, se obtiene el siguiente cuadro con el diámetro de separador correspondiente para cada eje:

Tabla 63. Dimensión de separador de palancas porta martillos.

| Molino de martillos fijos | Separador de palancas porta martillos | | |
|---|---|---|---|
| | Tubo SCH 40 | | |
| | Diámetro (mm) | | Longitud (mm) |
| | Con eje VCL | Con eje H | |
| 12 martillos | 40 | 45 | 12.7 |
| 18 martillos | 45 | 50 | 12.7 |
| 24 martillos | 45 | 50 | 12.7 |
| 30 martillos | 50 | 55 | 12.7 |
| 36 martillos | 50 | 60 | 12.7 |
| 42 martillos | 55 | 65 | 12.7 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.6.1.5. Dimensión de peines de impacto

Estos elementos se conocen así por su disposición en la parte interna superior de la caja de molino, se presentan de forma ordenada a todo lo ancho de la caja, simulando una superficie con una especie de dientes transversales (Ver Figura 119), no se mencionaron en el apartado anterior, cálculo y definición de dimensiones de componentes, por ser elementos que no siempre están presentes en los molinos de martillo. Se recomienda su presencia por ayudar en el proceso de desintegración de partículas, el producto ingresa al molino y al ser impactado por los martillos, impacta luego con la superficie accidentada formada por los peines, generando una mejor desintegración que al impactar con una superficie lisa.

Para el diseño de estos elementos se ha considerado tomar como referencia lo visto en campo, hechos de barra cuadrada con longitud igual a la medida interna del ancho de caja, se define de dimensión igual a 12 mm, calidad ASTM A36[39]

Figura 119. Peines de impacto en interior de tolva.
Fuente: Elaboración propia.

[39] Anexo B, “Catálogo de productos”, “Barras cuadradas”, “Aceros Arequipa”.

# Capítulo 5
# Simulación

## 5.1. Introducción

En el capítulo presente se complementa este estudio de tesis con la simulación del eje, elemento encargado de transmitir el movimiento al rotor moledor para cumplir la función de molienda, en el complemento de simulación, Simulation, del software Solidworks.

## 5.2. Simulación de caso particular

Para dar sustento al estudio de este tema de tesis se escogió un caso particular de los no calculados en el capítulo anterior, pero si definido con las relaciones de dimensión de los componentes principales, obtenidas con los cálculos mencionados. En el apartado 4.6, Definición de dimensiones de componentes para diseño de molino, se presenta cada componente principal con su respectiva dimensión para cada caso de molino según el número de martillos, donde el molino se elige a partir de la reducción de partícula y productividad requerida.

El eje escogido para la simulación es el del molino de 12 martillos, en el estudio se presentan dos opciones de material para este elemento, siendo el VCL-V320 y H-V945, se escoge el de características mecánicas inferiores, H-V945; con la ayuda del software se obtienen resultados que permiten dar fiabilidad al diseño para su posterior confección.

El análisis se da en dos perspectivas, análisis estático y análisis en fatiga. Cada uno presenta resultados propios que se toman en cuenta para la viabilidad de la confección del diseño.

### 5.2.1. Análisis estático

Para el análisis estático del ensamble se tuvo primero que modelar los componentes que serán parte del estudio, chumaceras y eje, también definir el material de cada uno de ellos, fundición gris para las chumaceras (material usado en los soportes para rodamientos por el fabricante SKF) y AISI 1045 (H-V945, aceros Bohler), posteriormente indicar en el ensamble las fuerzas y condiciones a las que

está sometido en el sistema, fuerza de peso del rotor, torsión, tensión de faja, entre otras. Para definir algunas de estas condiciones se hicieron unos cálculos previos:

**Ancho de rotor**

| Elemento | cantidad | Longitud total aproximada (mm) |
|---|---|---|
| Palanca | 6 | 38.1 |
| separador | 5 | 63.5 |
| Tope | 1 | 9.53 |
| Tuerca | 1 | 19.05 |
| luz | 2 | 25.4 |

$$\text{Ancho}_{\text{rotor}} \approx 130.18 \text{ mm}$$

**Canal chavetero**

| Dimensión | Medida (mm) |
|---|---|
| w | 7.94 |
| h | 7.94 |
| Profundidad de cuñero | 3.97 |
| Longitud de chaveta para palanca | 12.7 |
| Longitud de chaveta para polea | 76.2 |

**Peso de rotor**

| Elemento | cantidad | Peso total aproximado (N) |
|---|---|---|
| palancas | 6 | 45.52 |
| Pines | 12 | 1.67 |
| martillos | 12 | 22.37 |
| chavetas | 6 | 1.8 |
| separador | 5 | 5 |
| pernos | 12 | 7.2 |

$$\text{P}_{\text{rotor aproximado}} \approx 83.55 \text{ N}$$

**Peso de polea**

$$\text{P}_{\text{polea aproximado}} \approx 49.55 \text{ N}$$

**Torque en el eje del molino**

$$\text{Torque}_{motor\ 11.19kW\ @1800} = 61.012\ N.m$$

Para el cálculo del torque en el eje del molino asumiremos las dimensiones de diámetro de polea de motor igual a 0.254 m y polea de eje de molino igual a 0.1524.

$$F = \frac{T_{motor}}{r_{polea\ de\ motor}} = \frac{61.012}{0.127} = 480.41\ N$$

$$T_{eje\ de\ molino} = F \times r_{polea\ eje\ de\ molino}$$

$$T_{eje\ de\ molino} = 480.41\ N \times 0.0762\ m = 36.61\ N.m$$

**Fuerza de tensión de faja**

$$\mathrm{F}_B = \frac{1.5 \times T_{eje\ de\ molino}}{r_{polea\ eje\ de\ molino}}$$

$$\mathrm{F}_B = \frac{1.5 \times 36.61\ N.m}{0.0762\ m}$$

$$\mathrm{F}_B = 720.615\ N$$

**Velocidad angular**

Para la simulación asumiremos 3500 rpm, valor máximo para molino de martillos

$$\frac{3000\ \text{rev}}{min} \times \frac{1\ min}{60\ s} \times \frac{2\pi}{1\ rev} = 366.52 \frac{rad}{s}$$

Teniendo estos valores, se aplican al modelo de ensamble para definir las condiciones de simulación.

A continuación, se muestran Figura 120, Figura 121, Figura 122, Figura 123:

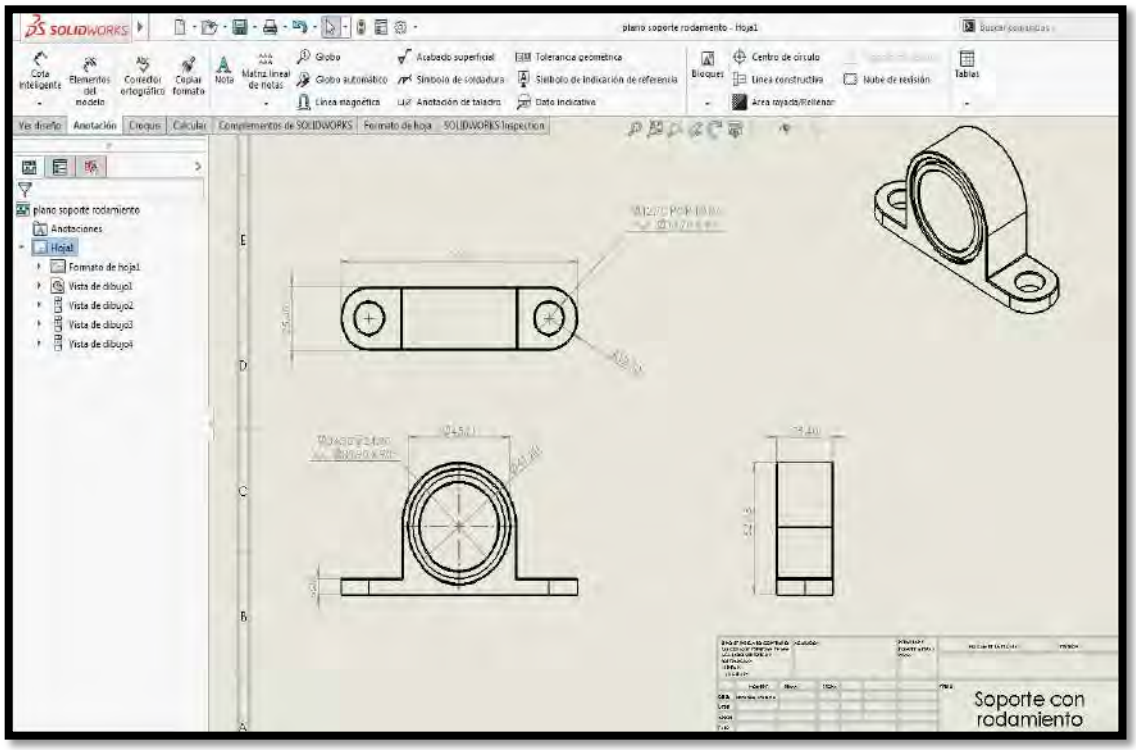



Figura 120. Diseño y modelado de chumacera.
Fuente: Elaboración propia.

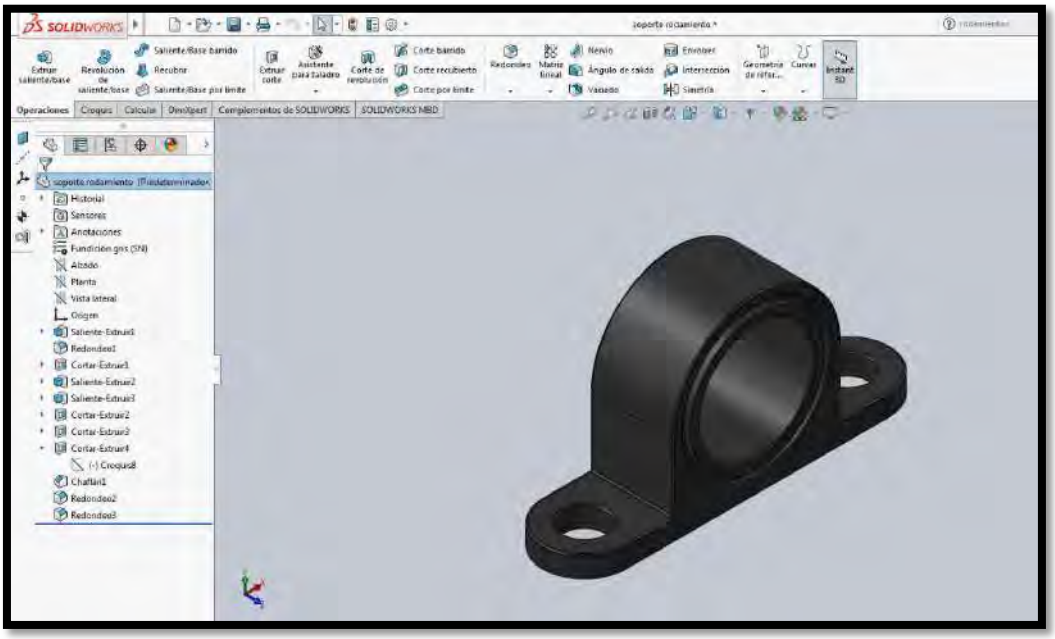


Figura 121. Chumacera en material de fundición gris.
Fuente: Elaboración propia.

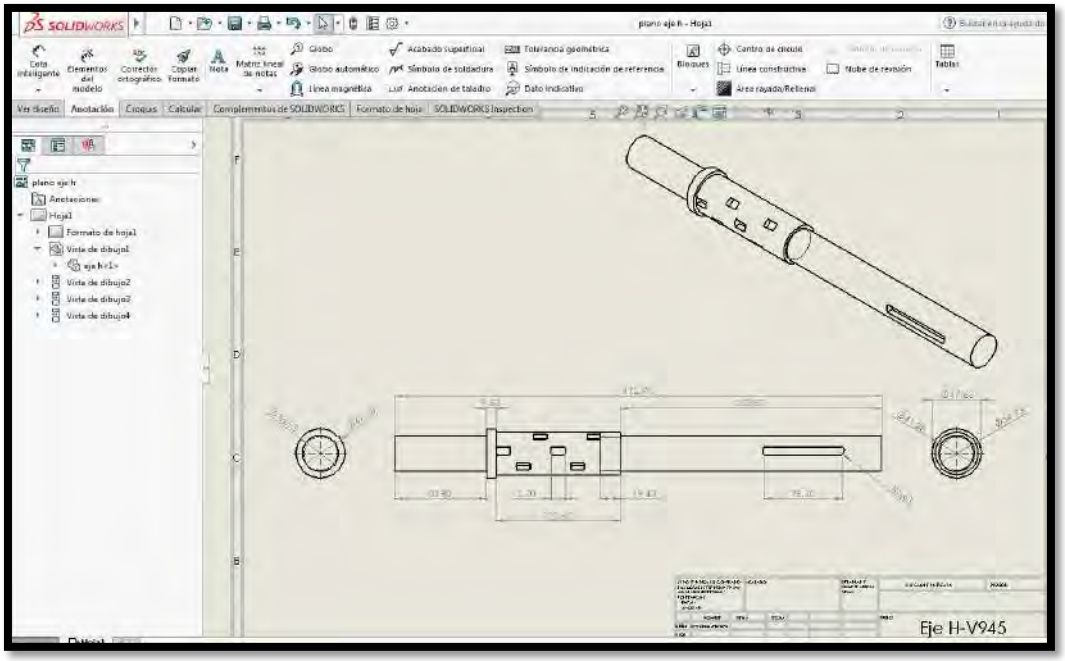



Figura 122. Diseño y modelado de eje de molino.
Fuente: Elaboración propia.

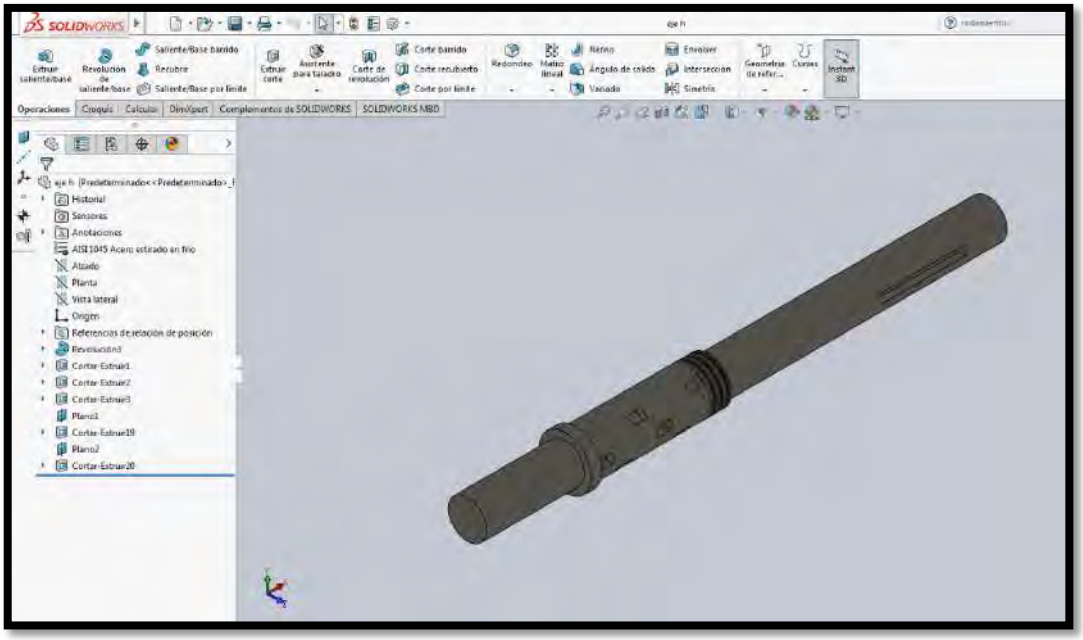


Figura 123. Eje de molino en material AISI 1045 (H-V945, acero Bohler).
Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación del ensamblaje en el complemento Simulation, se define el material, las condiciones y se ejecuta el análisis estático para obtener los resultados.

A continuación, se muestran las Figura 124, Figura 125 y Figura 126:

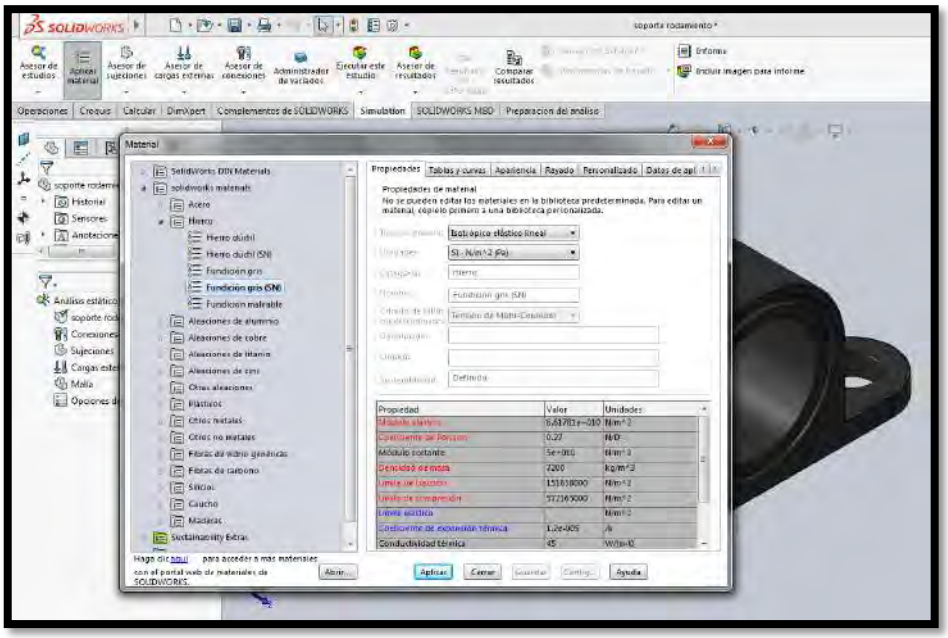


Figura 124. Definición de material de chumacera en Simulation.
Fuente: Elaboración propia.

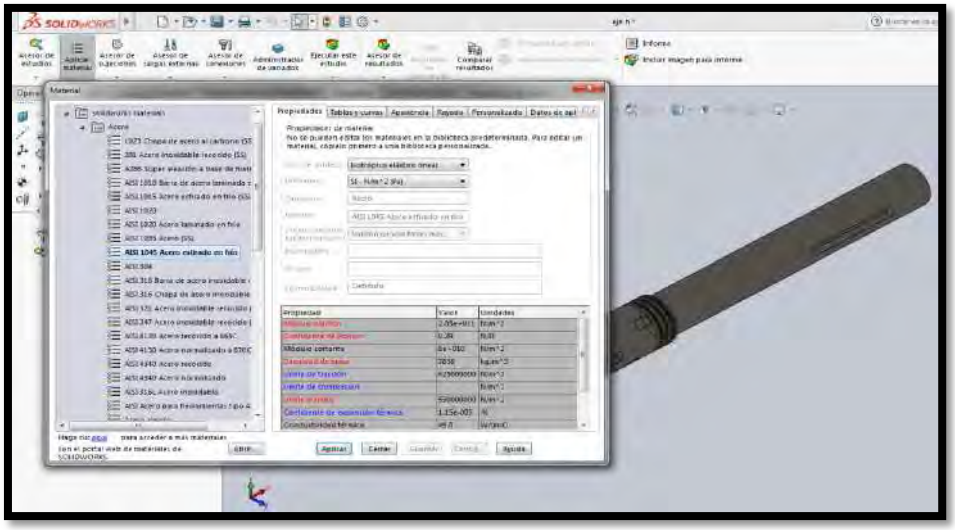


Figura 125. Definición de material de eje de molino en Simulation.
Fuente: Elaboración propia.

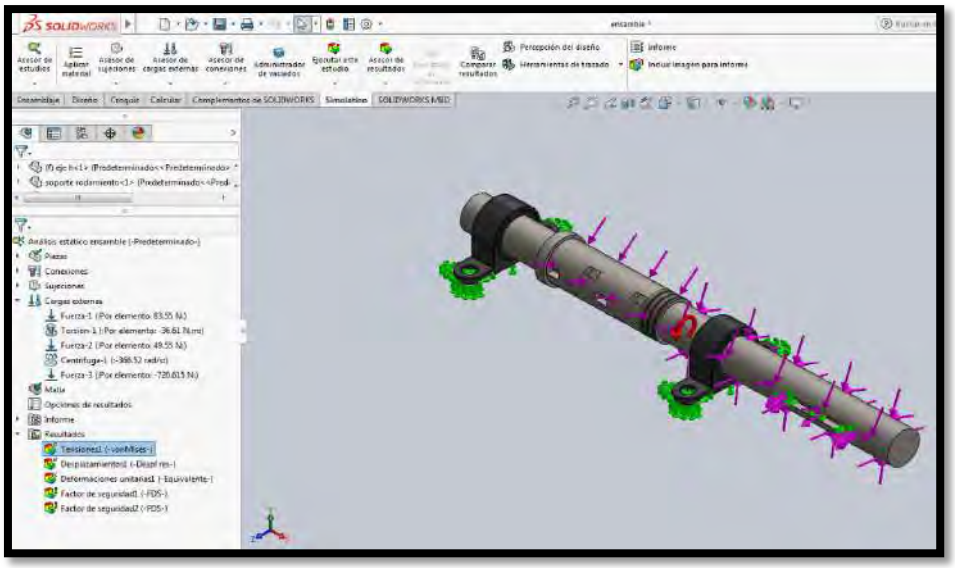


Figura 126. Definición de condiciones de ensamble en Simulation.
Fuente: Elaboración propia.

Definiendo las condiciones de los elementos en el sistema, se ejecuta el estudio y se obtienen los siguientes resultados según el análisis estático:

#### 5.2.1.1. Tensiones (Von Mises)

Este resultado representa el comportamiento de los elementos del ensamblaje frente a los esfuerzos de tensiones a los que están sometidos, desde el punto de vista del criterio de Von Mises.

En la parte derecha se muestra una barra de colores, indicando de color naranja los puntos o zonas que están al máximo esfuerzo de tensión posible y de color azul, los de mínimo esfuerzo de tensión.

Máximo: 86.7 MPa
Mínimo: 16.98 KPa

A continuación, se muestra la Figura 127 del resultado:

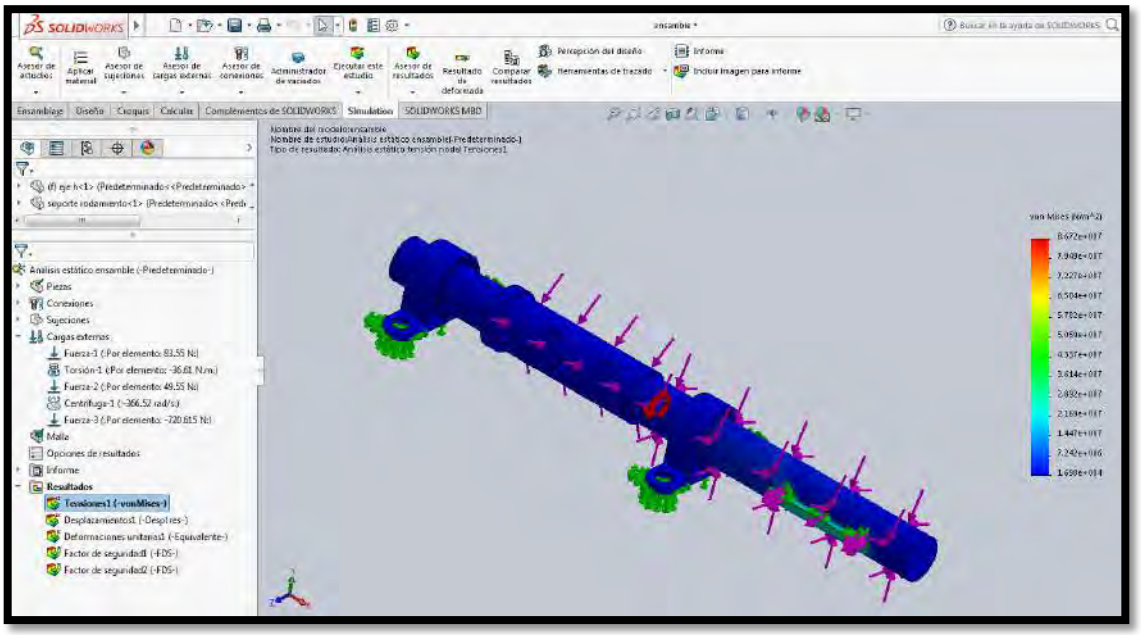


Figura 127. Resultado de tensiones (Von Mises).
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.2. Desplazamiento estático

Este resultado representa el desplazamiento estático de los elementos del ensamblaje por efecto de las condiciones del sistema a los que están sometidos.

En la parte derecha se muestra una barra de colores, indicando de color naranja los puntos o zonas que tienen el máximo desplazamiento estático posible y de color azul, los que tienen mínimo desplazamiento estático.

Máximo: 0.04 mm
Mínimo: $10^{-30}$ mm

A continuación, se muestra en la Figura 128 el resultado:

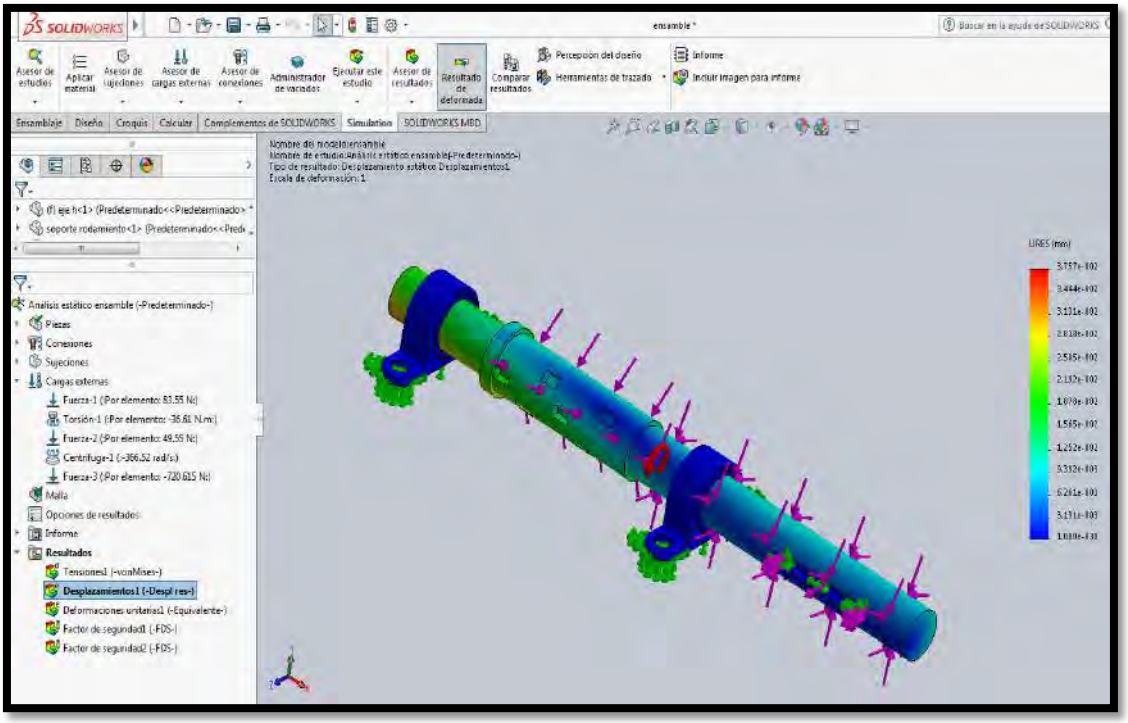


Figura 128. Resultado de desplazamiento estático.
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1.3. Factor de seguridad tensiones Von Mises máximo

Este resultado representa el factor de seguridad de los elementos del ensamblaje por efecto de las condiciones del sistema a los que están sometido, desde el criterio de tensiones de Von Mises máximo o también llamado teoría de fallo elástico o teoría de la máxima energía de distorsión, donde:

$$\frac{\sigma_{Von\ Mises}}{\sigma_{límite}} < 1$$

En la parte derecha se muestra una barra de colores, indicando de color naranja los puntos o zonas que tienen el mínimo factor de seguridad posible y de color azul, los que tienen el máximo factor de seguridad.

Máximo: 24050
Mínimo: 6.1

A continuación, se muestra la Figura 129 el resultado:

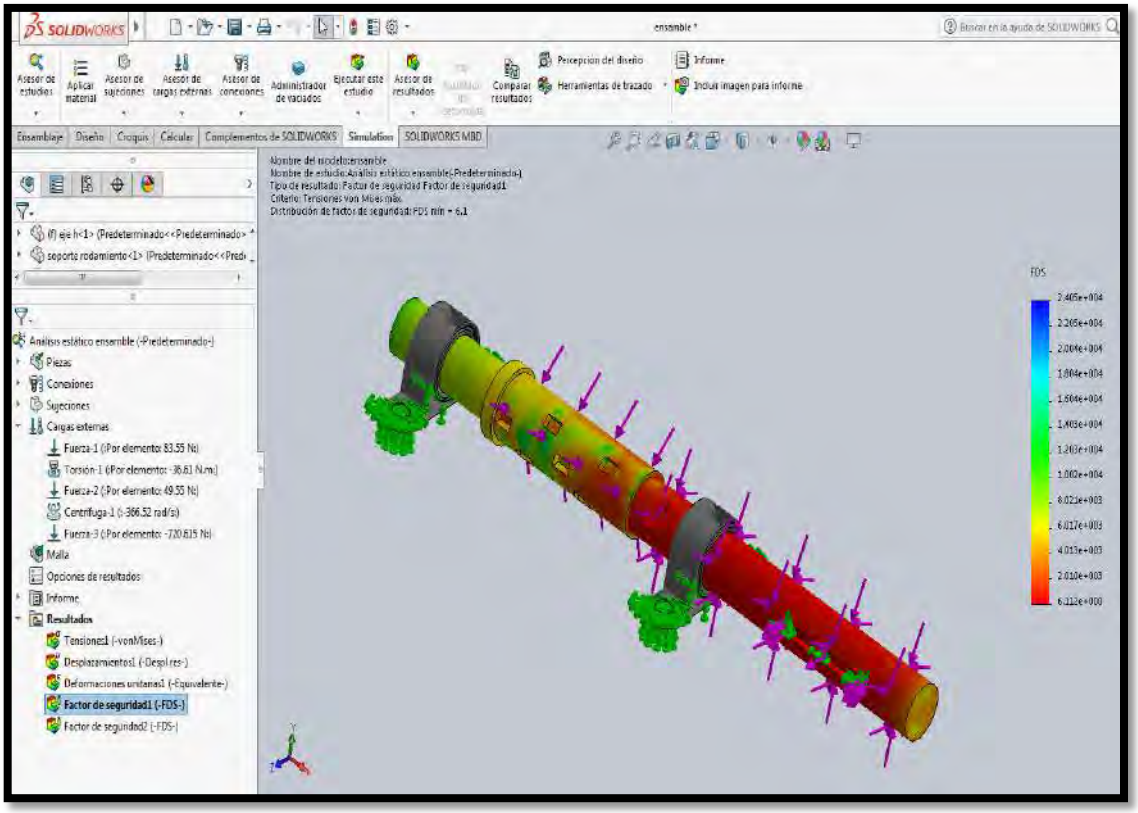



Figura 129. Factor de seguridad tensiones Von Mises máximo.
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2. Análisis en fatiga

Anteriormente se hizo un análisis estático de simulación del ensamblaje, donde los resultados son efecto de las condiciones que presentan los elementos en el sistema desde el punto de vista de los diferentes criterios. En este apartado se establecen otras condiciones para el sistema, propias del análisis a realizar, llamadas cargas por fatiga o sucesos, referidas en este caso a las fluctuaciones que tiene el ensamblaje en rotación por efecto de las cargas. Las cargas o sucesos se definen con los siguientes valores para la simulación:

Carga: 1000000 ciclos

Completamente invertida: LR = -1

El indicar que la carga es completamente invertida, se define que el sistema a simular está sometido de igual forma a esfuerzos de compresión como de tracción.

A continuación, se muestra la Figura 130:

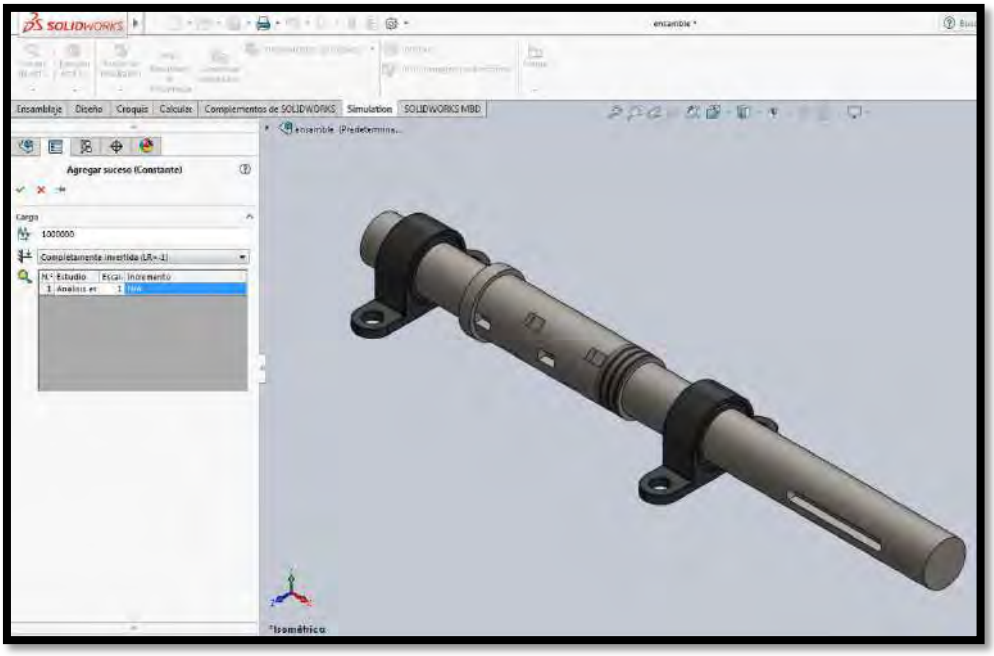


Figura 130. Definición de cargas por fatiga.
Fuente: Elaboración propia.

Seguido se seleccionan las curvas según el acero para la simulación de la pieza. A continuación, se muestra la Figura 131:

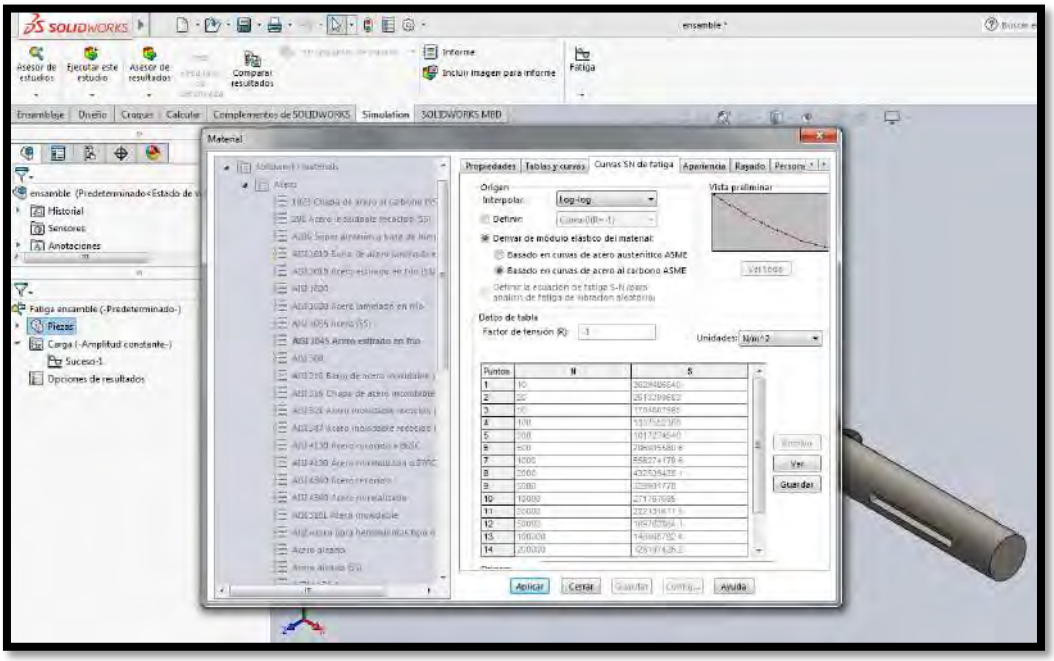


Figura 131. Definición de curvas SN.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidas las condiciones de simulación se ejecuta el estudio, obteniendo los siguientes resultados:

#### 5.2.2.1. Vida

Este resultado representa la vida total, en ciclos, de los elementos del ensamblaje frente a los esfuerzos por fatiga a los que están sometidos.

En la parte derecha se muestra una barra de colores, indicando de color naranja los puntos o zonas que tienen un número mínimo de ciclos de vida posible y de color azul, los de un número máximo de ciclos de vida posible, en este caso igual a 1000000 ciclos, valor de carga establecido. Toda la barra de colores indica el mismo valor y el ensamblaje muestra un color azul, uniformemente, señalando que se presenta una vida total igual al número de ciclos establecido para el estudio.

A continuación, se muestra la Figura 132 del resultado:

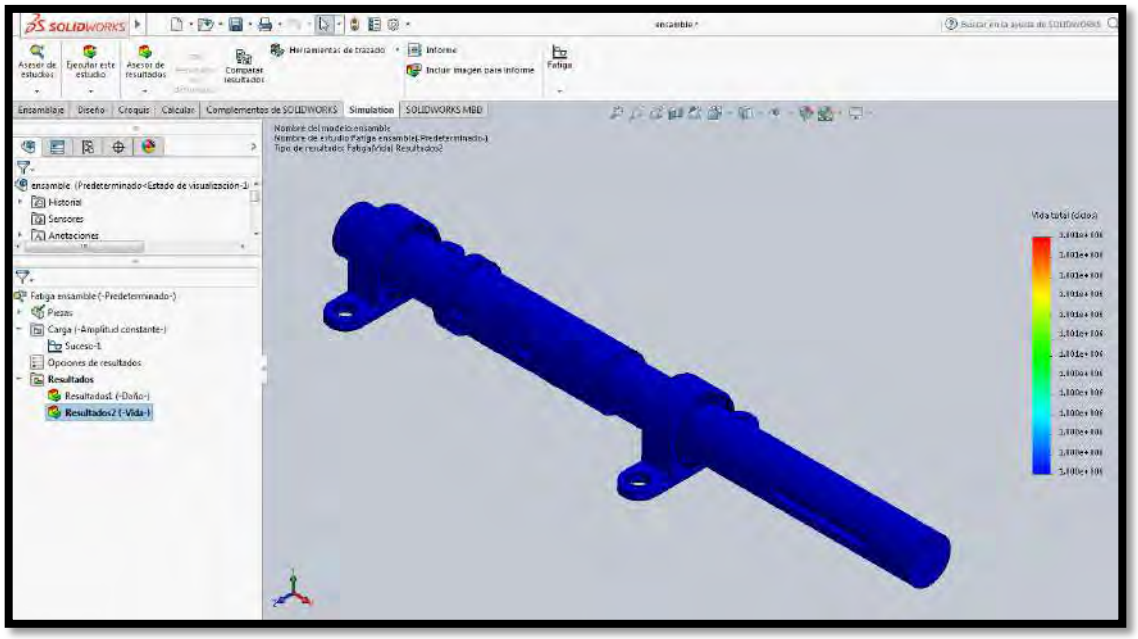



Figura 132. Resultado de vida total en ciclos.
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.2.2. Factor de carga

Este resultado representa el factor de carga permisible que tienen los elementos del ensamblaje frente a los esfuerzos por fatiga a los que están sometidos, también puede ser interpretado como el factor de seguridad que tienen los elementos frente a los esfuerzos por fatiga a los que están sometidos.

En la parte derecha se muestra una barra de colores, indicando de color naranja los puntos o zonas que tienen un mínimo factor de carga o de seguridad posible, indicando que en estas zonas no es posible añadir o agregar más carga; y de color azul, los de un factor de carga máximo,

indicando que estos puntos o zonas pueden soportar cargas agregadas según el factor.

Máximo: 5340
Mínimo: 1.094

Un valor de factor de carga menor a 1 indica falla. A continuación, se muestra la Figura 133 del resultado:

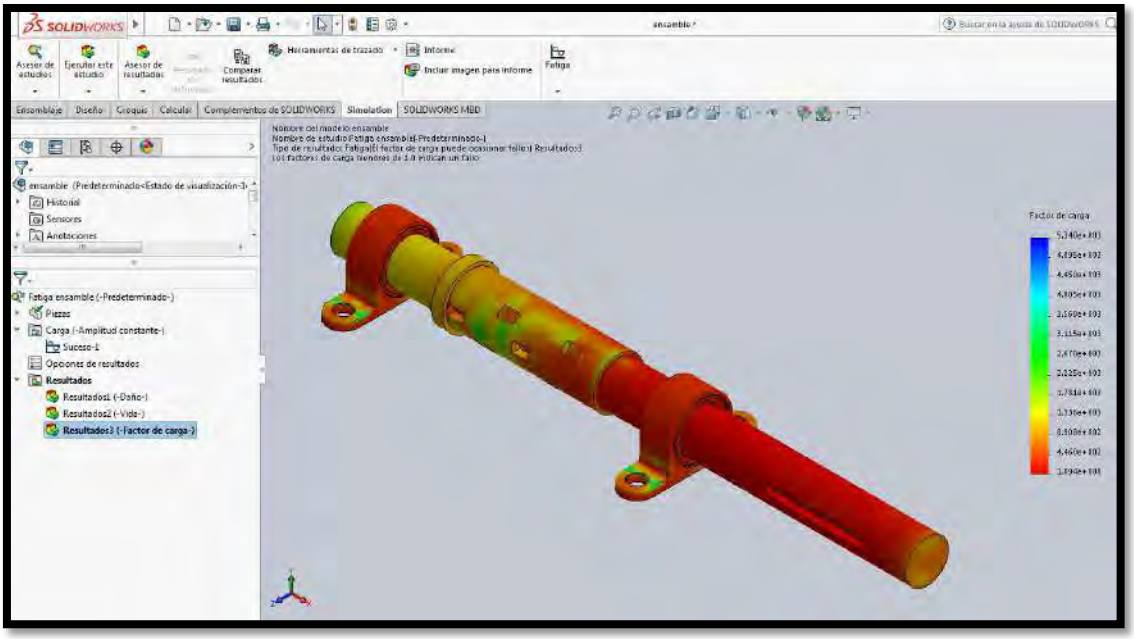



Figura 133. Resultado de Factor de carga.
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3. Comentario de resultados

El complemento Simulation de Solidworks es de gran apoyo para el diseño, muestra el comportamiento de los elementos y del ensamblaje según sea el análisis, estático o en fatiga; los resultados obtenidos en cada análisis respectivo, presentan de acuerdo al criterio, valores máximos y mínimos, valores que se interpretan como indicadores de un diseño confiable, ajustado o de fracaso. Estos valores, indicadores, son de gran ayuda para definir o rectificar, condiciones, dimensiones y material, en el diseño, sin confeccionarlo.

Los diferentes resultados obtenidos en la simulación según el análisis, indican que el diseño obtenido en este estudio de tesis es confiable, significando que su confección es viable. El eje del molino de 12 martillos en material AISI 1045 (H-V945, aceros Bohler) con características mecánicas inferiores al AISI 4140 H (VCL-V320, aceros Bohler) y con dimensión definida en este estudio, se comportaría de manera óptima para su función.

Cabe indicar, que en este estudio de tesis se proponen ambos aceros como opciones para elección de material de confección de eje, se optó por simular con el acero que

presenta características mecánicas inferiores, por razones de asegurar la confianza de los diseños propuestos.

Se presentan los informes emitidos por el software Solidworks según el análisis de simulación para el ensamblaje, Apéndice B, análisis estático, y Apéndice C, análisis en fatiga.

# Conclusiones

La necesidad de obtener partículas reducidas o desintegradas de productos y materiales, desde la existencia del hombre, permitió la evolución de herramientas a máquinas, molinos, que cumplen esta función de manera eficiente.

Muchas de las industrias, actualmente, necesitan al menos un proceso de molienda para la obtención de su producto final, por lo que los molinos cumplen un rol importante dentro de estas industrias, permitiendo cumplir con la expectativa del consumidor.

Los diferentes tipos de molinos que existen actualmente, tienen características que les determina para una aplicación específica, definiendo así, su uso en determinada industria y objetivo dentro de ella.

Los molinos de martillos, indistintamente de martillos fijos o movibles, son muy usados en el día a día, el producto obtenido por ellos se encuentra orientado mayormente al mercado de alimentos, como condimentos, alimento para aves, elaboración de menestras, bebidas, harinas variadas procedentes de maíz, soya, algarroba, trigo, maca, entre otros granos.

En las visitas a campo y búsqueda de información en textos e internet sobre confección de molinos de tipo de martillos fijos para molienda de grano, se contó mayormente con información que se podía rescatar de la experiencia y funcionalidad de alguno de ellos, lo que motivó a realizar este trabajo de tesis y aportar con un estudio de aplicación de ingeniería para este rubro.

Este estudio se basa en sustentar un diseño confiable de esta máquina a partir de la información obtenida de los prototipos de molinos eficientes de martillos fijos para molienda de grano.

1. La aplicación de teorías de diseño y de máquinas, y de conocimiento de propiedades mecánicas de materiales, permite definir y calcular los valores de los elementos que componen un molino de martillos fijos para grano de manera justificada, considerando la función que cumplen dentro del sistema.

2. En esta tesis se calcula la potencia de motor del molino de tipo de martillos fijos para molienda de grano, aplicando las leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño, ley de Kick, ley de Rittinger y ley de Bond; resultando usar el

valor obtenido por la ley de Bond, por ser coincidente, su aplicación con el rango de trabajo para el diseño de molino.

3. Para el cálculo del diámetro de eje del molino, se aplica la fórmula propuesta por la A.S.M.E. para ejes sometidos a torsión, flexión y carga axial, por su simplicidad, y considerar factores y detalles que permiten obtener un resultado más aproximado a lo real.

4. En este trabajo se presentan las fórmulas, relaciones y criterios para calcular y definir los valores necesarios para la elección de los componentes principales de un molino de tipo de martillos fijos para molienda de grano, como son: chumaceras y rodamientos, medidas de fajas o correas y poleas del sistema de transmisión de potencia, dimensiones de canales de cuñas o chavetas; para tener una vida infinita. En el caso de las fajas, valores y cantidad de ellas que soporten las fuerzas sin estar sometidas a sobreesfuerzos, asegurando una larga vida.

5. Esta tesis se complementa con una simulación en Simulation del software Solidworks, el ensamblaje simulado compuesto por el eje en uno de los aceros propuestos con menores propiedades mecánicas (H-V945, aceros Bohler) y chumaceras de fundición gris, de un caso particular de molino según un número de martillos, permite sustentar que los cálculos de diseño expuestos son acertados a través de los resultados obtenidos tanto en análisis estático y análisis en fatiga.

# Bibliografía


**Libros**

Bermeo Martínez, D.C. Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas, Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí, Ecuador. Pág. 2

Budynas, R.G. & Nisbett J.K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9ª ed.) Mexico D.F.: Editorial Mc Graw Hill. (pp. 94, 211, 216, 372-377, 866)

Hamrock. *Elementos de máquinas* (4ª ed.).: Ed. McGraw Hill.

Ing. Hori A., J. *Diseño de Elementos de Máquinas* (5ª ed.) (pág. 217). Lima.

Juvinall (1996). *Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica*.: Editorial Limusa.

Mott, R.L. *Diseño de elementos de máquinas* (2ª ed.).: Editorial Pearson Prentice Hall. (Pág. 291)

Shigley, J.E. & Uicker Jr., J.J. (1988). *Teoría de máquinas y mecanismos*.: Editorial Mc Graw Hill.

**Revistas**

Schlanz, J.W. (1987). *Grinding: an Overview of operation and design*. North Caroline State University, 2 - 5.

**Páginas Web**

El molino (s/F). Evolución del molino. Mensaje publicado en http://millcompany.blogspot.pe/2014/10/evolucion-del-molino.html

García, A. (s/f). La edad de piedra. Mensaje publicado en https://anagarcia97.wordpress.com/neolitico/

Gebr. Pfeiffer (s/f). Recuperado agosto 2018, de https://www.gebr-pfeiffer.com/es/

Historia de la molinería (s/f). Recuperado agosto 2018, de http://www.fcalapurisima.com/p/historia-de-la-molineria.html

Industrias I (2015). Molienda. Recuperado septiembre 2018, de http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf

Liming Heavy Industry Plantas chancadoras (s/f). Recuperado septiembre 2018, de http://www.chancadoras.org/productos/molino-de-martillos.html

Mesa, M.P., Muñoz, S., Palacios, X. & Ramirez, C. (s/f). Molienda. Molienda: caracterización y equipos de operación. Recuperado septiembre 2018, de http://es.slideshare.net/ivanramma/molienda-4

Pascual González, H. (s/f). Desde la edad de los metales hasta Roma. Mensaje publicado en http://www.vallenajerilla.com/berceo/rioja-abierta/bronce/metales.htm

Retsch (s/f), Recuperado septiembre 2018, de https://www.retsch.es/es/

Tormo Capsir, J.R. (s/f). Mesolítico: una época de cambios. Mensaje publicado en https://sites.google.com/site/historiaalimentacion/mesolitico-una-epoca-de-cambios

Trituradoras de roca (s/f). Recuperado agosto 2018, de http://trituradoras-de-roca.com/noticias/1493.html

# Anexos

## Anexo A. Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas

# "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS"

Bermeo Martínez Diana Carolina.

*Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE*

***Resumen—*** ***El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un molino de tipo martillos, que tenga una capacidad aproximada de 10 quintales por hora, con la finalidad de triturar granos como: maíz duro (morochillo), trigo, soya, etc., para la alimentación de pollos camperos.***

***Para el diseño de los elementos mecánicos que forman parte del molino de martillos se determinaron las fuerzas a las que se encuentran sometidos. De acuerdo al principio de funcionamiento de molinos de martillos, la principal fuerza presente en el sistema es la fuerza centrífuga.***

***Así los principales elementos que componen un sistema de molinos de martillos son: sistema de trituración, tolvas de alimentación y descarga, bastidor, sistema de transmisión de potencia, y sistema eléctrico.***

*Palabras claves*—**Molino de Martillos, Triturar, Fuerza Centrífuga, Sistema de trituración.**

## I. Introducción

El diseño y construcción de un molino de martillos para granjas avícolas. tiene el objetivo de reducir costos de producción de las aves, debido a que triturar el alimento para los pollos en moliendas ajenas a la granja representa un aumento significativo.

El principio de funcionamiento de un molino de martillos no es complejo, e inicia por la boca superior por donde ingresa el producto a ser triturado y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, el eje gira a gran velocidad y por presencia de la fuerza centrífuga los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo, los martillos golpean el producto que se encuentra en el interior del molino, posteriormente choca contra la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos. este proceso ocurre sucesivamente hasta que el producto alcance un tamaño tal que pueda pasar por la criba o rejilla

Para el diseño de los elementos mecánicos que forman parte del molino se determinan las fuerzas a las que se encuentran sometidos. De acuerdo al principio de funcionamiento de molinos de martillos, la principal fuerza presente en el sistema es la fuerza centrífuga, la misma que se determina en base a la velocidad angular y radio de giro del molino.

Los factores de diseño que se toman en cuenta para este proyecto, son los que se detallan a continuación: la capacidad del molino de martillos es 10 quintales por hora, el molino estará en funcionamiento aproximadamente 5 horas al día y trabajo intermitente, la velocidad angular del molino es de 3000 rpm., el sistema de transmisión de potencia se lo realiza por medio de bandas de transmisión, este sistema es de elevación de velocidad, en donde la velocidad del motor es 1750 rpm y la velocidad del molino 3000 rpm como se estableció anteriormente, es importante tomar en cuenta que para el diseño de los elementos mecánicos el factor de seguridad aceptable es mínimo de 3

## II. Marco Teórico

### *A. Molino de Martillos Definición*

El molino de martillos es una máquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión, tienen la ventaja de ser capaz de procesar muchos tipos de materiales, así como la producción de partículas de diversos tamaños, simplemente cambiando la pantalla de salida.

### *B. Partes Constitutivas de un Molino de Martillos*

Las partes primordiales que constituyen un molino de martillos, y que se realiza el estudio en este proyecto son: las tolvas de alimentación y descarga, el bastidor, el sistema de transmisión de potencia, el sistema eléctrico y el el sistema de trituración

El sistema de trituración es el alma del molino y está formado por 4 discos porta martillos, 4 ejes secundarios, 36 herramientas de percusión y el eje principal. este conjunto de elementos es accionado por un motor eléctrico.

## III. Diseño Mecánico y Eléctrico

Previo al diseño de los elementos mecánicos, se obtienen datos importantes como: la fuerza de corte del morochillo $F_c \approx 36$ N, el sistema de trituración está formado por 36 martillos, velocidad tangencial de los martillos $v_t = 59\ \frac{m}{s}$, radio de giro, Rg = 18cm, longitud del martillo L = 10 cm, fuerza centrífuga $F_{cf} = 1027{,}62$ N

*Diseño de la herramienta de percusión- martillos.*

El diseño de la herramienta consiste básicamente del cálculo de sus medidas (Fig.1), el material que se utiliza para los martillos es AISI 01, por ser éste adecuado para herramientas de molinos. Se parte calculando la masa necesaria que deben tener los martillos $m_m = \frac{F_c * 3}{\propto * L} = 0{,}137\ kg$, una vez que se obtiene la masa del martillo se establece un espesor de la herramienta en base al tamaño del producto a ser triturado $e = 0{,}47\ cm$, para el cálculo del ancho de la herramienta se utiliza la siguiente ecuación $a = \frac{m_m}{\rho * e * L} = 3{,}7\ cm$.

Fig. 1. Geometría de la herramienta de percusión

*A. Diseño del eje secundario.*

Los ejes secundarios soportan los martillos; por lo tanto las fuerzas a las que se encuentran sometidos son: la fuerza centrífuga y el peso de los martillos $F_y = F_{cf} + W_m$ como se observa en la figura 2. Los discos representan los apoyos del eje secundario; por lo tanto se analiza un segmento del mismo que comprende 3 martillos y dos apoyos.

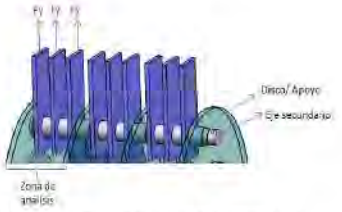



Fig. 2. Fuerzas presentes en el eje secundario

El material que se utiliza para el eje secundario es AISI 1018, y el diámetro que se establece es de $d = \frac{5}{8}\ in$, la longitud del segmento en análisis es 6,2 cm, tomando en cuenta estos parámetros se realiza el análisis estático mediante software CAD, SolidWorks.

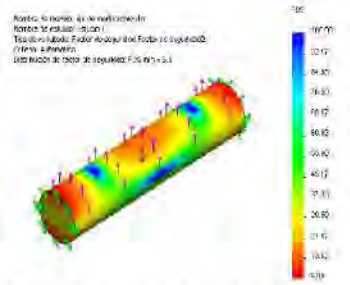


Fig. 3. Factor de seguridad del eje secundario

En la Fig. 3, se puede apreciar el resultado del análisis estático del eje secundario, el mismo que se somete a cargas reales y da como resultado un factor de seguridad de 6,5.

*B. Diseño de los Discos*

Los discos son elementos que soportan los ejes secundarios, el diámetro del disco depende del radio de giro y la longitud del martillo. Para el análisis estático de los discos se tiene las siguientes características: diámetro 22cm, material ASTM A36, espesor 4 mm, por otro lado las fuerzas que soportan los discos son las reacciones presentes en los ejes secundarios.

$R_1 = 3{,}07\ KN, \quad R_2 = 3.09\ KN, \quad R_3 = R_5 + R_6 = 3.08\ KN$

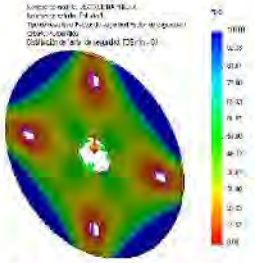


Fig. 4. Factor de seguridad del Disco

El resultado del análisis estático del disco, se presenta en la figura 4, en la que se observa que el disco sometido a cargas reales del sistema tiene un factor de seguridad de 8.

*C. Potencia del Motor*

Para el cálculo de la potencia del motor, se debe sumar la potencia en vacío P y la potencia de carga, para lo cual se tiene las siguientes ecuaciones:

$$P = \frac{W_m * R^2 * n^3 * B * f}{8 * 100\,000 * \eta * \eta_m} \qquad E = k * f * \left[\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1}\right]$$

$$P_{carga} = Capacidad * E$$

En donde: #: número de martillos, n: rpm del rotor, $f$= factor dependiente de la velocidad de rotación de los martillos $\eta$: rendimiento mecánico por transmisión. $\eta_m$: rendimiento del

motor, k: Constante Rittinger, f : Factor que depende del tipo de molienda, seca o húmeda. $d_1$, $d_2$: Diámetro del producto de entrada y de salida respectivamente.

$$P_{motor} = 5HP$$

*D. Diseño del eje principal*

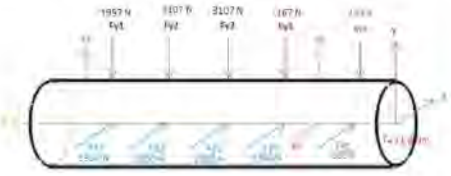


Fig. 5. Fuerzas presentes en el eje principal

El eje principal soporta las fuerzas flexionantes por la presencia de la polea del sistema de transmisión, las fuerzas del sistema de transmisión, las reacciones de los apoyos, además soporta el torque del motor (ver figura 5). El material del eje es acero AISI 1018 .Para calcular el diámetro del eje principal se tiene la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{s'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}\right]^{\frac{1}{3}}$$

El momento máximo resultante es es $M = 465{,}98\,Nm$, mientras que la resistencia a la fatiga real estimada se calcula con la siguiente ecuación $s'_n = s_n * C_m * C_{st} * C_R * C_s = 191{,}25\,MPa$. Para un factor de seguridad $N = 3$, se obtiene un eje de 40 mm de diámetro.

*E. Diseño del Bastidor*

El bastidor aloja elementos como el sistema de trituración, las chumaceras, entre otros, por lo tanto soporta las reacciones de la dinámica del sistema. La fuerza a la que se encuentra sometido el bastidor es la fuerza presente en los apoyos del eje principal $P = 5.21\,KN$, el material de construcción del bastidor es ASTM A36, y espesor de 4 mm.

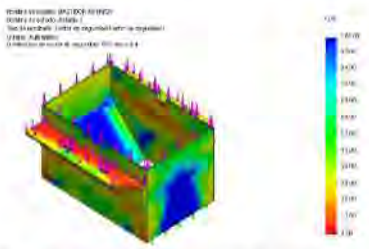


Fig. 6. Factor de seguridad de la tolva de alimentación

En la figura 6 se presenta el resultado del análisis estático que se realiza en el programa SolidWorks y se obtiene un factor de seguridad de 4,4 para las condiciones reales del bastidor.

*F. Diseño de las tolvas*

La principal característica de las tolvas de alimentación y de descarga es el ángulo de inclinación, el mismo que depende del coeficiente de fricción (μ), en este caso entre el grano y el acero y se calcula con la siguiente ecuación $\theta = \tan^{-1}(\mu) = 18{,}7°$.

El material de las tolvas es de acero ASTM A36, la tolva de alimentación tiene una capacidaad de $W = 176{,}4\,N$, y su espesor es de 2mm,de acuerdo a estas consideraciones se realiza el análisis estático.

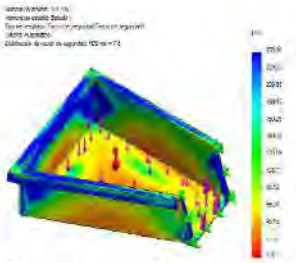


Fig. 7. Factor de seguridad de la tolva de alimentación

Según la figura 7 el factor de seguridad de la tolva de alimentación es de 7,8 para su capacidad máxima.

*G. Ensamble General en SolidWorks.*

Fig. 8. Ensamble general del molino de martillos

Una vez realizado el análisis y diseño de los componentes, se realiza el ensamble general del molino de martillos como se presenta en la figura 8, y se somete a pruebas de simulación de movimiento, con lo cual se comprueba si el molino funciona de manera adecuada.

## IV. Conclusiones

Se diseñó los diferentes elementos mecánicos que forman parte del molino de martillos, el diseño se realizó tomando en cuenta factores económicos, de seguridad, eficiencia y manufactura práctica.

El diseño del molino de martillos realizado, da como resultado la producción de 10 quintales por hora de morochillo triturado, de tamaño grueso y medio, siendo ésta la capacidad preestablecida al inicio del proyecto.

El molino diseñado en este proyecto tiene como finalidad, triturar granos para consumo animal; no está apto para consumo humano; si se desease utilizar para consumo humano se debería utilizar acero inoxidable como material primordial en su construcción.

## V. Recomendaciones

Para el diseño de los elementos del molino de martillos se estableció un factor de seguridad mínimo de 3; para producción a gran escala de molinos de martillos, se recomienda que el factor de seguridad de los elementos diseñados se reduzcan a 3, esto ayudaría a minimizar costos de producción.

La trituración de granos secos, genera determinada cantidad de harina, la misma que no siempre es aprovechada al máximo; por lo cual se recomienda implementar un sistema de absorción de harina, que puede ser acoplado al motor del molino.

## Referencias


[1] V. Hopp, Fundamentos de Tecnología Química, Madrid: Reverté S.A, 2005.

[2] J. Ortiz Cañavate, Las Máquinas Agrícolas y su Aplicación, España: Undiprensa, 2003.

[3] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Pearson S.A, 2006.

[4] D. Walter, Manual Tecnológico del cemento, Barcelona: Reverté S.A, 2003.

[5] R. Cuadrado Moncayo y J. Rueda Castillo, Diseño y Construcción de un Molino de Martillos, Quito, 2009.

[6] B. Costales, Diseño, Elaboración y Evaluación de Proyectos, Quito: Agil Print, 2003.


## Biografía

**Bermeo Martínez Diana Carolina**, nació en Quito-Pichincha

Cursó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior "Victoria Vásconez Cuvi", en donde logro el título de Bachiller especialización Físico Matemático

Sus estudios superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE extensión Latacunga, en donde obtuvo el título de Ingeniera Electromecánica.

**Anexo B. Catálogo de productos – Aceros Arequipa**

## Barras Cuadradas

| DIMENSIONES | |
|---|---|
| Sistema Inglés (pulgadas) | Sistema Métrico (mm) |
| 1/4 | 9 |
| 3/4 | 12 |
| 7/8 | 15 |
| 1 | |

NORMAS TÉCNICAS:
Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / 36M.
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4.

PRESENTACIÓN:
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

USOS:
Estructuras metálicas de todo tipo, construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventanas, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas, adornos, herramientas (martillos, terrazas, cinceles, etc).

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm². (*)
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm² (*)
Alargamiento en 200 mm:
Espesores
1/4" = 17.0 % mínimo
9 mm, 12 mm, 15 mm, 3/4", 7/8" y 1" = 20.0 % mínimo
Doblado a 180° = Bueno
Soldabilidad = Buena

(*) Para cuadrados de 1/4" y 9 mm, la Resistencia a la Tracción mínima es de 3,000 kg/cm² y el Límite de Fluencia mínimo es de 1500 kg/cm².

## Barras Cuadradas Ornamentales

| DIMENSIONES |
|---|
| Sistema Métrico (mm) |
| 9 |
| 12 |
| 15 |

NORMAS TÉCNICAS:
Composición Química y Propiedades Mecánicas: ASTM A36 / A36M
Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

PRESENTACIÓN:
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

USOS:
Estructuras metálicas de todo tipo, a las cuales se les quiera dar un toque artístico o diferencial; construcción de puertas, portones, cercos, marcos de ventana, rejas de protección y decorativas, barandas, carpintería metálica artística, muebles, mesas, sillas y adornos. Pueden usarse rectas o torcionadas.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm² (*)
Resistencia a la Tracción mínimo = 4,080 - 5,620 kg/cm² (*)
Alargamiento en 200 mm = 20.0 % mínimo
Doblado a 180° = Bueno
Soldabilidad = Buena

(*) Para cuadrados de 9mm, la Resistencia a la Tracción mínima es de 3,000 kg/cm², y el Límite de Fluencia mínimo es de 1,500 kg/cm².

## Tees

| DIMENSIONES | |
|---|---|
| Sistema Métrico (mm) | Sistema Inglés (pulgadas) |
| 20 x 20 x 3.0 | 1 1/4 x 1 1/4 x 1/8 |
| 25 x 25 x 3.0 | 1 1/2 x 1 1/2 x 1/8 |
| | 1 1/2 x 1 1/2 x 3/16 |
| | 2 x 2 x 1/4 |

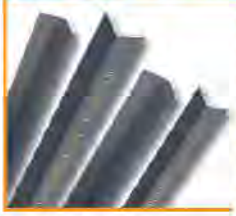
NORMAS TÉCNICAS:
Sistema Inglés : - Propiedades Mecánicas : ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales :AS TM A6 / A6M
Sistema Métrico: - Propiedades Mecánicas : ASTM A36 / A36M
- Tolerancias Dimensionales: DIN 1024

PRESENTACIÓN:
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

USOS:
Estructuras de construcción civil, torres de transmisión, tijerales, construcción de puertas, rejas de seguridad, marcos de ventana, etc.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm²
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm²
Alargamiento en 200 mm:
3,0 mm y 1/8" = 12.5 % mínimo
3/16" = 15.0 % mínimo
1/4" = 17.5 % mínimo
Soldabilidad = Buena.

## ngulos de Alta Resistencia



| DIMENSIONES | |
|---|---|
| Sistema Inglés (pulgadas) | |
| 2 x 2 x 1/8 | 3 x 3 x 1/4 |
| 2 x 2 x 3/16 | 3 x 3 x 5/16 |
| 2 x 2 x 1/4 | 3 x 3 x 3/8 |
| 2 x 2 x 5/16 | 3 x 3 x 1/2 |
| 2 x 2 x 3/8 | 3 x 3 x 1/2 |
| 2 1/2 x 2 1/2 x 3/16 | 4 x 4 x 1/4 |
| 2 1/2 x 2 1/2 x 1/4 | 4 x 4 x 5/16 |
| 2 1/2 x 2 1/2 x 5/16 | 4 x 4 x 3/8 |
| 2 1/2 x 2 1/2 x 3/8 | 4 x 4 x 1/2 |

NORMA TÉCNICA:
ASTM A572 Grado 50.

PRESENTACIÓN:
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en varillas y en paquetones de 2 TM, los cuales están formados por 2 paquetes de 1 TM c/u.

DESCRIPCIÓN:
Producto de acero microaleado laminado en caliente, cuya transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.

USOS:
En la fabricación de estructuras de acero de alta resistencia y de poco peso. Son muy resistentes y vuelven más ligeras las estructuras como: torres de transmisión, vigas, viguetas, pórticos de celosía, plantas industriales, almacenes, techado de grandes luces, industria naval, carrocería, etc.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 3,520 kg/cm² (50,000 lbs/pulg²).
Resistencia a la Tracción = 4,580 kg/cm² (65,000 lbs/pulg²) mínimo.
Alargamiento en 200 mm:
1/8" = 12.5 % mínimo
3/16" = 13.0 % mínimo
1/4" = 15.5 % mínimo
5/16" = 18.0 % mínimo
3/8" y 1/2" = 20.0 % mínimo
Soldabilidad = Buena, sin precauciones.

# productos planos

Son comercializados con la garantía de Corporación Aceros Arequipa y bajo un estricto cumplimiento de las Normas ISO 9000.

## PLANCHAS Y BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE

### Planchas Delgadas LAC

Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación, de espesores menores que 4.75 mm.

DIMENSIONES NOMINALES (1)

| Calidad Comercial PDLAC 1011 TB (mm) | Calidad Estructural PDLAC A36 (mm) |
|---|---|
| 1.8 x 1,000 x 2,400 | 3.0 x 1,500 x 6,000 |
| 1.9 x 1,000 x 2,400 | 4.0 x 1,500 x 6,000 |
| 2.0 x 1,100 x 2,400 | 4.5 x 1,200 x 2,400 |
| 2.0 x 1,200 x 2,400 | 4.5 x 1,200 x 6,000 |
| 2.2 x 1,200 x 2,400 | 4.5 x 1,500 x 6,000 |
| 2.3 x 1,200 x 2,400 | |
| 2.4 x 1,200 x 2,400 | |
| 2.5 x 12,00 x 2,400 | |
| 2.8 x 1,200 x 2,400 | |
| 2.9 x 1,200 x 2,400 | |
| 3.0 x 1,200 x 2,400 | |
| 4.0 x 1,200 x 2,400 | |
| 4.4 x 1,200 x 2,400 | |

NORMAS TECNICAS
Comercial : ASTM A1011 TB
Estructural : ASTM A36

PROPIEDADES MECANICAS:
Comercial:
Límite de Fluencia mínimo = 2,110 - 3,510 kg/cm² (*)
Alargamiento en 50 mm = 25.0 % mínimo (*)
Doblado = a 180°

Estructural
Límite de Fluencia mínimo = 2,550 kg/cm² (*)
Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,610 kg/cm²
Alargamiento en 50 mm = 20.0 % mínimo
Doblado = a 180° (opcional).
Diámetro Pin = 3a. Sentido Laminación

(*) Referencial
(1) Previa consulta y a pedido, también se suministran en otras longitudes.

USOS
Construcción de silos, embarcaciones pesqueras, vagones, estructuras y usos en general

### Planchas Gruesas LAC

Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación de espesores mayores que 4.75 mm.

DIMENSIONES NOMINALES (1)

| PDLAC A1011 Tipo B (mm) | | PDLAC A36 (mm) | | PDLAC A36 (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 5.9 x 1,200 x 2,400 | 9.0 x 1,500 x 6,000 | 6.0 x 1,200 x 2,400 | 32.0 x 1,500 x 6,000 | 16.0 x 2,400 x 6,000 |
| 8.0 x 1,200 x 2,400 | 9.0 x 2,400 x 6,000 | 6.0 x 1,200 x 6,000 | 32.0 x 2,400 x 6,000 | 16.0 x 3,000 x 6,000 |
| 8.0 x 2,400 x 6,000 | 9.0 x 3,000 x 6,000 | 19.0 x 1,200 x 2,400 | 32.0 x 3,000 x 6,000 | |
| 8.0 x 1,200 x 2,400 | 12.0 x 1,200 x 2,400 | 19.0 x 1,500 x 6,000 | 38.0 x 1,500 x 6,000 | |
| 8.0 x 1,200 x 6,000 | 12.0 x 1,500 x 6,000 | 19.0 x 2,400 x 6,000 | 38.0 x 2,400 x 6,000 | |
| 8.0 x 1,500 x 6,000 | 12.0 x 2,400 x 6,000 | 19.0 x 3,000 x 6,000 | 38.0 x 3,000 x 6,000 | |
| 8.0 x 2,400 x 6,000 | 12.0 x 3,000 x 6,000 | 25.0 x 1,200 x 2,400 | 60.0 x 1,500 x 6,000 | |
| 8.0 x 3,000 x 6,000 | 16.0 x 1,200 x 2,400 | 25.0 x 1,500 x 6,000 | 60.0 x 2,400 x 6,000 | |
| 9.0 x 1,200 x 2,400 | 16.0 x 1,500 x 6,000 | 25.0 x 2,400 x 6,000 | 60.0 x 3,000 x 6,000 | |
| 9.0 x 1,200 x 6,000 | | 25.0 x 3,000 x 6,000 | | |

NORMAS TÉCNICAS
Comercial ASTM A1011 Tipo B
Estructural ASTM A36

USOS:
Construcción de silos, plataformas, embarcaciones, equipamiento pesado, carrocerías, etc.

(1)Previa consulta y a pedido, también se suministra en otras longitudes.

### Planchas Estriadas LAC

| DIMENSIONES NOMINALES PLACA A 1011 TB |
|---|
| 2.5 x 1,000 x 2,400 mm |
| 2.5 x 1,200 x 2,400 mm |
| 2.9 x 1,000 x 2,400 mm |
| 2.9 x 1,200 x 2,400 mm |
| 4.4 x 1,200 x 2,400 mm |
| 5.9 x 1,200 x 2,400 mm |

NORMA TECNICA
ASTM A 786 / A 786M
Adicionalmente, estos productos cumplen con las exigencias de la norma estructural respectiva, como A 1011 / A 1011 M Tipo B.

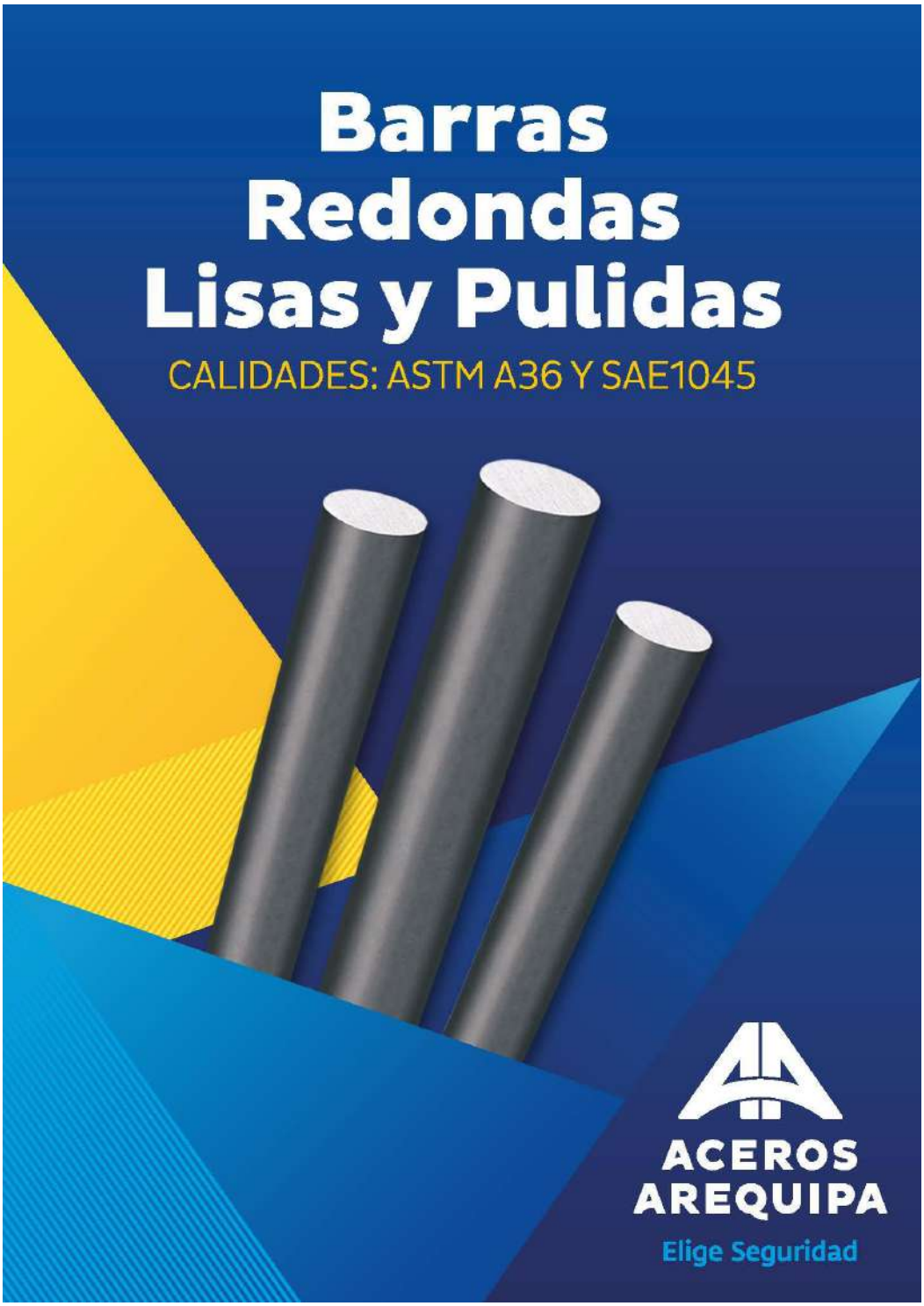
PRESENTACIÓN:
Las planchas vienen sueltas en función del espesor o en paquetes de 2.0 TM mínimo.
A solicitud del cliente se emiten certificados de calidad.

USOS
En la construcción de plataformas, pisos, escaleras, equipamiento de transporte y circulación, y estructuras en general.

PROPIEDADES MECANICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 2,110 - 3,510 kg/cm² (*)
Alargamiento = 25 % min. (*)
Doblado al frío = Sin fisura

(*) Valores referenciales.

**Anexo C. Barras redondas lisas y pulidas – Calidades ASTM A36 y SAE 1045 – Aceros Arequipa**



# Barras Redondas Lisas y Pulidas

## CALIDADES: ASTM A36 Y SAE1045

### DENOMINACIONES:

REDO LISO A36; REDO LISO SAE1045
REDO PULI A36; REDO PULI SAE1045

### DESCRIPCIÓN:

Producto laminado en caliente de sección circular, de superficie lisa y pulida (según requerimiento).

### USOS:

| CALIDAD | USOS |
|---|---|
| ASTM A36 | Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc. |
| SAE 1045 | Pernos y tuercas por recalcado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc. |

### NORMAS TÉCNICAS:

- ASTM A36 / A36M
- SAE J403
- ISO 1035 / 4

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

- Barras de diámetros ≤ a 1": ISO 1035/4
- Barras de diámetros > a 1": ASTM A6

### PRESENTACIÓN:

- Se produce en longitudes de 6 metros.(*)
- Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas.
- Se suministra en paquetones de 2 TM.
- La calidad 1045 se identifica con los colores blanco o blanco y negro.
- La calidad A36 se identifica con los colores verde o verde y negro.

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES:

| DIÁMETRO NOMINAL (pulg) | PESO MÉTRICO Kg/m | PESO DE LA BARRA Kg/6m |
|---|---|---|
| 3/8 | 0.559 | 3.356 |
| 1/2 | 0.994 | 5.966 |
| 5/8 | 1.554 | 9.323 |
| 3/4 | 2.237 | 13.425 |
| 7/8 | 3.045 | 18.272 |
| 1 | 3.978 | 23.866 |
| 1 1/8 | 5.034 | 30.205 |
| 1 1/4 | 6.215 | 37.291 |
| 1 3/8 | 7.520 | 45.122 |
| 1 1/2 | 8.950 | 53.698 |
| 1 3/4 | 12.182 | 73.090 |
| 2 | 15.911 | 95.464 |
| 2 1/4 | 20.137 | 120.822 |
| 2 1/2 | 24.860 | 149.162 |

(*) También se produce en otras longitudes a pedido del cliente

### COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):

| NORMA | %C | %Mn | %Si | %P | %S |
|---|---|---|---|---|---|
| ASTM A36 | 0.26 máx. | 0.60 - 0.90(1) | 0.40 máx. | 0.04 máx. | 0.05 máx. |
| SAE 1045 | 0.43 - 0.50 | 0.60 - 0.90 | 0.15 - 0.25(2) | 0.030 máx. | 0.050 máx. |

(1) Para diámetros mayores que 3/4".
(2) Las barras con norma SAE 1045 contienen silicio a partir de 1 1/8".

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

| NORMA | LÍMITE DE FLUENCIA (Kg/cm²) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Kg/cm²) | ALARGAMIENTO EN 200 mm, mín (%) |
|---|---|---|---|
| ASTM A36 | 2,530 | 4,080 - 5,620 | 20.0 |
| SAE 1045(*) | 4,000 - 5,500 | 6,700 - 8,200 | 12.0 |

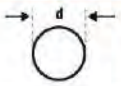
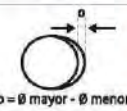
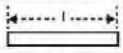
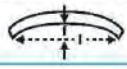
(*) Valores Típicos

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Barras de diámetro > 1"

| NORMA TÉCNICA | DIÁMETRO NOMINAL (d) | DIÁMETRO (d - mm) | OVALIZACIÓN (o - mm) máx. | DESVIACIÓN DE MÁXIMA DE RECTITUD (f - mm/m) | LONGITUD (L - mm) (*) |
|---|---|---|---|---|---|
| ASTM A6 | 1" < D ≤ 1 1/8" | ±0.25 | 0.38 | 4.16 | +50 -0 |
| | 1 1/8" < D ≤ 1 1/4" | ±0.28 | 0.41 | | |
| | 1 1/4" < D ≤ 1 3/8" | ±0.30 | 0.46 | | |
| | 1 3/8" < D ≤ 1 1/2" | ±0.36 | 0.53 | | |
| | 1 1/2" < D ≤ 2" | ±0.40 | 0.58 | | |
| | 2" < D ≤ 2 1/2" | +0.79/-0.0 | 0.58 | | |

Barras de diámetro ≤ 1"

| CARACTERÍSTICA DE CALIDAD | NORMA TÉCNICA ISO 1035/4 | GRÁFICOS |
|---|---|---|
| Dimensión Nominal (d)<br>d ≤ 1/2<br>1/2 < d ≤ 7/8<br>7/8 < d ≤ 1 | <br>± 0.4 mm<br>± 0.5 mm<br>± 0.6 mm |   |
| Ovalización (o)<br>d ≤ 1/2<br>1/2 < d ≤ 7/8<br>7/8 < d ≤ 1 | <br>0.60 mm máx.<br>0.75 mm máx.<br>0.90 mm máx. |   |
| Longitud De Barra (l)<br>3< l ≤ 12 m | 0 / + 50 mm |  |
| Desviación Máxima de Rectitud (f) | 4.0 mm/m máx. |  |

QCQA01-F106 / 01 / NOV 15 - QCQA01-F134 / 01 / NOV 15

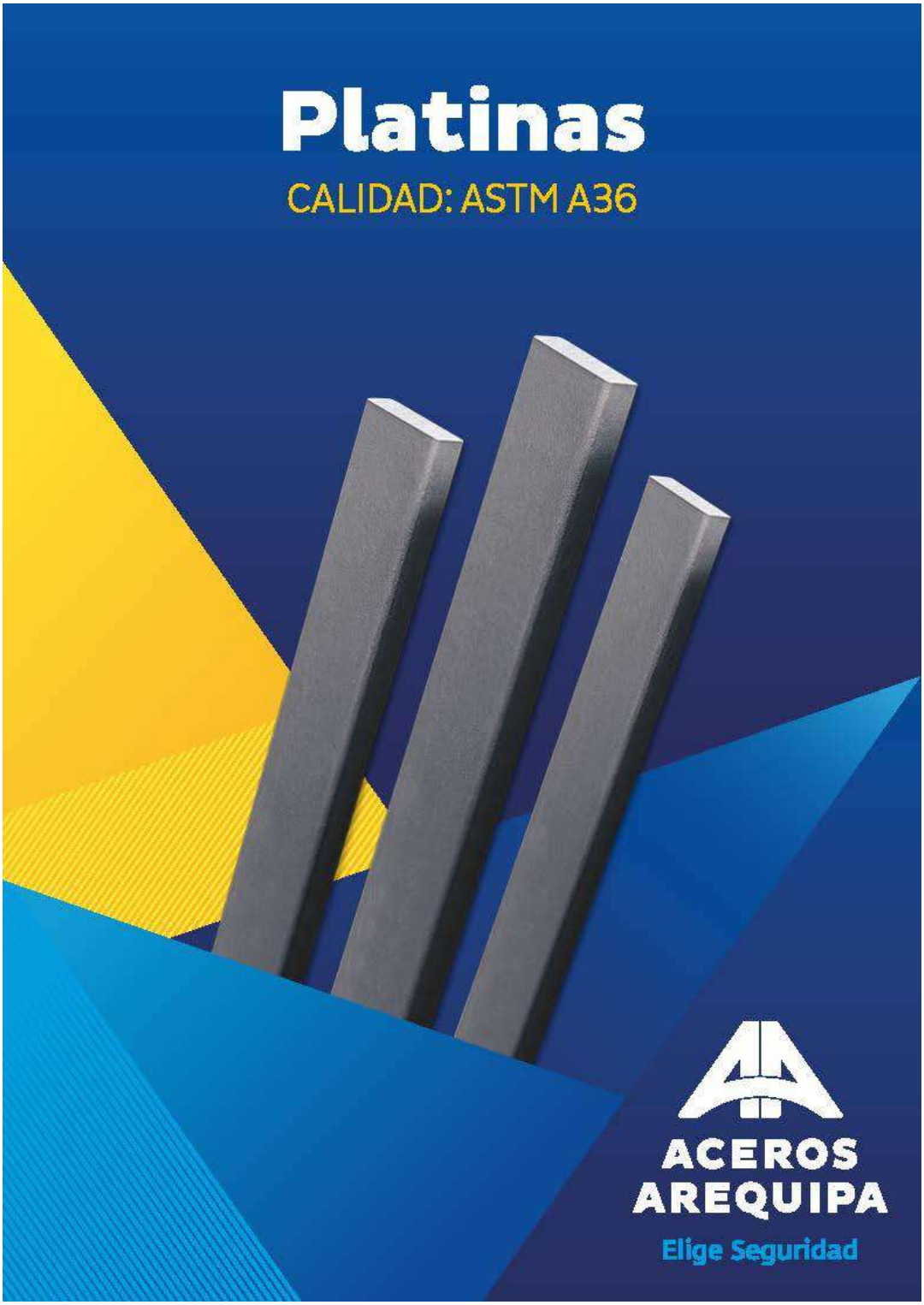
ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001
BUREAU VERITAS
Certification

*Este producto fue manufacturado bajo los controles establecidos por Bureau Veritas Certification aprobando el Sistema Integrado de Gestión que confirma con los certificados: ISO 9001:2015 No. AR16.10045 U, ISO 14001:2015 No. AR16.10046 U y OHSAS 1401:2007 No. PE17.0088*

**LIMA:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425, Piso 17, Magdalena del Mar (Ex Juan de Aliaga), Lima 17-Perú. Tlf. (51)(1) 517-1800 / Fax Central (51)(1) 452-0059.
**AREQUIPA:** Calle Jacinto Ibáñez 111, Pque.Industrial. Arequipa-Perú. Tlf.(51)(54) 23-2430 / Fax.(51)(54) 21-9796.
**PISCO:** Panamericana Sur Km.240. Ica-Perú. Tlf.(51)(56) 58-0830 / Fax.(51)(56) 58-0858.
www.acerosarequipa.com
Encuéntranos en: YouTube

ACEROS AREQUIPA

**Anexo D. Platinas – Calidad ASTM A36 – Aceros Arequipa**



# Platinas

## CALIDAD: ASTM A36

**DENOMINACIÓN:**
PLAT A36.

**DESCRIPCIÓN:**
Producto de acero que ha sido laminado en caliente en sus cuatro superficies, con una sección transversal rectangular. Tiene las superficies lisas.

**USOS:**
En la fabricación de estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, piezas forjadas y otros.

**NORMAS TÉCNICAS:**
- Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M
- Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

**PRESENTACIÓN:**
Se produce en barras de 6 metros de longitud. Se suministra en paquetes de 2 TM, formados por paquetes de 1 TM c/u.

| DIMENSIONES NOMINALES (pulg) | PESO NOMINAL | |
|---|---|---|
| | Kg/m | Kg/6m |
| 1/8" x 1/2" x 6 m | 0.32 | 1.92 |
| 1/8" x 5/8" x 6 m | 0.39 | 2.34 |
| 1/8" x 3/4" x 6 m | 0.48 | 2.88 |
| 1/8" x 1" x 6 m | 0.64 | 3.84 |
| 1/8" x 1 1/4" x 6 m | 0.80 | 4.80 |
| 1/8" x 1 1/2" x 6 m | 0.95 | 5.70 |
| 1/8" x 2" x 6 m | 1.27 | 7.62 |
| 3/16" x 1/2" x 6 m | 0.48 | 2.88 |
| 3/16" x 5/8" x 6 m | 0.61 | 3.66 |
| 3/16" x 3/4" x 6 m | 0.74 | 4.44 |
| 3/16" x 1" x 6 m | 0.98 | 5.88 |
| 3/16" x 1 1/4" x 6 m | 1.18 | 7.08 |
| 3/16" x 1 1/2" x 6 m | 1.42 | 8.52 |
| 3/16" x 2" x 6 m | 1.90 | 11.40 |
| 3/16" x 2 1/4" x 6 m | 2.14 | 12.84 |
| 3/16" x 2 1/2" x 6 m | 2.37 | 14.22 |
| 3/16" x 3" x 6 m | 2.85 | 17.10 |
| 1/4" x 1/2" x 6 m | 0.64 | 3.84 |
| 1/4" x 5/8" x 6 m | 0.80 | 4.80 |
| 1/4" x 3/4" x 6 m | 0.95 | 5.70 |
| 1/4" x 1" x 6 m | 1.28 | 7.68 |
| 1/4" x 1 1/4" x 6 m | 1.58 | 9.48 |
| 1/4" x 1 1/2" x 6 m | 1.90 | 11.40 |
| 1/4" x 2" x 6 m | 2.53 | 15.18 |
| 1/4" x 2 1/2" x 6 m | 3.16 | 18.96 |
| 1/4" x 3" x 6 m | 3.80 | 22.80 |
| 1/4" x 4" x 6 m | 5.06 | 30.36 |
| 3/8" x 1" x 6 m | 1.92 | 11.52 |
| 3/8" x 1 1/4" x 6 m | 2.38 | 14.28 |
| 3/8" x 1 1/2" x 6 m | 2.85 | 17.10 |
| 3/8" x 2" x 6 m | 3.80 | 22.80 |
| 3/8" x 2 1/2" x 6 m | 4.74 | 28.44 |
| 3/8" x 3" x 6 m | 5.70 | 34.20 |
| 3/8" x 4" x 6 m | 7.60 | 45.60 |
| 1/2" x 1" x 6 m | 2.54 | 15.24 |
| 1/2" x 1 1/2" x 6 m | 3.79 | 22.74 |
| 1/2" x 2" x 6 m | 5.06 | 30.36 |
| 1/2" x 2 1/2" x 6 m | 6.33 | 37.98 |
| 1/2" x 3" x 6 m | 7.60 | 45.60 |
| 1/2" x 4" x 6 m | 10.13 | 60.78 |
| 5/8" x 2 1/2" x 6 m | 7.91 | 47.46 |
| 5/8" x 3" x 6 m | 9.50 | 57.00 |
| 5/8" x 4" x 6 m | 12.66 | 75.96 |
| 3/4" x 4" x 6 m | 15.19 | 91.14 |
| 1" x 3" x 6 m | 15.19 | 91.14 |
| 1" x 4" x 6 m | 20.26 | 121.56 |

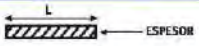
**COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA (%):**

| NORMA | %C máx | %Si máx | %P máx | %S máx |
|---|---|---|---|---|
| ASTM A36/A36M | 0.26 | 0.40 | 0.04 | 0.05 |

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**
- Límite de Fluencia mínimo = 2,530 kg/cm²
- Resistencia a la Tracción = 4,080 - 5,620 kg/cm²
- Alargamiento en 200 mm:
  - 1/8" y 3/16" = 15.0% mínimo.
  - 1/4" = 17.5% mínimo.
  - 5/16", 3/8", 5/8", 3/4" y 1" = 20.0% mínimo.
- Doblado a 180° = Bueno.
- Soldabilidad = Buena.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES Y DE FORMA:**

| DIMENSIÓN NOMINAL b (pulg) | TOLERANCIAS (mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ANCHO b (mm) | ESPESOR e < 3/4" | ESPESOR 3/4" ≤ e ≤ 1 5/8" | DESVIACIÓN MÁX. DE RECTITUD (mm/m) | LONGITUD (mm) |
| b < 2" | ± 0.8 | ± 0.4 | ± 0.8 | 4.0 | +50 -0 |
| 2" ≤ b < 3" | ± 1.2 | | | | |
| 3" ≤ b < 4" | ± 1.5 | ± 0.5 | ± 1.0 | | |
| b ≥ 4" | ± 2.0 | | | | |




QCQA01-F104 / 02 / FEB 16

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001
BUREAU VERITAS
Certification

"Este producto fue manufacturado bajo los controles establecidos por Bureau Veritas Certification aprobando el Sistema Integrado de Gestión que confirma con los certificados: ISO 9001:2015 No. AR16.10045.U, ISO 14001:2015 No. AR16.10046.U y OHSAS 18012007 No. PE17.0088"

**LIMA:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425, Piso 17, Magdalena del Mar (Ex Juan de Aliaga), Lima 17-Perú. Tlf. (51)(1) 517-1800 / Fax Central (51)(1) 452-0059.

**AREQUIPA:** Calle Jacinto Ibáñez 111, Pque.Industrial. Arequipa-Perú. Tlf.(51)(54) 23-2430 / Fax.(51)(54) 21-9796.

**PISCO:** Panamericana Sur Km.240. Ica-Perú. Tlf.(51)(56) 58-0830 / Fax.(51)(56) 58-0858.

www.acerosarequipa.com

Encuéntranos en: YouTube

ACEROS AREQUIPA

**Anexo E. Tubo LAC ASTME A500 – Para estructuras – Aceros Arequipa**

# Tubo LAC ASTM A500
## PARA ESTRUCTURAS

**DENOMINACIÓN:**
TNM RED ND A500, TNM RED OD A500, TGM RED ND A500.
TGM RED OD A500, TNM CUA A500, TNM REC A500, TGM CUA A500, TGM REC A500.

**DESCRIPCIÓN:**
Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

**USOS:**
Diversas estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales, postes, etc.

**NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:**
Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 – A y B.

**PRESENTACIÓN:**
1.- Longitud :- Redondos: 6.40 m y 6 m.
- Cuadrados y rectangulares: 6 m.
- Otras longitudes a pedido.

2.- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.

3.- Recubrimiento :- Negro.
- Galvanizado.
(mínimo de 120 gr/m²).

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:**

| DESIGNACIÓN NOMINAL | | DIMENSIÓN EXTERIOR (mm) | ESPESORES (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1.5 | 1.8 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 4.5 | 6 |
| REDONDO NOMINAL | 1/2" | 21,3 | | | 0,866 | 0,952 | 1,159 | | | |
| | 3/4" | 26,7 | | | 1,105 | 1,218 | 1,492 | | | |
| | 1" | 33,4 | | | 1,403 | 1,549 | 1,905 | 2,249 | | |
| | 1 1/4" | 42,2 | | | 1,793 | 1,983 | 2,448 | 2,900 | | |
| | 1 1/2" | 48,3 | | | 2,064 | 2,284 | 2,824 | 3,351 | | |
| | 2" | 60,3 | | | 2,597 | 2,876 | 3,564 | 4,239 | | |
| | 2 1/2" | 73,0 | | | | 3,502 | 4,347 | 5,179 | | |
| | 3" | 88,9 | | | | 4,285 | 5,327 | 6,356 | | |
| | 4" | 114,3 | | | | 5,539 | 6,892 | 8,234 | | |
| CUAD LE. | - | 25x25 | 1,061 | | | 1,460 | | | | |
| | - | 30x30 | 1,300 | | | 1,700 | | | | |
| | - | 40x40 | 1,770 | | | 2,244 | | 3,320 | | |
| | - | 50x50 | 2,250 | | | 3,122 | 3,872 | 4,316 | | |
| | 2" | 50,8 | | | | 3,122 | 3,872 | 4,316 | | |
| | - | 75x75 | | | | 4,500 | 5,560 | 6,810 | | |
| | - | 100x100 | | | | 6,165 | 7,675 | 9,174 | 12,133 | 13,594 | 16,980 |

Negro y Galvanizado

| DESIGNACIÓN NOMINAL | | DIMENSIÓN EXTERIOR (mm) | ESPESORES (mm) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1.5 | 1.8 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 4.5 | 6 |
| RECT LE | - | 20x40 | 1,354 | | 1,700 | | | | | |
| | - | 25x50 | 1,650 | | 2,261 | | | | | |
| | - | 40x60 | 2,250 | | 3,033 | 3,600 | 4,250 | | | |
| | - | 40x80 | 2,710 | | 3,660 | 4,390 | 5,190 | | | |
| | - | 50x75 | | | | | 5,428 | | | |
| | - | 50x100 | | | 4,500 | 5,560 | 6,600 | 8,590 | | |
| | - | 50x150 | | | 6,165 | 7,676 | 9,174 | 11,730 | | |

Negro y Galvanizado

**PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)**

| SECCIÓN | GRADO | LÍMITE DE FLUENCIA (MPa) | RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa) |
|---|---|---|---|
| REDONDO | A | 230 | 310 |
| CUADRADO Y | A | 270 | 310 |
| RECTANGULAR | B | 315 | 400 |

**MATERIA PRIMA:**
Acero laminado en caliente calidad estructural.

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES**
(Referidas a los valores nominales):
Espesor : + / - 10%
Longitud : +12.7 / -6.4 mm

Sección:

1.- Redondo:

| DIÁMETRO NOMINAL (pulg) | TOLERANCIA DIMENSIONAL + / - (pulg) |
|---|---|
| Menores 1 1/2" incl. | 0.5 % |
| Mayores 2" | 0.75 % |

2.- Cuadrados y Rectangulares:

| LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg) | VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg) |
|---|---|
| Menores 1 1/2" incl. | 0.020 |
| 2 1/2" a 3 1/2" incl. | 0.025 |
| 3 1/2" a 4 incl. | 0.030 |

3.- Cuadrados y Rectangulares:

| LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg) | VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg) |
|---|---|
| Menores a 63.5 incl. | 0,51 |
| 63.5 a 88.9 incl. | 0,64 |
| 88.9 a 139.7 incl. | 0,76 |
| Mayores a 139.7 | 0.01 veces el largo de la dimensión plana |

QCQA01-F219 / 02 / MAY 16

ISO 9001
ISO 14001
OHSAS 18001
BUREAU VERITAS
Certification

"Este producto fue manufacturado bajo los controles establecidos por Bureau Veritas Certification aprobando el Sistema Integrado de Gestión que confirma con los certificados: ISO 9001:2015 No. AR16.10045 U, ISO 14001:2015 No. AR16.10046 U y OHSAS 1801:2007 No. PE17.0088"

**LIMA:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425, Piso 17, Magdalena del Mar (Ex Juan de Aliaga), Lima 17-Perú. Tlf. (51)(1) 517-1800 / Fax Central (51)(1) 452-0059.
**AREQUIPA:** Calle Jacinto Ibáñez 111, Pque.Industrial. Arequipa-Perú.
Tlf.(51)(54) 23-2430 / Fax.(51)(54) 21-9796.
**PISCO:** Panamericana Sur Km.240. Ica-Perú.
Tlf.(51)(56) 58-0830 / Fax.(51)(56) 58-0858.

www.acerosarequipa.com

Encuéntranos en: YouTube

ACEROS AREQUIPA

## Anexo F. Tubería en acero – Tubería acero al carbón SCH – Tecnituberías

**Tecnituberias** Importadores - Distribuidores

Tubería en acero

LINE PIPE - TUBING - CASING
TUBERIA ACERO AL CARBON SCH 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160
ASTM A500 - ASTM A53 - ASTM A106 - API 5L - GRADOS A, B, C, X42, X65, X80

ESPECIFICACIONES TUBERIA LINE PIPE

| [illegible] | [illegible] | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | | [illegible] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| 1/8" | 40 | 0.405" | 10.29 | 0.269" | 6.83 | 0.068" | 1.73 | 0.357 |
| | 70 | 0.405" | 10.29 | 0.215" | 5.46 | 0.095" | 2.41 | 0.461 |
| 1/4" | 40 | 0.540" | 13.72 | 0.364" | 9.25 | 0.088" | 2.24 | 0.625 |
| | 80 | 0.540" | 13.72 | 0.302" | 7.67 | 0.119" | 3.02 | 0.804 |
| 3/8" | 40 | 0.675" | 17.15 | 0.493" | 12.52 | 0.091" | 2.31 | 0.846 |
| | 80 | 0.675" | 17.15 | 0.439" | 10.74 | 0.126" | 3.20 | 1.101 |
| 1/2" | 40 | 0.840" | 21.34 | 0.622" | 15.80 | 0.109" | 2.77 | 1.265 |
| | 80 | 0.840" | 21.34 | 0.546" | 13.87 | 0.147" | 3.73 | 1.622 |
| | 160 | 0.840" | 21.34 | 0.466" | 11.84 | 0.167" | 4.75 | 1.935 |
| | XXS | 0.840" | 21.34 | 0.252" | 6.40 | 0.294" | 7.47 | 2.544 |
| 3/4" | 40 | 1.050" | 26.67 | 0.824" | 20.93 | 0.113" | 2.87 | 1.682 |
| | 80 | 1.050" | 26.67 | 0.742" | 18.85 | 0.154" | 3.91 | 2.188 |
| | 160 | 1.050" | 26.67 | 0.614" | 15.80 | 0.218" | 3.54 | 2.887 |
| | XXS | 1.050" | 26.67 | 0.434" | 11.02 | 0.308" | 7.82 | 3.631 |
| 1" | 40 | 1.315" | 33.40 | 1.049" | 26..64 | 0.133" | 3.38 | 2.500 |
| | 80 | 1.315" | 33.40 | 0.957" | 24.31 | 0.179" | 4.55 | 3.229 |
| | 160 | 1.315" | 33.40 | 0.815" | 20.70 | 0.250" | 6.35 | 4.226 |
| | XXS | 1.315" | 33.40 | 0.599" | 15.21 | 0.358" | 9.09 | 5.646 |
| 1.1/4" | 40 | 1.660" | 42.16 | 1.380" | 35.05 | 0.140" | 3.56 | 3.378 |
| | 80 | 1.660" | 42.16 | 1.278" | 32.46 | 0.191" | 4.85 | 4.464 |
| | 160 | 1.660" | 42.16 | 1.160" | 29.46 | 0.250" | 6.35 | 5.595 |
| | XXS | 1.660" | 42.16 | 0.896" | 22.76 | 0.382" | 9.70 | 7.752 |
| 1.1/2" | 40 | 1.900" | 48.26 | 1.610" | 40.89 | 0.145" | 3.68 | 4.084 |
| | 80 | 1.900" | 48.26 | 1.500" | 38.10 | 0.200" | 5.08 | 5.402 |
| | 160 | 1.900" | 48.26 | 1.338" | 33.99 | 0.281" | 7.14 | 7.232 |
| | XXS | 1.900" | 48.26 | 1.100" | 27.94 | 0.400" | 10.16 | 9.538 |
| 2" | 40 | 2.375" | 60.33 | 2.067" | 52.50 | 0.154" | 3.91 | 5.435 |
| | 80 | 2.375" | 60.33 | 1.939" | 49.25 | 0.218" | 5.54 | 7.471 |
| | 160 | 2.375" | 60.33 | 1.619" | 42.90 | 0.343" | 8.71 | 11.072 |
| | XXS | 2.375" | 60.33 | 1.503" | 38.18 | 0.436" | 11.07 | 13.437 |
| 2.1/2" | 40 | 2.875" | 73.03 | 2.469" | 62.71 | 0.203" | 5.16 | 8.616 |
| | 80 | 2.875" | 73.03 | 2.323" | 59.00 | 0.276" | 7.01 | 11.399 |
| | 160 | 2.875" | 73.03 | 2.125" | 53.98 | 0.375" | 9.53 | 14.896 |
| | XXS | 2.875" | 73.03 | 1.771" | 44.98 | 0.552" | 14.02 | 20.386 |
| 3" | 40 | 3.500" | 88.90 | 3.068" | 77.93 | 0.216" | 5.40 | 11.280 |
| | 80 | 3.500" | 88.90 | 2.900" | 73.66 | 0.300" | 7.62 | 15.254 |
| | 160 | 3.500" | 88.90 | 2.626" | 66.64 | 0.438" | 11.13 | 21.310 |
| | XXS | 3.500" | 88.90 | 2.300" | 58.42 | 0.600" | 15.24 | 27.647 |
| 3.1/2" | 40 | 4.000" | 101.60 | 3.548" | 90.12 | 0.226" | 5.74 | 13.557 |
| | 80 | 4.000" | 101.60 | 3.364" | 85.45 | 0.318" | 8.08 | 18.617 |
| | 160 | 4.000" | 101.60 | | | | | |
| | XXS | 4.000" | 101.60 | 2.728" | 69.29 | 0.636" | 16.15 | 32.906 |

PBX. +571 360 1019 - FAX. +571 237 5425 - FIJO +57 317 439 7442
Cra 25ª 12B - 27 - Bogotá D.C. - Colombia - Suramerica
www.tecnituberias.com
info@tecnituberias.com

# Tecnituberias

Importadores - Distribuidores

## ESPECIFICACIONES TUBERIA LINE PIPE

| Diámetro Nominal | Cedula Clase | Diámetro Ext. Pulg. | Diámetro Ext. m.m | Diámetro Int. Pulg. | Diámetro Int. m.m | Espesor Pulg. | Espesor m.m | Peso Kg x Mt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4" | 40 | 4.500" | 114.30 | 4.026" | 102.26 | 0.237" | 6.02 | 16.057 |
| | 80 | 4.500" | 114.30 | 3.826" | 97.18 | 0.337" | 8.56 | 22.293 |
| | 120 | 4.500" | 114.30 | 3.625" | 92.08 | 0.438" | 11.12 | 28.290 |
| | 160 | 4.500" | 114.30 | 3.428" | 87.33 | 0.531" | 13.19 | 33.498 |
| | XXS | 4.500" | 114.30 | 3.152" | 80.06 | 0.674" | 17.12 | 40.980 |
| 5" | 40 | 5.563" | 141.30 | 5.047" | 128.19 | 0.258" | 6.55 | 21.757 |
| | 80 | 5.563" | 141.30 | 4.813" | 122.25 | 0.375" | 9.53 | 30.924 |
| | 120 | 5.563" | 141.30 | 4.563" | 115.90 | 0.500" | 12.70 | 40.240 |
| | 160 | 5.563" | 141.30 | 4.313" | 109.55 | 0.625" | 15.88 | 49.050 |
| | XXS | 5.563" | 141.30 | 4.063" | 103.20 | 0.750" | 19.05 | 57.362 |
| 6" | 40 | 6.625" | 168.28 | 6.065" | 154.05 | 0.280" | 7.11 | 28.230 |
| | 80 | 6.625" | 168.28 | 5.761" | 146.33 | 0.432" | 10.97 | 42.517 |
| | 120 | 6.625" | 168.28 | 5.501" | 139.73 | 0.562" | 14.27 | 54.154 |
| | 160 | 6.625" | 168.28 | 5.189" | 131.80 | 0.718" | 18.24 | 67.414 |
| | XXS | 6.625" | 168.28 | 4.897" | 124.38 | 0.864" | 21.95 | 79.102 |
| 8" | 20 | 8.625" | 219.08 | 8.125" | 206.28 | 0.250" | 6.35 | 33.275 |
| | 30 | 8.625" | 219.08 | 8.071" | 205.00 | 0.277" | 7.04 | 36.758 |
| | 40 | 8.625" | 219.08 | 7.981" | 202.72 | 0.322" | 8.18 | 38.022 |
| | 60 | 8.625" | 219.08 | 7.813" | 198.45 | 0.406" | 10.31 | 53.038 |
| | 80 | 8.625" | 219.08 | 7.625" | 193.68 | 0.500" | 12.70 | 64.571 |
| | 100 | 8.625" | 219.08 | 7.439" | 188.95 | 0.593" | 15.06 | 75.703 |
| | 120 | 8.625" | 219.08 | 7.189" | 182.60 | 0.718" | 18.24 | 90.227 |
| | 140 | 8.625" | 219.08 | 7.001" | 177.83 | 0.812" | 20.62 | 100.858 |
| | 160 | 8.625" | 219.08 | 6.875" | 174.63 | 0.875" | 22.23 | 100.761 |
| | XXS | 8.625" | 219.08 | 6.813" | 173.05 | 0.906" | 23.01 | 111.151 |
| 10" | 20 | 10.750" | 273.05 | 10.250" | 260.35 | 0.250" | 6.35 | 41.725 |
| | 30 | 10.750" | 273.05 | 10.136" | 257.45 | 0.307" | 7.80 | 50.955 |
| | 40 | 10.750" | 273.05 | 10.020" | 254.51 | 0.365" | 9.27 | 60.241 |
| | 60 | 10.750" | 273.05 | 9.750" | 247.65 | 0.500" | 12.70 | 81.402 |
| | 80 | 10.750" | 273.05 | 9.564" | 242.93 | 0.593" | 15.06 | 95.733 |
| | 100 | 10.750" | 273.05 | 9.314" | 236.58 | 0.718" | 18.24 | 114.484 |
| | 120 | 10.750" | 273.05 | 9.064" | 230.23 | 0.843" | 21.41 | 132.744 |
| | 140 | 10.750" | 273.05 | 8.750" | 222.25 | 1.000" | 25.40 | 154.962 |
| | 160 | 10.750" | 273.05 | 8.500" | 215.90 | 1.125" | 28.98 | 172.106 |
| 12" | 20 | 12.750" | 323.85 | 12.250" | 311.15 | 0.250" | 6.35 | 69.675 |
| | 30 | 12.750" | 323.85 | 12.090" | 307.09 | 0.330" | 8.36 | 65.137 |
| | 40 | 12.750" | 323.85 | 11.938" | 303.23 | 0.406" | 10.31 | 79.661 |
| | 60 | 12.750" | 323.85 | 11.626" | 295.30 | 0.562" | 14.27 | 108.874 |
| | 80 | 12.750" | 323.85 | 11.376" | 288.95 | 0.687" | 17.45 | 131.717 |
| | 100 | 12.750" | 323.85 | 11.064" | 281.03 | 0.843" | 21.41 | 159.531 |
| | 120 | 12.750" | 323.85 | 10.750" | 273.05 | 1.000" | 25.40 | 186.749 |
| | 140 | 12.750" | 323.85 | 10.500" | 266.70 | 1.125" | 28.58 | 207.866 |
| | 160 | 12.750" | 323.85 | 10.126" | 257.20 | 1.312" | 33.32 | 238.507 |
| 14" | 10 | 14.000" | 355.60 | 13.500" | 342.90 | 0.250" | 6.35 | 54.630 |
| | 20 | 14.000" | 355.60 | 13.374" | 339.75 | 0.312" | 7.92 | 67.979 |
| | 30 | 14.000" | 355.60 | 13.250" | 336.55 | 0.375" | 9.53 | 81.209 |
| | 40 | 14.000" | 355.60 | 13.126" | 333.40 | 0.437" | 11.10 | 94.305 |
| | 60 | 14.000" | 355.60 | 12.814" | 325.48 | 0.593" | 15.06 | 126.360 |
| | 80 | 14.000" | 355.60 | 12.500" | 317.50 | 0.750" | 19.05 | 157.938 |
| | 100 | 14.000" | 355.60 | 12.126" | 308.80 | 0.937" | 23.80 | 194.547 |
| | 120 | 14.000" | 355.60 | 11.814" | 300.08 | 1.093" | 27.76 | 224.221 |
| | 140 | 14.000" | 355.60 | 11.500" | 292.10 | 1.250" | 35.71 | 253.315 |
| | 160 | 14.000" | 355.60 | 11.188" | 284.18 | 1.406" | 35.75 | 281.441 |

Tecnituberias

**Anexo G. Catálogo 2013 - Tornillos y especialidades - Garniet**

GARNIET.

Tornillos y Especialidades

CATALOGO 2013

GARNIET.
Tornillos y Especialidades

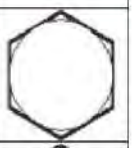
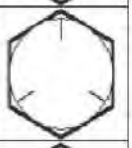
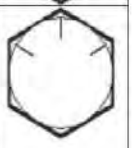
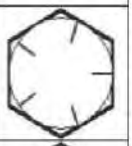
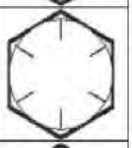
# Materiales

| Acero bajo carbono SAE 1010 |
| --- |
| Se utiliza para tornillos, tuercas, pernos, birlos y remaches para uso general, de acuerdo a las normas SAE-J-429 Grado I, ASTM-A-307 Grado A, DIN 267 Grado 4.6, SAE-J-1199 Grado 4.6. |
| Acero bajo carbono 1213-12L14 |
| Se utiliza principalmente para la fabricación de tuercas maquindas de uso general de acuerdo a las normas SAE-J-995 Grado 2, ASTM-A-563 Grado A. |
| Acero bajo carbono 1018 |
| Se utiliza para la fabricación de tornillos de resistencia media como el tornillo tipo CAP Grado 2, de acuerdo a las normas SAE-J-429 Grado 2, ASTM-A-307 Grado B, DIN 267 Grado 5.6, SAE-J-1199 Grado 5.8. |
| Acero de medio carbono 1038-1041-1045 |
| Se utiliza en la fabricación de tornillos CAP Grado 5 y tonillos y tuercas de alta resistencia y para uso estructural, de acuerdo con las normas SAE-J-429 Grado 5, ASTM-A-449, ASTM-325 Tipo 1, DIN 267 Grado 8.8, SAE-J-1199 Gado 8.8 y 9.8 |
| Acero aleado demedio carbono 4140-8740 |
| Se utiliza en la fabricación de tornillos CAP Grado 8 y tornillos y espárragos de muy alta resistencia y para uso estructural, de acuerdo con las normas SAE-J-429, Grado 8, ASTM-A-354, ASTM-A-490 Tipo 1, ASTM-A-193 Grados B7 y L7, ASTM-A-320 Grados B7M y L7M, DIN 267 Grados 10.9 y 12.9, SAE –J-1199 Grados 10.9 y 12.9. |

GARNIET
Tornillos y Especialidades

# Normas equivalentes y Requerimientos Mecanicos

## Marcado de Tornillos en Norma SAE

| Número de grado SAE | Rango del diámetro [inch] | Carga de prueba [kpsi] | Esfuerzo de ruptura [kpsi] | Material | Marcado de la cabeza |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 2 | ¼ - 1½ ¼ - ¾ 7/8 - 1½ | 55 33 | 74 60 | Acero de bajo carbono ó acero al carbono |  |
| 5 | ¼ - 1 1/8 - 1½ | 85 74 | 120 105 | Acero al carbono, Templado y Revenido |  |
| 5.2 | ¼ - 1 | 85 | 120 | Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido |  |
| 7 | ¼ - 1½ | 105 | 133 | Acero al carbono aleado, Templado y Revenido |  |
| 8 | ¼ - 1½ | 120 | 150 | Acero al carbono aleado, Templado y Revenido |  |
| 8.2 | ¼ - 1 | 120 | 150 | Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido | |

## Anexo H. Reducción de tamaño de solidos - Leyes para cálculo de energía y potencia en equipos de reducción de tamaño



*Ingeniería de Alimentos III* M.C. Ma. Luisa Colina Irezabal

### REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE SOLIDOS

Para la reducción de tamaño de los sólidos se pueden emplear cuatro tipos de fuerzas:

1) Fuerza de Corte (puede incluirse en la fuerza de cizalla)
2) Fuerza de Compresión
3) Fuerza de Impacto
4) Fuerza de Frotación, Cizalla o Rozamiento

La mayoría de los equipos de reducción de tamaño utilizan más de un tipo de fuerza (compresión, impacto, cizalla), aunque generalmente una de ellas suele ser la predominante

Para la selección del equipo de reducción de tamaño a emplear, se consideran básicamente dos tipos de alimentos: Alimentos Húmedos y Alimentos Secos

Equipo utilizado para la reducción de tamaño de Alimentos Húmedos:

- Cortadoras
- Despulpadoras
- Extractores de Jugo
- Ralladoras
- Molinos de Carne
- Desintegradoras de cuchillas

Equipo utilizado para la reducción de tamaño de Alimentos Secos:

- Trituradoras
- Molinos: - de bolas
  - de martillos
  - de discos
  - de rodillos

El grado de ruptura de un material durante la reducción de tamaño puede ser expresado en función de la Relación de Reducción (R.R.)

$$R.R. = \frac{Tamaño\ medio\ de\ la\ carga\ (X_1)}{Tamaño\ medio\ del\ producto\ (X_2)}$$

## CALCULO DE ENERGÍA Y POTENCIA EN EQUIPOS DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La energía requerida para realizar una reducción en el tamaño de una partícula se expresa como:

$$\frac{dE}{dD} = -\frac{K}{D^n} \qquad (1) \qquad\qquad E = \frac{P}{\dot{m}} \qquad (2)$$

donde:
$E$ = Energía requerida por unidad de masa (kW-h/ton)
$D$ = Diámetro medio de las partículas (mm)
$K$ = constante
$P$ = Potencia consumida (kW)
$\dot{m}$ = flujo másico de alimentación (ton/h)
$n$ = potencia

LEY DE KICK:
Considera que $n = 1$, por lo que la integración de la Ecuación (1) da:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K \ln\left[\frac{Dp_a}{Dp_p}\right]$$

Donde:

$K_K$ = Constante de Kick
$Dp_a$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$Dp_p$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

$$\frac{Dp_a}{Dp_p} = R.R.$$

LEY DE RITTINGER:
Considera que $n = 2$, por lo que la integración de la Ecuación (1) da:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R\left[\frac{1}{Dp_p} - \frac{1}{Dp_a}\right]$$

Donde:

$K_R$ = Constante de Rittinger
$Dp_a$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$Dp_p$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

LEY DE BOND:
Considera que $n = 3/2 = 1.5$ y además define un "Indice de Trabajo de Bond" ($W_i$)

$W_i$ = La energía total (kW-h/ton alimentación) que se necesita para reducir una alimentación muy grande hasta un tamaño tal que el 80 % del producto pase a través de un tamiz de 100 µm.

$K_B$ = Constante de Bond $\qquad K_B = \sqrt{100\times10^{-3}W_i} = 0.3162W_i$

Y la integración de la Ecuación (1) quedará como:

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = 0.3162W_i\left[\frac{1}{\sqrt{Dp_p}} - \frac{1}{\sqrt{Dp_a}}\right]$$

$Dp_a$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)
$Dp_p$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

## Anexo I. III Informe de laboratorio - Molienda



**MOLIENDA**

**III INFORME DE LABORATORIO GRUPO 101D 2017 I**

[1]LINA MEYER [2]JUAN MONTENEGRO [3]WINNY PRIETO [4]EMILY SOLER [5]CATALINACANARIA
Cód: 6142436 Cód: 6141212 Cód: 6132154 Cód: 6141268 Cód: 6142407

[1]linamariameyersanchez@gmail.com [2]juan.montenegro_95@hotmail.com
[3]winny.prietobernal@hotmail.com [4]emilysolersu@hotmail.com
[5]catalina.3009@hotmail.com

**DOCENTE: I.Q. Iván Ramírez Marín**
**Departamento de Ingeniería Química, Fundación Universidad de América Sede Campus**

**RESUMEN**

**Palabras Clave:**

**OBJETIVOS**

**Objetivo general**

**Objetivos específicos**

**MARCO TEÓRICO**

## DATOS

Los resultados arrojados por cada parte del proceso son los siguientes:

1) **Dimensiones partícula**

Tabla 3

*Medidas de las dimensiones de 10 partículas aleatorias de maíz amarillo*

| No. Partícula | Alto (cm) | Ancho (cm) | Largo (cm) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0,53 | 0,61 | 1,46 |
| 2 | 0,42 | 0,72 | 1,36 |
| 3 | 0,47 | 0,66 | 1,39 |
| 4 | 0,57 | 0,79 | 1,27 |
| 5 | 0,64 | 0,91 | 1,06 |
| 6 | 0,56 | 0,82 | 1,28 |
| 7 | 0,43 | 0,86 | 1,96 |
| 8 | 0,43 | 0,87 | 1,24 |
| 9 | 0,46 | 0,75 | 1,31 |
| 10 | 0,55 | 0,81 | 1,28 |

2) **Molino**

*Figura 3.* Equipo de molienda usado en la práctica.

*Figura 4.* Datos de fábrica del molino.

*Figura 5.* Pinza amperimétrica. Dato de amperaje en vacío.

Tabla 3

*Datos iniciales del molino*

| Voltaje (V) | Potencia (HP) | Amperaje en vacío (A) |
|---|---|---|
| 115 | 20 | 25,2 |

Tabla 4

*Datos del proceso de molienda*

| Masa a moler (g) | Masa producto (g) |
|---|---|
| 800 | 793,01 |
| Tiempo de alimentación (s) | Amperaje (A) |
| 30 | 23,7 |
| 60 | 24,8 |
| 90 | 25 |
| 120 | 25,1 |

**4) Proceso de tamizado**

Tabla 6

*Tamices usados, abertura y masa retenida en cada uno de ellos.*

| No. de malla | Abertura (mm) | Masa retenida (g) |
|---|---|---|
| 10 | 2 | 0,0159 |
| 12 | 1,70 | 0,55 |
| 30 | 0,589 | 2,25 |
| 60 | 0,2489 | 7,30 |
| 80 | 0,1778 | 68,40 |
| 100 | 0,14986 | 95,91 |
| 170 | 0,0889 | 18,14 |
| 270 | 0,05334 | 5,96 |
| Fondo | | 0,0062 |

**5) Densidad de partícula y factor de forma**

Tabla 8

*Datos para la determinación de la densidad de partícula y el factor de forma.*

| No. de particulas | Masa (g) | V Inicial (ml) | V Final (ml) |
|---|---|---|---|
| 100 | 34,7103 | 50 | 79 |

- **Constante de Bond (Kb):**

Para determinar el valor de la constante es necesario determinar el valor del diámetro del producto, haciendo uso de las aberturas y fracciones másicas acumuladas dentro de las que se encuentre el 20% acumulado.

| Abertura x $10^{-3}$ (m) | Xia |
|---|---|
| 2,3784 | - |
| 2 | 8,0088E-05 |
| 1,7 | 0,002850 |
| 0,5890 | 0,01418 |
| 0,2489 | 0,05095 |
| 0,1778 | 0,39548 |
| 0,1499 | 0,87857 |
| 0,0889 | 0,96994 |
| 0,05334 | 0,99996 |
| 0,04485 | 1 |

Se realiza la interpolación entre estos datos:

| Xia | Abertura |
|---|---|
| (0,05095 , | 0,2489) |
| (0,39548 , | 0,1778) |
| (0,2 , | x) |

Obteniendo como resultad una abertura de 0,2181 mm para 0,2 de Xia, correspondiente al diámetro del producto.

Se realizaron ciertas conversiones para determinar la constante:

$$\dot{m} = \frac{800\ g}{2\ min} * (\frac{1\ Kg}{1000\ g}) * (\frac{1\ ton\ corta}{907{,}18\ Kg}) * (\frac{60\ min}{1\ h})$$

$$\dot{m} = 0{,}02646 \frac{ton\ corta}{h}$$

$$K_B = \frac{P}{\dot{m}\ (\frac{1}{\sqrt{Dp_p}} - \frac{1}{\sqrt{Dp_A}})}$$

$$K_B = \frac{2{,}847\ KW}{0{,}02646\ \frac{ton\ corta}{h}\ (\frac{1}{\sqrt{0{,}2181\ mm}} - \frac{1}{\sqrt{8{,}445\ mm}})}$$

$$K_B = 59.8702 \frac{KW\, mm^{1/2}}{ton\ corta/h}$$

**9. Gráficas de análisis diferencial para tamizado**

*Figura 22.* Gráfica de análisis diferencial, relación de fracción másica vs diámetro de partícula

**10. Pérdidas en el proceso de Molienda**

Para la determinación de las pérdidas se hace la diferencia entre la cantidad ingresada de alimento y la cantidad obtenida posterior al proceso.

Masa inicial – Masa final = Pérdida Molienda

800 g – 793,01 g = Pérdida Molienda

6,990 g = Pérdida Molienda

**11. Pérdidas en el proceso de Tamizado**

Masa inicial – Masa final = Pérdida Tamizado

200,03 g – 198,532 g = Pérdida Tamizado

1,498 g = Pérdida Tamizado

## Anexo J. Catálogo general - Motores eléctricos – Siemens

Motores trifásicos

# Motores trifásicos

Datos característicos típicos en 460V
Alta eficiencia, totalmente cerrados (TCCVE)
Tipos RGZE, RGZESD, RGZZESD
230/460V 60Hz, Diseño NEMA B, 40°C ambiente

| HP | Velocidad | | Armazón | Corriente (A) | | | kVA/ HP | Eficiencia nominal | | | Factor de potencia | | | Par | | | Conexión |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RPM síncrona | RPM a plena carga | | en vacío | plena carga | arranque | | 1/2 | 3/4 | plena carga | 1/2 | 3/4 | plena carga | Nom. lb-pie | Rotor Bloq. | Máx. | |
| 1 | 1800 | 1745 | 143T | 1.1 | 1.5 | 11 | K | 78.7 | 81.8 | 82.5 | 52 | 66 | 76 | 3.0 | 290% | 320% | Y |
| | 1200 | 1140 | 145T | 1.3 | 1.8 | 9 | J | 76.4 | 78.8 | 80.0 | 42 | 56 | 65 | 4.6 | 230% | 290% | Y |
| | 900 | 860 | 182T | 1.3 | 1.9 | 8 | H | 75.6 | 78.9 | 79.5 | 42 | 54 | 63 | 6.1 | 220% | 260% | Y |
| 1.5 | 3600 | 3495 | 143T | 0.9 | 2.0 | 16 | K | 78.0 | 82.0 | 82.5 | 69 | 79 | 85 | 2.3 | 270% | 320% | Y |
| | 1800 | 1740 | 145T | 1.4 | 2.2 | 17 | K | 80.7 | 83.5 | 84.0 | 54 | 67 | 76 | 4.5 | 290% | 320% | Y |
| | 1200 | 1160 | 182T | 1.5 | 2.3 | 16 | K | 81.6 | 84.2 | 85.5 | 50 | 63 | 71 | 6.8 | 280% | 320% | Y |
| | 900 | 860 | 184T | 1.8 | 2.6 | 15 | H | 78.0 | 80.4 | 80.0 | 45 | 58 | 68 | 9.2 | 220% | 270% | Y |
| 2 | 3600 | 3495 | 145T | 1.1 | 2.5 | 22 | K | 79.9 | 83.2 | 84.0 | 73 | 83 | 89 | 3.0 | 270% | 320% | Y |
| | 1800 | 1735 | 145T | 1.9 | 2.9 | 21 | K | 80.7 | 83.6 | 84.0 | 52 | 67 | 77 | 6.1 | 290% | 310% | Y |
| | 1200 | 1160 | 184T | 1.9 | 3.0 | 22 | K | 84.5 | 86.0 | 86.5 | 50 | 63 | 72 | 9.1 | 220% | 300% | Y |
| | 900 | 865 | 213T | 2.2 | 3.2 | 17 | H | 80.0 | 82.0 | 82.5 | 46 | 60 | 69 | 12.0 | 200% | 290% | Y |
| 3 | 3600 | 3510 | 182T | 1.7 | 3.6 | 32 | K | 83.8 | 86.2 | 86.5 | 75 | 84 | 90 | 4.5 | 230% | 320% | Y |
| | 1800 | 1740 | 182T | 1.8 | 3.9 | 30 | K | 87.5 | 88.0 | 87.5 | 65 | 76 | 82 | 9.1 | 260% | 300% | Y |
| | 1200 | 1165 | 213T | 2.3 | 4.0 | 32 | K | 85.8 | 87.6 | 87.5 | 58 | 73 | 80 | 14.0 | 210% | 300% | Y |
| | 900 | 865 | 215T | 3.1 | 4.7 | 26 | H | 82.5 | 84.2 | 84.0 | 48 | 62 | 71 | 18.0 | 190% | 280% | Y |
| 5 | 3600 | 3490 | 184T | 1.8 | 5.8 | 48 | J | 86.5 | 87.8 | 87.5 | 82 | 89 | 92 | 8.0 | 260% | 320% | Y |
| | 1800 | 1730 | 184T | 3.2 | 6.5 | 46 | J | 87.5 | 88.2 | 87.5 | 63 | 75 | 82 | 15.0 | 260% | 300% | Y |
| | 1200 | 1160 | 215T | 3.3 | 6.8 | 46 | J | 89.0 | 89.7 | 88.5 | 59 | 71 | 78 | 23.0 | 210% | 300% | Y |
| | 900 | 865 | 254T | 4.1 | 7.5 | 40 | H | 86.0 | 87.0 | 86.5 | 53 | 66 | 72 | 30.0 | 180% | 260% | Y |
| 7.5 | 3600 | 3515 | 213T | 3.4 | 8.8 | 64 | H | 87.0 | 88.0 | 88.5 | 77 | 86 | 90 | 11.0 | 190% | 280% | Y |
| | 1800 | 1750 | 213T | 4.2 | 9.5 | 64 | H | 89.0 | 90.0 | 89.5 | 66 | 77 | 83 | 23.0 | 210% | 270% | Y |
| | 1200 | 1170 | 254T | 4.5 | 9.8 | 60 | H | 90.6 | 90.9 | 90.2 | 59 | 72 | 78 | 34.0 | 180% | 250% | Y |
| | 900 | 865 | 256T | 6.6 | 12.0 | 64 | H | 87.0 | 88.0 | 87.5 | 49 | 61 | 69 | 46.0 | 140% | 260% | Y |
| 10 | 3600 | 3505 | 215T | 4.0 | 12.0 | 81 | H | 89.0 | 89.8 | 89.5 | 80 | 89 | 87 | 15.0 | 190% | 260% | Y |
| | 1800 | 1750 | 215T | 5.4 | 13.0 | 81 | H | 89.5 | 90.0 | 89.5 | 68 | 79 | 84 | 30.0 | 210% | 270% | Y |
| | 1200 | 1165 | 256T | 5.0 | 13.0 | 75 | G | 91.7 | 91.5 | 90.2 | 65 | 75 | 80 | 45.0 | 170% | 250% | Y |
| | 900 | 875 | 284T | 9.1 | 15.0 | 81 | H | 89.4 | 90.9 | 91.0 | 50 | 61 | 69 | 60.0 | 150% | 220% | D |
| 15 | 3600 | 3530 | 254T | 5.0 | 17.0 | 116 | G | 88.5 | 90.0 | 90.2 | 84 | 90 | 92 | 22.0 | 190% | 260% | Y |
| | 1800 | 1760 | 254T | 7.3 | 19.0 | 116 | G | 91.7 | 92.1 | 91.7 | 68 | 78 | 82 | 45.0 | 190% | 260% | Y |
| | 1200 | 1175 | 284T | 10.0 | 20.0 | 116 | G | 93.0 | 91.7 | 91.0 | 57 | 71 | 77 | 67.0 | 160% | 270% | D |
| | 900 | 875 | 286T | 14.0 | 23.0 | 116 | G | 92.1 | 91.8 | 91.0 | 50 | 60 | 67 | 90.0 | 150% | 220% | D |
| 20 | 3600 | 3525 | 256T | 7.4 | 23.0 | 145 | G | 88.3 | 89.9 | 90.2 | 82 | 86 | 90 | 30.0 | 180% | 260% | Y |
| | 1800 | 1755 | 256T | 9.1 | 26.0 | 145 | G | 92.1 | 92.4 | 91.7 | 67 | 76 | 80 | 60.0 | 190% | 270% | Y |
| | 1200 | 1175 | 286T | 12.0 | 26.0 | 145 | G | 92.1 | 92.4 | 91.7 | 62 | 73 | 79 | 89.0 | 160% | 250% | D |
| | 900 | 880 | 324T | 18.0 | 31.0 | 145 | G | 90.0 | 91.2 | 91.0 | 50 | 61 | 67 | 119.0 | 140% | 200% | D |
| 25 | 3600 | 3525 | 284TS | 8.0 | 29.0 | 183 | G | 92.0 | 92.2 | 91.7 | 80 | 85 | 88 | 37.0 | 160% | 250% | D |
| | 1800 | 1765 | 284T | 13.0 | 29.0 | 183 | G | 93.3 | 93.6 | 93.0 | 72 | 82 | 87 | 74.0 | 220% | 280% | D |
| | 1200 | 1180 | 324T | 15.0 | 33.0 | 183 | G | 92.2 | 92.7 | 92.4 | 57 | 69 | 77 | 111.0 | 170% | 240% | D |
| | 900 | 880 | 326T | 22.0 | 38.0 | 183 | G | 89.2 | 90.5 | 90.2 | 50 | 61 | 68 | 169.0 | 150% | 200% | D |
| 30 | 3600 | 3525 | 284TS | 9.5 | 34.0 | 218 | G | 92.0 | 92.2 | 91.7 | 84 | 89 | 90 | 45.0 | 160% | 250% | D |
| | 1800 | 1765 | 286T | 15.0 | 35.0 | 218 | G | 93.2 | 93.6 | 93.0 | 71 | 82 | 86 | 89.0 | 220% | 280% | D |
| | 1200 | 1180 | 326T | 19.0 | 39.0 | 218 | G | 92.6 | 92.9 | 92.4 | 58 | 70 | 78 | 134.0 | 170% | 240% | D |
| | 900 | 885 | 364T | 26.0 | 47.0 | 218 | G | 89.9 | 91.3 | 91.0 | 50 | 62 | 66 | 178.0 | 150% | 200% | D |

Datos sujetos a cambio sin previo aviso

# Motores trifásicos
## TCCVE de alta eficiencia

Datos característicos típicos en 460V
Alta eficiencia, totalmente cerrados (TCCVE)
Tipos RGZE, RGZESD, RGZZESD
230/460V 60Hz, Diseño NEMA B, 40°C ambiente

| HP | Velocidad | | Armazón | Corriente (A) | | | kW/ HP | Eficiencia nominal % | | | Factor de potencia % | | | Par | | | Conexión |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | RPM síncrono | RPM a plena carga | | en vacío | plena carga | Rotor bloq. | | 1/2 | 3/4 | plena carga | 1/2 | 3/4 | Nom. | Nom. lb-ft | Rotor Bloq. | Máx. | |
| 40 | 3600 | 3530 | 324TS | 12.0 | 45.0 | 290 | G | 94.0 | 94.1 | 93.6 | 80 | 87 | 89 | 60.0 | 150% | 250% | D |
| | 1800 | 1770 | 324T | 15.0 | 47.0 | 290 | G | 94.0 | 94.2 | 93.6 | 77 | 82 | 85 | 119.0 | 190% | 240% | D |
| | 1200 | 1180 | 364T | 24.0 | 52.0 | 290 | G | 93.6 | 93.9 | 93.6 | 59 | 71 | 77 | 178.0 | 170% | 230% | D |
| | 900 | 885 | 365T | 36.0 | 63.0 | 290 | G | 90.7 | 92.0 | 91.7 | 49 | 60 | 65 | 237.0 | 150% | 200% | D |
| 50 | 3600 | 3580 | 326TS | 15.0 | 55.0 | 363 | G | 94.1 | 94.2 | 93.6 | 82 | 89 | 91 | 74.0 | 150% | 250% | D |
| | 1800 | 1770 | 326T | 16.0 | 58.0 | 363 | G | 94.1 | 94.2 | 93.6 | 77 | 87 | 86 | 148.0 | 190% | 240% | D |
| | 1200 | 1180 | 365T | 30.0 | 66.0 | 363 | G | 94.0 | 94.2 | 93.8 | 60 | 71 | 76 | 223.0 | 170% | 230% | D |
| | 900 | 885 | 404T | 28.0 | 67.0 | 363 | G | 92.3 | 92.4 | 91.7 | 44 | 53 | 76 | 297.0 | 140% | 200% | D |
| 60 | 3600 | 3565 | 364TS | 19.0 | 68.0 | 435 | G | 93.8 | 94.1 | 93.6 | 80 | 86 | 88 | 89.0 | 160% | 250% | D |
| | 1800 | 1775 | 364T | 21.0 | 71.0 | 435 | G | 93.9 | 94.1 | 93.6 | 74 | 82 | 85 | 178.0 | 160% | 240% | D |
| | 1200 | 1185 | 404T | 26.0 | 74.0 | 435 | G | 94.1 | 94.5 | 94.1 | 70 | 78 | 81 | 266.0 | 150% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 405T | 30.0 | 78.0 | 435 | G | 92.3 | 92.4 | 91.7 | 47 | 56 | 79 | 356.0 | 140% | 200% | D |
| 75 | 3600 | 3565 | 365TS | 22.9 | 85.0 | 543 | G | 94.3 | 94.5 | 94.1 | 81 | 86 | 88 | 111.0 | 160% | 260% | D |
| | 1800 | 1775 | 365T | 27.0 | 87.0 | 543 | G | 94.4 | 94.6 | 94.1 | 74 | 83 | 85 | 222.0 | 155% | 240% | D |
| | 1200 | 1185 | 405T | 34.0 | 93.0 | 543 | G | 94.7 | 94.9 | 94.5 | 68 | 77 | 80 | 332.0 | 150% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 444T | 37.0 | 94.0 | 543 | G | 92.9 | 93.1 | 93.0 | 62 | 76 | 80 | 445.0 | 135% | 200% | D |
| 100 | 3600 | 3570 | 405TS | 19.0 | 108.0 | 725 | G | 94.6 | 94.7 | 94.1 | 90 | 92 | 92 | 147.0 | 120% | 200% | D |
| | 1800 | 1780 | 405T | 30.0 | 113.0 | 725 | G | 95.0 | 95.2 | 94.5 | 80 | 85 | 87 | 295.2 | 160% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 444T | 38.0 | 117.0 | 725 | G | 94.6 | 94.9 | 94.5 | 75 | 82 | 85 | 443.0 | 140% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 445T | 48.0 | 123.0 | 725 | G | 94.2 | 94.5 | 94.1 | 70 | 78 | 81 | 593.0 | 130% | 200% | D |
| 125 | 3600 | 3575 | 444TS | 32.0 | 138.0 | 908 | G | 94.0 | 94.6 | 94.5 | 85 | 89 | 89 | 184.0 | 120% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 444T | 42.0 | 143.0 | 908 | G | 95.1 | 95.3 | 95.0 | 78 | 84 | 86 | 368.0 | 160% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 445T | 44.0 | 144.0 | 908 | G | 94.7 | 94.9 | 94.5 | 77 | 84 | 86 | 554.0 | 140% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 447T | 54.0 | 152.0 | 908 | G | 94.1 | 94.2 | 93.6 | 70 | 79 | 82 | 742.0 | 130% | 200% | D |
| 150 | 3600 | 3575 | 445TS | 37.0 | 164.0 | 1085 | G | 94.8 | 95.2 | 95.0 | 84 | 89 | 90 | 220.0 | 120% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 445T | 45.0 | 170.0 | 1085 | G | 95.3 | 96.0 | 95.8 | 80 | 85 | 86 | 441.0 | 150% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 447T | 45.0 | 170.0 | 1085 | G | 95.4 | 95.6 | 95.0 | 81 | 86 | 87 | 665.0 | 125% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 447T | 72.0 | 186.0 | 1085 | G | 94.1 | 94.5 | 94.1 | 67 | 76 | 80 | 890.0 | 130% | 200% | D |
| 200 | 3600 | 3575 | 447TS | 40.0 | 216.0 | 1450 | G | 94.9 | 95.2 | 95.0 | 88 | 90 | 91 | 294.0 | 120% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 447T | 60.0 | 225.0 | 1450 | G | 96.0 | 96.1 | 95.8 | 81 | 86 | 87 | 588.0 | 150% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 449T | 55.0 | 226.0 | 1450 | G | 95.4 | 95.5 | 95.0 | 82 | 86 | 87 | 886.0 | 125% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 449T | 101.0 | 241.0 | 1450 | G | 94.8 | 94.9 | 94.5 | 71 | 79 | 82 | 1186.0 | 125% | 200% | D |
| 250 | 3600 | 3570 | 449TS | 45.0 | 267.0 | 1825 | G | 95.3 | 95.6 | 95.4 | 90 | 92 | 92 | 368.0 | 120% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 449T | 78.0 | 281.0 | 1825 | G | 95.8 | 96.0 | 95.8 | 80 | 85 | 87 | 735.0 | 140% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 449T | 75.0 | 280.0 | 1825 | G | 95.5 | 95.5 | 95.0 | 82 | 87 | 88 | 1108.0 | 120% | 200% | D |
| | 900 | 885 | 5449 | 111.0 | 303.0 | 1825 | G | 94.5 | 94.8 | 94.5 | 70 | 78 | 82 | 1481.0 | 105% | 200% | D |
| 300 | 3600 | 3575 | 449TS | 68.0 | 323.0 | 2200 | G | 95.2 | 95.8 | 95.8 | 86 | 90 | 91 | 441.0 | 100% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 449T | 110.0 | 346.0 | 2200 | G | 95.0 | 95.5 | 95.4 | 76 | 83 | 85 | 882.0 | 120% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 5449 | 90.0 | 336.0 | 2200 | G | 95.5 | 95.5 | 95.0 | 82 | 87 | 88 | 1329.0 | 105% | 200% | D |
| 350 | 3600 | 3570 | 5449TS | 87.0 | 369.0 | 2550 | G | 95.4 | 95.7 | 95.4 | 90 | 92 | 93 | 515.0 | 80% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 5449 | 115.0 | 390.0 | 2550 | G | 95.5 | 95.9 | 95.8 | 79 | 86 | 88 | 1029.0 | 100% | 200% | D |
| | 1200 | 1185 | 5449 | 133.0 | 395.0 | 2550 | G | 95.2 | 95.3 | 95.0 | 77 | 84 | 87 | 1551.0 | 100% | 200% | D |
| 400 | 3600 | 3570 | 5449TS | 80.0 | 418.0 | 2900 | G | 94.2 | 95.6 | 95.4 | 90 | 93 | 94 | 588.0 | 80% | 200% | D |
| | 1800 | 1785 | 5449 | 138.0 | 449.0 | 2900 | G | 95.7 | 96.0 | 95.8 | 79 | 85 | 87 | 1176.0 | 100% | 200% | - |
| | 1200 | 1185 | 5449 | 145.0 | 455.0 | 3260 | H* | 95.2 | 95.3 | 94.5 | 78 | 84 | 87 | 1772.0 | 100% | 200% | - |

*Diseño NEMA A F.S. 1.0 Clase F
Datos sujetos a cambios sin previo aviso

## Anexo K. Hoja técnica - VCL - Aceros Bohler

**VCL**

AISI : 4140
DIN : 42 Cr Mo 4
W N° : 1.7223/25

Tipo de aleación promedio : C 0,41 Cr 1,1 Mo 0,2 Si 0,2 Mn 0,7 %
Color de identificación : Verde - Blanco
Estado de suministro : Bonificado, 250-310 HB Típico. Ver tabla inf.
Largo Standard : 3,5 - 5 metros

**Acero especial de bonificación con aleación de cromo** molibdeno.

**Muy resistente a la tracción y a la torsión, como también a cambios de flexión. Se suministra en estado bonificado, lo que permite, en la mayoría de los casos, su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico adicional.**

**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos de dimensiones medianas, con grandes exigencias en las propiedades arriba mencionadas y también ciertos elementos para la construcción de motores, engranajes, pernos, tuercas, pines, émbolos, árboles de transmisión, ejes de bombas, cañones de armas para la cacería.

### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Forjado:** | 1050 | - | 850 °C |
| **Normalizado:** | 840 | - | 880 °C |
| **Recocido:** | 690 | - | 720 °C |
| Enfriamiento lento en el horno | | | |
| **Temple:** al aceite | 830 | - | 860 °C |
| al agua | 820 | - | 850 °C |
| **Dureza Obtenible:** | 52 | - | 56 HRC |
| **Revenido:** | 540 | - | 680 °C |
| **Nitrurar:** | | | 580 °C |

| Resistencia en estado Recocido | | CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| máx. N/mm² | Dureza Brinell máx. | Diámetro mm. desde | Diámetro mm. hasta | Límite de fluencia N/mm² | Resistencia a la tracción N/mm² | Elongación (Lo = 5d) % min. | Estricción % min. | Resilencia según DVM Joule |
| 770 | 241 | | 16 | 835 | 1030 - 1250 | 10 | 40 | 34 |
| | | 16 | 40 | 715 | 930 - 1130 | 11 | 45 | 41 |
| | | 40 | 100 | 595 | 830 - 1030 | 12 | 50 | 41 |
| | | 100 | 160 | 530 | 730 - 900 | 13 | 55 | 41 |
| | | 160 | 250 | 490 | 690 - 840 | 14 | 55 | 41 |

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

02

**Anexo L. Hoja técnica - H - Aceros Bohler**

| H | AISI : 1045<br>DIN : CK 45<br>W Nº : 1.1191 |
|---|---|

Tipo de aleación promedio : C 0,45 Si 0,3 Mn 0,7 %
Color de identificación : Rojo - Blanco - Rojo
Estado de suministro : Dureza natural 193 HB máx.

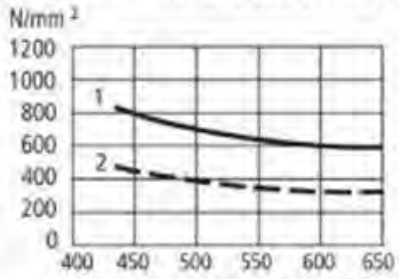
**ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD**
**Gran pureza de fabricación y estricto control de calidad.**

**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

**INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Forjar:** | 1100 | - | 850 °C |
| **Normalizar:** | 840 | - | 870 °C |
| **Recocer:** | 650 | - | 700 °C |
| Enfriamiento lento en el horno | | | |
| **Temple: al agua (*)** | 820 | - | 850 °C |
| **Dimensiones menores:** al aceite | 830 | - | 860 °C |
| **Revenido:** Según el uso | 100 | - | 300 °C |
| **Nitrurado:** en baño de sal | | | 580 °C |

**SOLDADURA:** Con soldadura especial de alta resistencia.
Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda un pre-calentamiento. Electrodos BÖHLER UTP 6020 ó 6824LC.



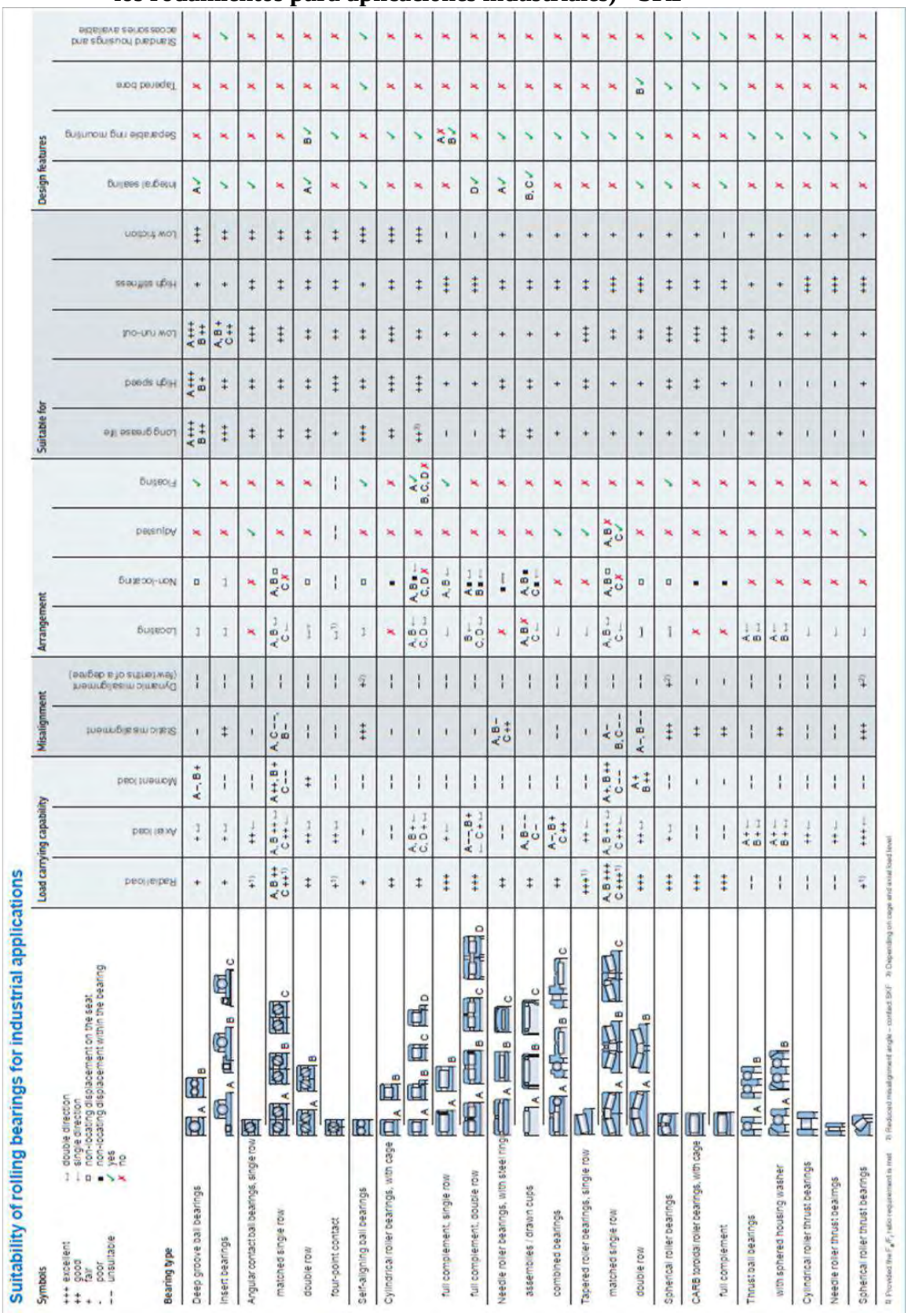

**1.- Resistencia a la tracción**
**2.- Límite de Fluencia**

| Estado | CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Diámetro mm. | Límite de fluencia N/mm² | Resistencia a la tracción N/mm² | Alargamiento (Lo = 5d) mín. % | Contracción mín. % |
| Natural | - | 370 | 650 | 15 | 35 |
| Recocido | 16 - 100<br>100 - 250 | 340<br>330 | 650 - 750<br>580 - 700 | 17<br>18 | 35<br>- |

(*) Consultar con el Departamento Técnico.

02

## Anexo M. Suitability of rolling bearings for industrial applications (Idoneidad de los rodamientos para aplicaciones industriales) - SKF



**Suitability of rolling bearings for industrial applications**

Symbols

+++ excellent
++ good
+ fair
. poor
-- unsuitable

↔ double direction
↕ single direction
□ non-locating displacement on the seat
■ non-locating displacement within the bearing
✓ yes
✗ no

| Bearing type | Load carrying capability: Radial load | Load carrying capability: Axial load | Load carrying capability: Moment load | Misalignment: Static misalignment | Misalignment: Dynamic misalignment (fewer than 4 to 5 degrees) | Arrangement: Locating | Arrangement: Non-locating | Arrangement: Adjusted | Arrangement: Floating | Suitable for: Long grease life | Suitable for: High speed | Suitable for: Low run-out | Suitable for: High stiffness | Suitable for: Low friction | Design features: Integral sealing | Design features: Separable ring mounting | Design features: Tapered bore | Design features: Standard housings and accessories available |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Deep groove ball bearings | + | + ↔ | A–, B+ | – | –– | ↕ | □ | ✗ | ✓ | A+++, B++ | A+++, B+ | A+++, B++ | + | +++ | A✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Insert bearings | + | + ↔ | –– | ++ | –– | ↕ | ↕ | ✗ | ✗ | +++ | ++ | A, B+, C++ | + | ++ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Angular contact ball bearings, single row | +1) | ++ ↕ | –– | – | –– | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| matched single row | A, B++, C++1) | A, B+++ ↔, C++ ↕ | A++, B+, C–– | A, C –, B– | –– | A, B ↔, C ↕ | A, B □, C ✗ | ✗ | ✗ | ++ | ++ | +++ | ++ | ++ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| double row | ++ | ++ ↔ | ++ | –– | –– | ↔ | □ | ✗ | ✗ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | A✓ | B✓ | ✗ | ✗ |
| four-point contact | +1) | ++ ↔ | –– | –– | –– | ↔1) | –– | –– | –– | + | +++ | ++ | ++ | ++ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Self-aligning ball bearings | + | – | –– | +++ | +2) | ↕ | □ | ✗ | ✓ | +++ | ++ | ++ | + | +++ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Cylindrical roller bearings, with cage | ++ | –– | –– | – | –– | ✗ | ■ | ✗ | ✗ | ++ | +++ | +++ | ++ | +++ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| full complement, single row | +++ | + ↕ | –– | –– | –– | ↕ | A, B ↕ | ✗ | ✓ | – | + | + | + | – | ✗ | A✗, B✓ | ✗ | ✗ |
| full complement, double row | +++ | A–, B+ ↕ C+ ↕ | –– | – | –– | B ↕ C, D ↕ | A■ ↕ B■ ↕ | ✗ | ✗ | – | + | + | +++ | – | D✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Needle roller bearings, with steel ring | ++ | –– | –– | A, B– C++ | –– | ✗ | ■ ↔ | ✗ | ✗ | ++ | ++ | + | ++ | + | A✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| assemblies / drawn cups | ++ | A, B– – C– | –– | – | –– | A, B✗ C ↕ | A, B■ C■ ↔ | ✗ | ✗ | ++ | ++ | + | ++ | + | B, C✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| combined bearings | ++ | A–, B+ C++ | –– | –– | –– | ↕ | ✗ | ✓ | ✗ | + | + | + | ++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Tapered roller bearings, single row | +++1) | ++ ↕ | –– | – | –– | ↕ | ✗ | ✓ | ✗ | + | ++ | +++ | ++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| matched single row | A, B+++ C+++1) | A, B+++ ↔ C++ ↕ | A+, B++ C–– | A– B, C–– | –– | A, B ↔ C ↕ | A, B □ C ✗ | A, B ✗ C ✓ | ✗ | + | +++ | ++ | +++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| double row | +++ | ++ ↔ | A+ B++ | A–, B––– | –– | ↔ | □ | ✗ | ✗ | + | + | ++ | +++ | + | ✓ | ✓ | B✓ | ✗ |
| Spherical roller bearings | +++ | + ↔ | –– | +++ | +2) | ↔ | □ | ✗ | ✓ | + | ++ | +++ | ++ | + | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| CARB toroidal roller bearings, with cage | +++ | –– | – | ++ | – | ✗ | ■ | ✗ | ✗ | + | ++ | +++ | ++ | + | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| full complement | +++ | –– | – | ++ | – | ✗ | ■ | ✗ | ✗ | – | + | +++ | ++ | – | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Thrust ball bearings | ––– | A+ ↕ B+ ↕ | ––– | ––– | ––– | A ↔ B ↕ | ✗ | ✗ | ✗ | + | – | ++ | + | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| with spherical housing washer | ––– | A+ ↔ B+ ↕ | ––– | ++ | ––– | A ↔ B ↕ | ✗ | ✗ | ✗ | + | – | + | + | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Cylindrical roller thrust bearings | ––– | ++ ↕ | ––– | ––– | ––– | ↕ | ✗ | ✗ | ✗ | – | – | + | +++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Needle roller thrust bearings | ––– | ++ ↕ | ––– | ––– | ––– | ↕ | ✗ | ✗ | ✗ | – | – | + | +++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Spherical roller thrust bearings | +1) | +++ ↔ | ––– | +++ | +2) | ↕ | ✗ | ✓ | ✗ | – | + | + | +++ | + | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |

1) Provided the $F_a/F_r$ ratio requirement is met  2) Reduced misalignment angle – contact SKF  3) Depending on cage and axial load level

**Anexo N. Tabla de peso aproximado para barras de acero redondas, cuadradas y hexagonales - Aceros Bohler**

## TABLA DE PESO APROXIMADO

Para barras de acero redondas, cuadradas y hexagonales. Peso en Kilos por Metro

Es muy importante considerar un porcentaje adicional de peso para el cálculo, teniendo en cuenta la disponibilidad del almacén y efectos del corte

| DIAMETROS | | ⌀ | □ | ⌀ |
|---|---|---|---|---|
| MILIMETROS | PULGADAS | | | |
| 3.18 | 1/8 | 0.07 | 0.08 | 0.07 |
| 6.35 | 1/4 | 0.25 | 0.32 | 0.28 |
| 7.94 | 5/16 | 0.39 | 0.50 | 0.43 |
| 9.53 | 3/8 | 0.56 | 0.72 | 0.62 |
| 10.00 | | 0.62 | 0.79 | 0.68 |
| 12.70 | 1/2 | 1.00 | 1.27 | 1.10 |
| 15.88 | 5/8 | 1.56 | 1.98 | 1.72 |
| 19.05 | 3/4 | 2.24 | 2.85 | 2.47 |
| 20.00 | | 2.47 | 3.14 | 2.72 |
| 22.23 | 7/8 | 3.05 | 3.88 | 3.36 |
| 25.40 | 1 | 3.98 | 5.07 | 4.39 |
| 28.58 | 1 1/8 | 5.04 | 6.41 | 5.56 |
| 30.00 | | 5.55 | 7.07 | 6.12 |
| 21.75 | 1 1/4 | 6.22 | 7.92 | 6.86 |
| 38.10 | 1 1/2 | 8.95 | 11.40 | 9.87 |
| 40.00 | | 9.87 | 12.56 | 10.58 |
| 44.45 | 1 3/4 | 12.19 | 15.52 | 13.44 |
| 50.00 | | 15.42 | 19.63 | 17.00 |
| 50.80 | 2 | 15.92 | 20.26 | 17.55 |
| 57.15 | 2 1/4 | 20.14 | 25.64 | 22.21 |
| 60.00 | | 22.20 | 28.26 | 24.48 |
| 63.50 | 2 1/2 | 24.87 | 31.66 | 27.42 |
| 70.00 | | 30.22 | 38.47 | 33.32 |
| 76.20 | 3 | 35.80 | 45.59 | 39.48 |
| 82.55 | 3 1/4 | 42.02 | 53.50 | 46.33 |
| 88.90 | 3 ½ | 48.73 | 62.05 | 53.73 |
| 100.00 | | 61.66 | 78.50 | 67.99 |
| 101.60 | 4 | 63.65 | 81.04 | 70.18 |
| 107.95 | 4 1/4 | 71.84 | 91.48 | 79.23 |
| 114.30 | 4 1/2 | 80.55 | 102.56 | 88.82 |
| 127.00 | 5 | 99.45 | 126.62 | 109.66 |
| 139.70 | 5 1/2 | 120.33 | 153.21 | 132.68 |
| 152.40 | 6 | 143.20 | 182.33 | 157.91 |
| 165.10 | 6 1/2 | 168.06 | 213.98 | 185.32 |
| 177.80 | 7 | 194.91 | 248.17 | 214.92 |
| 190.50 | 7 1/2 | 223.75 | 284.88 | 246.72 |
| 200.00 | | 246.62 | 314.00 | 271.94 |
| 203.20 | 8 | 254.57 | 324.13 | 280.72 |
| 215.90 | 8 1/2 | 287.39 | 365.92 | 316.90 |

| DIAMETROS | | ⌀ | □ | ⌀ |
|---|---|---|---|---|
| MILIMETROS | PULGADAS | | | |
| 228.60 | 9 | 323 | 411 | 356 |
| 241.30 | 9 1/2 | 359 | 458 | 396 |
| 250.00 | | 385 | 491 | 425 |
| 254.00 | 10 | 398 | 507 | 439 |
| 266.70 | 10 1/2 | 439 | 559 | 484 |
| 279.40 | 11 | 482 | 613 | 531 |
| 292.10 | 11 ½ | 527 | 670 | 581 |
| 279.40 | 11 | 482 | 613 | 531 |
| 300.00 | | 555 | 707 | 612 |
| 304.80 | 12 | 573 | 730 | 632 |
| 317.49 | 12 1/2 | 622 | 792 | 686 |
| 330.20 | 13 | 673 | 856 | 742 |
| 342.90 | 13 1/2 | 725 | 924 | 800 |
| 350.00 | | 756 | 962 | 833 |
| 355.60 | 14 | 780 | 993 | 860 |
| 368.30 | 14 1/2 | 837 | 1065 | 923 |
| 381.00 | 15 | 895 | 1140 | 987 |
| 393.70 | 15 1/2 | 956 | 1217 | 1054 |
| 400.00 | | 987 | 1256 | 1088 |
| 406.40 | 16 | 1019 | 1297 | 1123 |
| 419.10 | 16 1/2 | 1083 | 1379 | 1195 |
| 431.80 | 17 | 1150 | 1464 | 1268 |
| 444.50 | 17 1/2 | 1219 | 1552 | 1344 |
| 450.00 | | 1249 | 1590 | 1377 |
| 457.20 | 18 | 1289 | 1641 | 1422 |
| 469.90 | 18 1/2 | 1362 | 1734 | 1502 |
| 482.60 | 19 | 1436 | 1829 | 1584 |
| 495.30 | 19 1/2 | 1513 | 1926 | 1668 |
| 500.00 | | 1542 | 1963 | 1700 |
| 508.00 | 20 | 1592 | 2026 | 1755 |
| 520.70 | 20 1/2 | 1672 | 2129 | 1844 |
| 533.40 | 21 | 1755 | 2234 | 1935 |
| 546.10 | 21 1/2 | 1839 | 2342 | 2028 |
| 550.00 | | 1866 | 2375 | 2057 |
| 558.80 | 22 | 1926 | 2452 | 2123 |
| 571.50 | 22 1/2 | 2014 | 2564 | 2221 |
| 584.20 | 23 | 2105 | 2680 | 2321 |
| 596.90 | 23 ½ | 2197 | 2797 | 2423 |
| 600.00 | | 2220 | 2826 | 2448 |

La tabla considera una densidad de 7.85 kg/dm³

# Apéndice

# Apéndice A. Cálculo y definición de dimensiones de componentes



## Cálculo y definición de dimensiones de componentes

### 1.- Potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor usaremos las leyes que se presentan en el Anexo H[1], leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño, son tres, una de ellas es mencionada y aplicada en el Anexo A[2] para calcular la potencia del motor en molinos de grano, ley de Rittinger, con esa referencia, calcularemos la potencia aproximada del motor a usar para nuestro diseño.

Se considera la ecuación que relaciona la energía requerida para reducir el tamaño de una partícula:

$$\frac{dE}{dD} = -\frac{K}{D^n} \quad (4.3)$$

$$E = \frac{P}{\dot{m}} \quad (4.4)$$

Donde:

E = Energía requerida por unidad de masa (kW.h/t)

D = Diámetro medio de las partículas (mm)

K = Constante

P = Potencia consumida (kW)

m = flujo másico de alimentación (t/h)

n = potencia

**Ley de Kick**

Considera n = 1 en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K \, ln\left[\frac{D_{pa}}{D_{pp}}\right] \quad (4.5)$$

---

[1] Anexo H, "Cálculo de energía y potencia en equipos de reducción de tamaño", página 2.

[2] Anexo A, "Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas", página 2.

2

Donde:

$K_K$ = Constante de Kick

$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)

$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

**Ley de Rittinger**

Considera n = 2, en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R \left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}}\right] (4.6)$$

Donde:

$K_R$ = Constante de Rittinger

$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)

$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

**Ley de Bond**

Considera n = 1.5 en la Ecuación 4.3 e integra

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}}\right] (4.7)$$

Donde:

$K_B$ = Constante de Bond

$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)

$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

3

Las contantes de cada ley son alcanzadas en el Anexo I[3]:

$K_K$ = Constante de Kick = 30.42 $\frac{kW.h}{t}$

$K_R$ = Constante de Rittinger = 20.695 $\frac{kW.mm.h}{t}$

$K_B$ = Constante de Bond = 59.8702 $\frac{kW.mm^{\frac{1}{2}}.h}{t}$

Podemos ver que estas leyes están en función de la relación de reducción de partícula, el flujo másico de alimentación y una constante; el flujo másico, es un valor esperado en nuestro caso de diseño, para escogerlo con criterio y consecuencia, tomaremos como referencia los valores de la Tabla. 4.9, donde:

| **Molino de martillos fijos** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Características** | | **Número de Martillos** | | |
| | | **24** | **30** | **36** |
| Productividad aprox. (t/h) según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| | 0.476 cm | 1 | 1.2 | 1.5 |
| | 0.635 cm | 1.2 | 1.5 | 1.8 |
| Motor | potencia (kW) | 18.65 | 22.38 | 29.84 |

**Tabla. 4.19. Molinos de martillos fijos y su correlativa productividad.**

Debemos saber que el motor del molino trabaja más cuando el diámetro de hueco de la zaranda es menor, esto se hace notar en la Tabla. 4.19, podemos ver que la productividad en t/h disminuye cuando el diámetro del hueco también lo hace, esto es por qué el producto permanecerá más tiempo en la cámara hasta conseguir pasar por los agujeros de la zaranda. Teniendo presente esto, se calculará la potencia del motor bajo esas condiciones.

| **Molino de martillos fijos** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Características** | | **Número de Martillos** | | |
| | | **24** | **30** | **36** |
| Productividad aprox. (t/h) según diámetro de hueco de zaranda | 0.318 cm | 0.8 | 1 | 1.2 |
| Motor | potencia (kW) | 18.65 | 22.38 | 29.84 |

**Tabla. 4.20. Productividad con diámetro menor.**

Antes de aplicar las leyes para calcular la potencia debemos definir:

[3] Anexo I, "Molienda III Informe de laboratorio", página 24 y 26.

4

$D_{pp}$ = Diámetro medio de las partículas del producto (mm)

$D_{pp}$ = diámetro de hueco de zaranda = 3.18 mm

$D_{pa}$ = Diámetro medio de las partículas alimentadas (mm)

$$D_{pa} = \frac{ancho + espesor + largo}{3}$$

Medimos 5 muestras de grano de maíz y el promedio de cada medida fue:

$$D_{pa} = \frac{13 + 7 + 14.5}{3} = 11.5\ mm$$

Teniendo las constantes de cada ley, habiendo definido el flujo másico esperado, $D_{pp}$ y hallado $D_{pa}$, calcularemos la potencia del motor para cada molino según las tres leyes para calcular la energía y potencia en equipos de reducción de tamaño.

**Molino de 30 martillos**

Ley de Kick

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K\ ln\left[\frac{D_{pa}}{D_{pp}}\right] (4.5)$$

$$\frac{P}{1} = 30.42 \text{ x } ln\left[\frac{11.5}{3.18}\right]$$

$$P = 39.10 \text{ kW}$$

Ley de Rittinger

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R\left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}}\right] (4.6)$$

$$\frac{P}{1} = 20.695\left[\frac{1}{3.18} - \frac{1}{11.5}\right]$$

5

$$P = 4.71 \text{ kW}$$

Ley de Bond

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{po}}}\right] \quad (4.7)$$

$$\frac{P}{1} = 59.8702 \left[\frac{1}{\sqrt{3.18}} - \frac{1}{\sqrt{11.5}}\right]$$

$$P = 15.92 \text{ kW}$$

**Molino de 36 martillos**

Ley de Kick

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_K \, ln \left[\frac{D_{po}}{D_{pp}}\right] (4.5)$$

$$\frac{P}{1.2} = 30.42 \text{ x } ln \left[\frac{11.5}{3.18}\right]$$

$$P = 46.92 \text{ kW}$$

Ley de Rittinger

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_R \left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{po}}\right] (4.6)$$

$$\frac{P}{1.2} = 20.695 \left[\frac{1}{3.18} - \frac{1}{11.5}\right]$$

$$P = 5.65 \text{ kW}$$

Ley de Bond

$$E = \frac{P}{\dot{m}} = K_B \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{po}}}\right] \quad (4.7)$$

$$\frac{P}{1.2} = 59.8702 \left[\frac{1}{\sqrt{3.18}} - \frac{1}{\sqrt{11.5}}\right]$$

$$P = 19.10 \text{ kW}$$

6

| Molino | Ley de Kick | Ley de Rittinger | Ley de Bond | Comercial (Anexo J[4]) |
|---|---|---|---|---|
| 24 martillos | 31.28 kW | 3.77 kW | 12.7 kW | 14.92 kW |
| 30 martillos | 39.10 kW | 4.71 kW | 15.92 kW | 18.65 kW |
| 36 martillos | 46.92 kW | 5.65 kW | 19.10 kW | 22.38 kW |

**Tabla. 4.21. Potencias calculadas.**

**2.- Cálculo de fuerzas y reacciones presentes en el eje**

**2.1.- Cálculo de reacciones en los puntos de los rodamientos**

Definidas y halladas las distancias necesarias y calculado el peso del rotor de cada molino (Ver Tabla. 4.28), se resuelven las ecuaciones 4.8 y 4.9 para cada caso.

**Molino de 24 martillos**

Reemplazando:

$$R_{1Z} + R_{2Z} - P_{rotor} - 98.06 = 0 \ (4.8)$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} - 256N - 98.06N = 0$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} = 354.06N$$

$$\sum M_{1Z} = 0 \ (4.9)$$

$$256(0.173) + 98.06(0.4729) = R_{2Z}(0.3459)$$

$$R_{2Z} = 262.1N$$

$$R_{1Z} = 91.96\ N$$

[4] Anexo J, "Motores eléctricos", "SIEMENS", página 20 y 21.

**Molino de 30 martillos**

Reemplazando:

$$R_{1Z} + R_{2Z} - P_{rotor} - 98.06 = 0 \ (4.8)$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} - 354.47N - 98.06N = 0$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} = 452.53\ N$$

$$\sum M_{1Z} = 0 \ (4.9)$$

$$354.47(0.2016) + 98.06(0.5302) = R_{2Z}(0.4032)$$

$$R_{2Z} = 306.18N$$

$$R_{1Z} = 146.35\ N$$

**Molino de 36 martillos**

Reemplazando:

$$R_{1Z} + R_{2Z} - P_{rotor} - 98.06 = 0 \ (4.8)$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} - 466.67N - 98.06N = 0$$

$$R_{1Z} + R_{2Z} = 564.73N$$

$$\sum M_{1Z} = 0 \ (4.9)$$

$$466.67(0.2302) + 98.06(0.5873) = R_{2Z}(0.4603)$$

$$R_{2Z} = 358.5\ N$$

$$R_{1Z} = 206.23\ N$$

8

**Cálculo de fuerzas presentes en el sistema de transmisión de potencia**

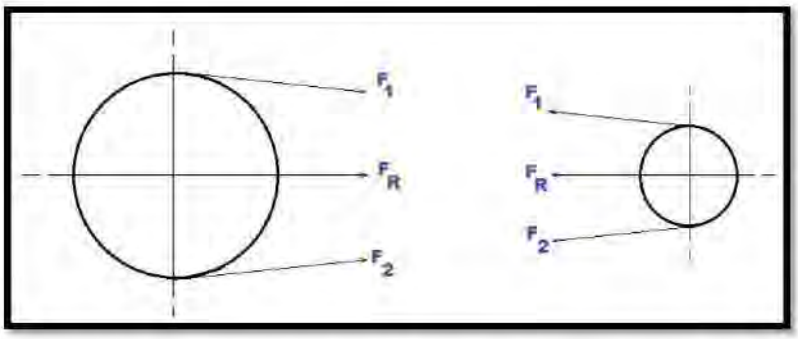



**Figura. 4.63. Fuerzas presentes en el sistema de transmisión de potencia.**

Para simplificaciones de cálculo asumiremos que los centros de eje están a la misma altura. Para el cálculo de las fuerzas presentes en la polea por efecto de la transmisión de potencia desde el motor, usaremos la siguiente ecuación:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\emptyset_{Pm}} \quad (4.10)^5$$

Donde:

$F_R$ = Fuerza resultante en el eje = $F_1 + F_2$

T = torque del motor

$\emptyset_{Pm}$ = diámetro de polea del motor

El torque es el del motor definido para el molino según su número de martillos (Ver Tabla. 4.23) y a las rpm correspondientes, donde se optó por tomar los siguientes valores:

[5] Robert L. Mott, "Diseño de Flechas y Ejes" "Diseño de elementos de máquinas", Segunda edición, página 291.

9

| Molino | Potencia de motor | Torque (N.m) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 18.65 kW | 100.33 |
| 30 martillos | 22.38 kW | 120.67 |
| 36 martillos | 29.84 kW | 161.34 |

**Tabla. 4.30. Potencia y torque de motor[6].**

El diámetro de la polea del motor es la polea de mayor diámetro, definido así en el apartado 4.5.9.2, para definir el diámetro de esta polea se toma como referencia las vistas en campo, igual a 25.4 cm.

Se resuelve la ecuación 4.10 para cada caso:

**Molino de 24 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\emptyset_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 100.33}{0.254} = 1185\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1185\ N$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$1185(0.4729) = R_{2Y}(0.3459)$$

$$R_{2Y} = 1620.08\ N$$

$$R_{1Y} = -435.08\ N$$

[6] Anexo J, "Catálogo general de motores eléctricos", "Siemens", página 20 y 21.

9

| Molino | Potencia de motor | Torque (N.m) |
|---|---|---|
| 24 martillos | 18.65 kW | 100.33 |
| 30 martillos | 22.38 kW | 120.67 |
| 36 martillos | 29.84 kW | 161.34 |

**Tabla. 4.30. Potencia y torque de motor[6].**

El diámetro de la polea del motor es la polea de mayor diámetro, definido así en el apartado 4.5.9.2, para definir el diámetro de esta polea se toma como referencia las vistas en campo, igual a 25.4 cm.

Se resuelve la ecuación 4.10 para cada caso:

**Molino de 24 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\phi_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 100.33}{0.254} = 1185\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1185\ N$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$1185(0.4729) = R_{2Y}(0.3459)$$

$$R_{2Y} = 1620.08\ N$$

$$R_{1Y} = -435.08\ N$$

[6] Anexo J, "Catálogo general de motores eléctricos", "Siemens", página 20 y 21.

10

**Molino de 30 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\emptyset_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 120.67}{0.254} = 1425.24\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1425.24\ N$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$1425.24(0.5302) = R_{2Y}(0.4032)$$

$$R_{2Y} = 1874.16\ N$$

$$R_{1Y} = -448.92\ N$$

**Molino de 36 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\emptyset_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 161.34}{0.254} = 1905.60\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1905.60\ N$$

10

**Molino de 30 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\phi_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 120.67}{0.254} = 1425.24\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1425.24\ N$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$1425.24(0.5302) = R_{2Y}(0.4032)$$

$$R_{2Y} = 1874.16\ N$$

$$R_{1Y} = -448.92\ N$$

**Molino de 36 martillos**

Reemplazando:

$$F_R = \frac{2 \times 1.5T}{\phi_{Pm}} \quad (4.10)$$

$$F_R = \frac{2 \times 1.5 \times 161.34}{0.254} = 1905.60\ N$$

Obtenida $F_R$ se hallan las reacciones en las chumaceras por efecto de estas fuerzas

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1Y} + R_{2Y} = 1905.60\ N$$

$$\sum M_{1z} = 0$$

$$1905.60(0.5873) = R_{2Y}(0.4603)$$

$$R_{2Y} = 2431.37\ N$$

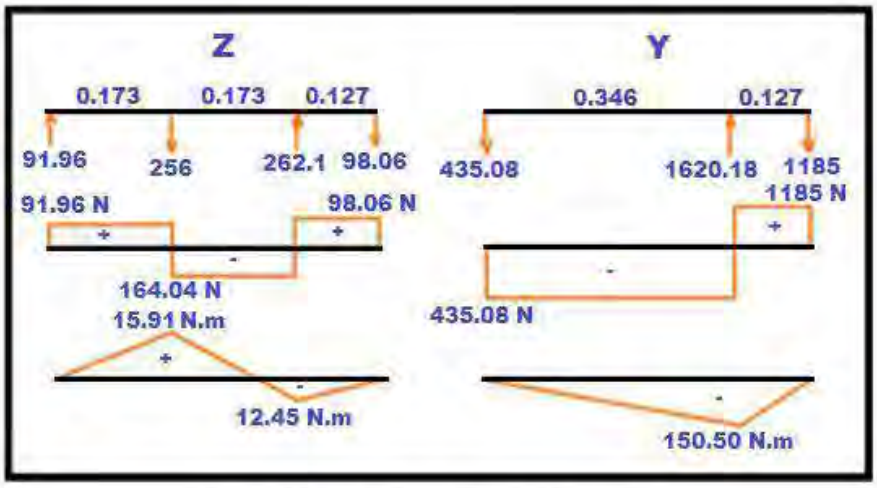
$$R_{1Y} = -525.77\ N$$

**Diagrama de fuerza cortante (DFC) y diagrama de momento flector (DMF)**

Hallados los valores de las fuerzas y reacciones en el eje, se dibuja el diagrama de fuerza cortante (DFC) y diagrama de momento flector (DMF) para cada caso de molino.

**Molino de 24 martillos**

DFC y DMF

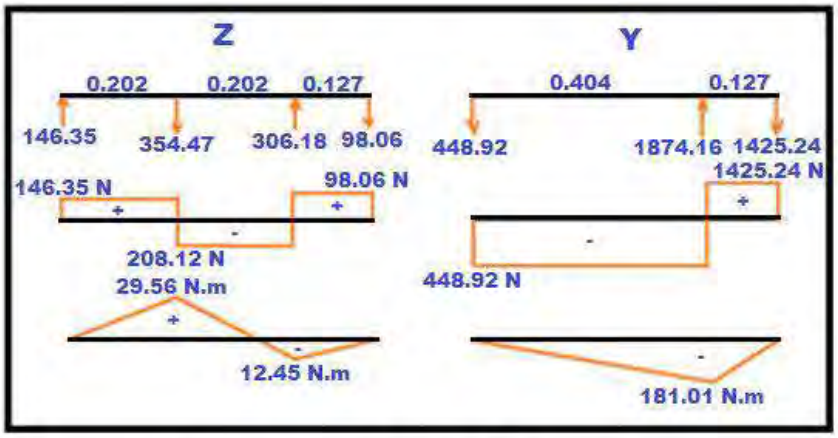



**DFC y DMF – eje de molino de 24 martillos.**

12

**Molino de 30 martillos**

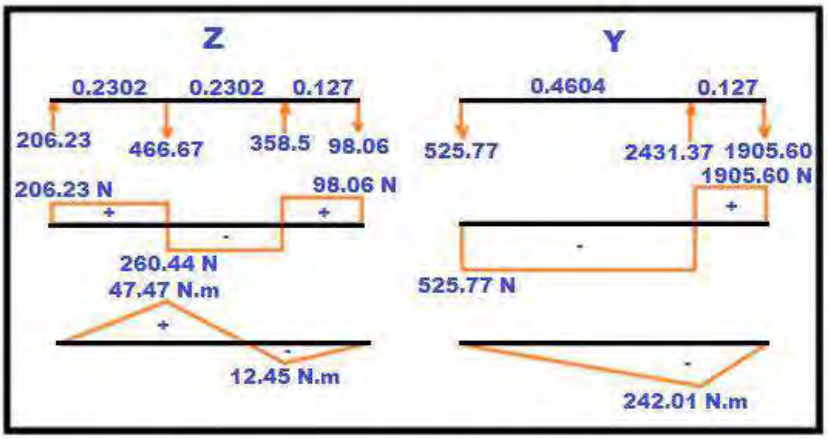
DFC y DMF




**DFC y DMF – eje de molino de 30 martillos.**

**Molino de 36 martillos**

DFC y DMF




**DFC y DMF – eje de molino de 36 martillos.**

**3.- Diámetro de eje**

**Molino de 30 martillos**

Reemplazando

**VCL**

$$\frac{S_{SD}}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(K_b M)^2 + (K_t T)^2]}\ (4.12)$$

$$\frac{133.88 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 183.41)^2 + (120.67)^2]}$$

$$d_0^3 = 11.42 \times 10^{-6} \times FS$$

**H**

$$\frac{81.64 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 183.41)^2 + (120.67)^2]}$$

$$d_0^3 = 18.74 \times 10^{-6} \times FS$$

| | Diámetro de eje (cm) | |
|---|---|---|
| **FS** | **VCL** | **H** |
| 1 | 2.25 | 2.66 |
| 2 | 2.84 | 3.35 |
| 3 | 3.25 | 3.83 |
| 4 | 3.57 | 4.22 |
| 5 | 3.85 | 4.54 |
| 6 | 4.10 | 4.83 |

**Tabla. Diámetro de eje de molino de 30 martillos – variando FS.**

**Molino de 36 martillos**

Reemplazando

**VCL**

$$\frac{S_{SD}}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(K_b M)^2 + (K_t T)^2]}\ (4.12)$$

$$\frac{133.88 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 246.62)^2 + (161.34)^2]}$$

14

$$d_0^3 = 15.35 \times 10^{-6} \times FS$$

**H**

$$\frac{81.64 \times 10^6}{FS} = \frac{16}{\pi d_0^3}\sqrt{[(1.5 \times 246.62)^2 + (161.34)^2]}$$

$$d_0^3 = 25.18 \times 10^{-6} \times FS$$

| | Diámetro de eje (cm) | |
|---|---|---|
| **FS** | **VCL** | **H** |
| 1 | 2.49 | 2.93 |
| 2 | 3.13 | 3.69 |
| 3 | 3.58 | 4.23 |
| 4 | 3.95 | 4.65 |
| 5 | 4.25 | 5.01 |
| 6 | 4.52 | 5.33 |

**Tabla. Diámetro de eje de molino de 36 martillos – variando FS.**

**4.- Chumaceras y rodamientos**

**Molino de 30 martillos**

$$T_{eje} = \frac{T_{motor}}{r_{polea\,motor}} \times r_{polea\,molino} = \frac{120.67\ N.m}{0.127m} \times 0.0762 = 72.40\ N.m$$

$$P_{eje\,promedio} = \frac{(0.6445 \times 8.95) + (0.6445 \times 12.19)}{2} = 6.81\ N$$

Carga dinámica

$$T = F \times r_{eje}\ (4.13)$$

$$F_{VCL} = 4056.02\ N$$

$$F_H = 3431.28\ N$$

Los radios de eje para la ecuación 4.13 se toman de los valores de la Tabla. 4.37

Carga estática

$$P = P_{eje} + P_{rotor} + P_{polea}$$

$$P = 6.81 + 354.47 + 98.06 = 459.34\ N$$

**Molino de 36 martillos**

$$T_{eje} = \frac{T_{motor}}{r_{polea\ motor}} \times r_{polea\ molino} = \frac{161.34\ N.m}{0.127m} \times 0.0762 = 96.80\ N.m$$

$$P_{eje\ promedio} = \frac{(0.6717 \times 9.87) + (0.6717 \times 15.42)}{2} = 8.49\ N$$

Carga dinámica

$$T = F \times r_{eje}\ (4.13)$$

$$F_{VCL} = 4901.27\ N$$

$$F_H = 4163.44\ N$$

Los radios de eje para la ecuación 4.13 se toman de los valores de la Tabla. 4.37

Carga estática

$$P = P_{eje} + P_{rotor} + P_{polea}$$

$$P = 8.49 + 466.67 + 98.06 = 573.22\ N$$

## Apéndice B. Simulación de ensamble - Análisis estático - SolidWorks

# Simulación de ensamble

**Año**: 2018
**Diseñador**: Armando Atarama
**Nombre de estudio**: Análisis estático de ensamble
**Tipo de análisis**: Análisis estático

## Tabla de contenidos

Información de modelo ..... 2
Propiedades de estudio ..... 3
Unidades ..... 3
Propiedades de material ..... 4
Cargas y sujeciones ..... 5
Información de contacto ..... 7
Información de malla ..... 8
Fuerzas resultantes ..... 10
Resultado de estudios ..... 11

## Información de modelo

**Nombre del modelo:** ensamble
**Configuración actual:** Predeterminado

**Sólidos**

| Nombre de documento y referencia | Tratado como | Propiedades volumétricas | Ruta al documento/Fecha de modificación |
|---|---|---|---|
| Cortar-Extruir20 | Sólido | Masa:3.91834 kg<br>Volumen:0.000499151 m^3<br>Densidad:7850 kg/m^3<br>Peso:38.3997 N | 2018 |
| Redondeo3 | Sólido | Masa:0.3053 kg<br>Volumen:4.24028e-005 m^3<br>Densidad:7200 kg/m^3<br>Peso:2.99194 N | 2018 |
| Sólido-Mover/Copiar1 | Sólido | Masa:0.3053 kg<br>Volumen:4.24028e-005 m^3<br>Densidad:7200 kg/m^3<br>Peso:2.99194 N | 2018 |

## Propiedades de estudio

| | |
|---|---|
| **Nombre de estudio** | Análisis estático ensamble |
| **Tipo de análisis** | Análisis estático |
| **Tipo de malla** | Malla sólida |
| **Efecto térmico:** | Activar |
| **Opción térmica** | Incluir cargas térmicas |
| **Temperatura a tensión cero** | 298 Kelvin |
| **Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation** | Desactivar |
| **Tipo de solver** | FFEPlus |
| **Efecto de rigidización por tensión (Inplane):** | Desactivar |
| **Muelle blando:** | Desactivar |
| **Desahogo inercial:** | Desactivar |
| **Opciones de unión rígida incompatibles** | Automático |
| **Gran desplazamiento** | Activar |
| **Calcular fuerzas de cuerpo libre** | Activar |
| **Fricción** | Desactivar |
| **Utilizar método adaptativo:** | Desactivar |
| **Carpeta de resultados** | Documento de SOLIDWORKS |

## Unidades

| | |
|---|---|
| **Sistema de unidades:** | Métrico (MKS) |
| **Longitud/Desplazamiento** | mm |
| **Temperatura** | Kelvin |
| **Velocidad angular** | Rad/seg |
| **Presión/Tensión** | N/m^2 |

## Propiedades de material

| Referencia de modelo | Propiedades | | Componentes |
|---|---|---|---|
| | **Nombre:** | AISI 1045 Acero estirado en frío | Sólido 1(Cortar-Extruir20)(eje h-1) |
| | **Tipo de modelo:** | Isotrópico elástico lineal | |
| | **Criterio de error predeterminado:** | Desconocido | |
| | **Límite elástico:** | 5.3e+008 N/m^2 | |
| | **Límite de tracción:** | 6.25e+008 N/m^2 | |
| | **Módulo elástico:** | 2.05e+011 N/m^2 | |
| | **Coeficiente de Poisson:** | 0.29 | |
| | **Densidad:** | 7850 kg/m^3 | |
| | **Módulo cortante:** | 8e+010 N/m^2 | |
| | **Coeficiente de dilatación térmica:** | 1.2e-005 /Kelvin | |
| Datos de curva:N/A | | | |
| | **Nombre:** | Fundición gris (SN) | Sólido 1(Redondeo3)(soporte rodamiento-1), Sólido 1(Sólido-Mover/Copiar1)(soporte rodamiento1-1) |
| | **Tipo de modelo:** | Isotrópico elástico lineal | |
| | **Criterio de error predeterminado:** | Desconocido | |
| | **Límite de tracción:** | 1.51658e+008 N/m^2 | |
| | **Límite de compresión:** | 5.72165e+008 N/m^2 | |
| | **Módulo elástico:** | 6.61781e+010 N/m^2 | |
| | **Coeficiente de Poisson:** | 0.27 | |
| | **Densidad:** | 7200 kg/m^3 | |
| | **Módulo cortante:** | 5e+010 N/m^2 | |
| | **Coeficiente de dilatación térmica:** | 1.2e-005 /Kelvin | |
| Datos de curva:N/A | | | |

## Cargas y sujeciones

| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción | Detalles de sujeción |
|---|---|---|
| Fijo-1 | | **Entidades:** 1 cara(s)<br>**Tipo:** Geometría fija |

**Fuerzas resultantes**

| Componentes | X | Y | Z | Resultante |
|---|---|---|---|---|
| Fuerza de reacción(N) | -0.121713 | -34.1206 | -604.819 | 605.78 |
| Momento de reacción(N.m) | 0 | 0 | 0 | 0 |

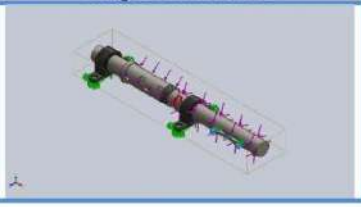
| Nombre de sujeción | Imagen de sujeción | Detalles de sujeción |
|---|---|---|
| Fijo-2 | | **Entidades:** 2 cara(s)<br>**Tipo:** Geometría fija |

**Fuerzas resultantes**

| Componentes | X | Y | Z | Resultante |
|---|---|---|---|---|
| Fuerza de reacción(N) | 1.3411e-007 | 660.854 | -0.294338 | 660.854 |
| Momento de reacción(N.m) | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Nombre de carga | Cargar imagen | Detalles de carga |
|---|---|---|
| Fuerza-1 | | **Entidades:** 1 cara(s)<br>**Tipo:** Aplicar fuerza normal<br>**Valor:** 83.55 N |
| Torsión-1 | | **Referencia:** Cara< 1 ><br>**Tipo:** Aplicar momento torsor<br>**Valor:** -36.61 N.m |
| Fuerza-2 | | **Entidades:** 1 cara(s)<br>**Tipo:** Aplicar fuerza normal<br>**Valor:** 49.55 N |
| Centrífuga-1 | | **Centrífuga, Ref:** Cara< 1 ><br>**Velocidad angular:** -366.52 rad/s<br>**Aceleración angular:** 0 rad/s^2 |
| Fuerza-3 | | **Entidades:** 1 cara(s)<br>**Tipo:** Aplicar fuerza normal<br>**Valor:** -720.615 N |

## Información de contacto

| Contacto | Imagen del contacto | Propiedades del contacto |
|---|---|---|
| Contacto global |  | **Tipo:** Unión rígida<br>**Componentes:** 1 componente(s)<br>**Opciones:** Mallado compatible |

## Información de malla

| | |
|---|---|
| **Tipo de malla** | Malla sólida |
| **Mallador utilizado:** | Malla estándar |
| **Transición automática:** | Desactivar |
| **Incluir bucles automáticos de malla:** | Desactivar |
| **Puntos jacobianos** | 4 Puntos |
| **Tamaño de elementos** | 0.00836055 m |
| **Tolerancia** | 0.000418027 m |
| **Calidad de malla** | Elementos cuadráticos de alto orden |
| **Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible** | Desactivar |

Información de malla - Detalles

| | |
|---|---|
| **Número total de nodos** | 18073 |
| **Número total de elementos** | 10432 |
| **Cociente máximo de aspecto** | 20.791 |
| **% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3** | 80.7 |
| **% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10** | 2.64 |
| **% de elementos distorsionados (Jacobiana)** | 0 |
| **Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):** | 00:00:03 |
| **Nombre de computadora:** | PC |

## Fuerzas resultantes

### Fuerzas de reacción

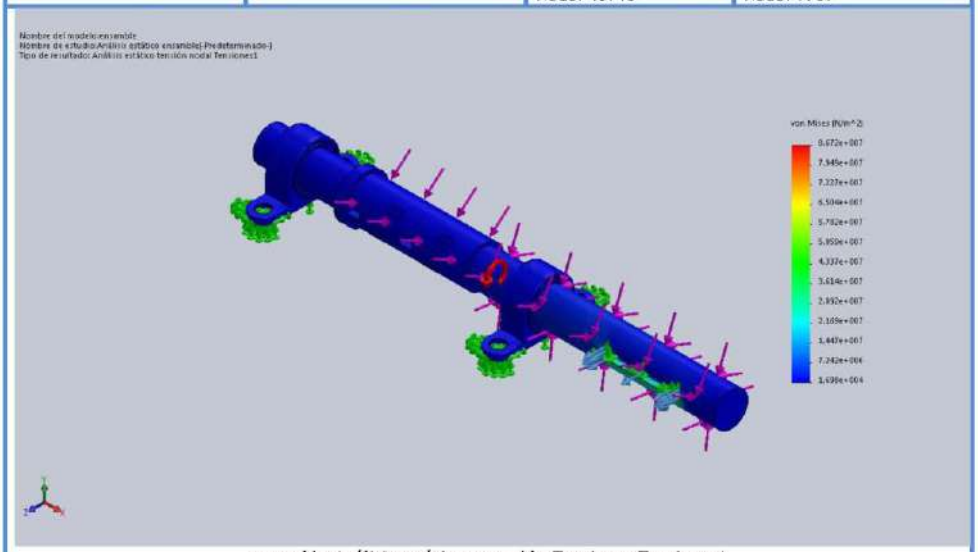
| Conjunto de selecciones | Unidades | Sum X | Sum Y | Sum Z | Resultante |
|---|---|---|---|---|---|
| Todo el modelo | N | -0.121713 | 626.733 | -605.113 | 871.181 |

### Momentos de reacción

| Conjunto de selecciones | Unidades | Sum X | Sum Y | Sum Z | Resultante |
|---|---|---|---|---|---|
| Todo el modelo | N.m | 0 | 0 | 0 | 0 |

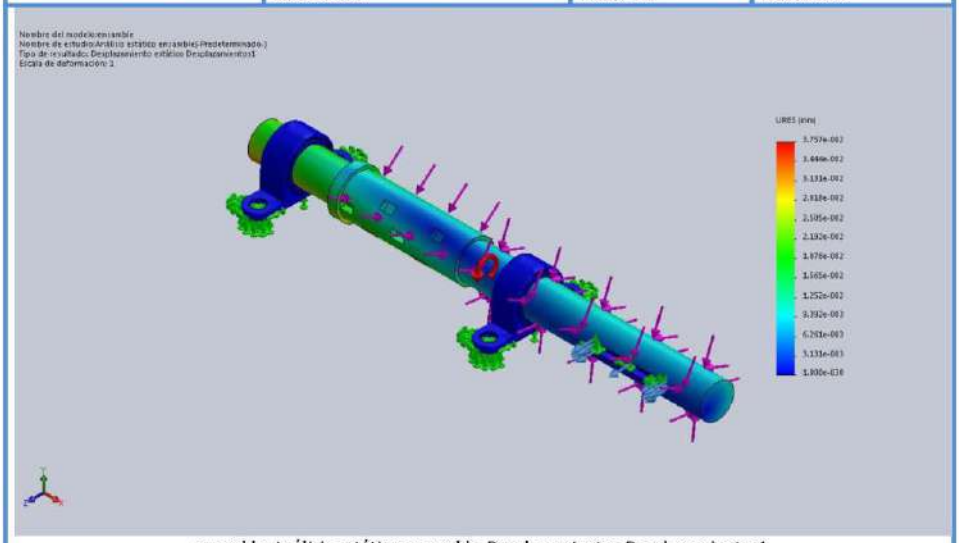
## Resultados del estudio

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Tensiones1 | VON: Tensión de von Mises | 16975.9 N/m^2<br>Nodo: 13710 | 8.67151e+007 N/m^2<br>Nodo: 9709 |



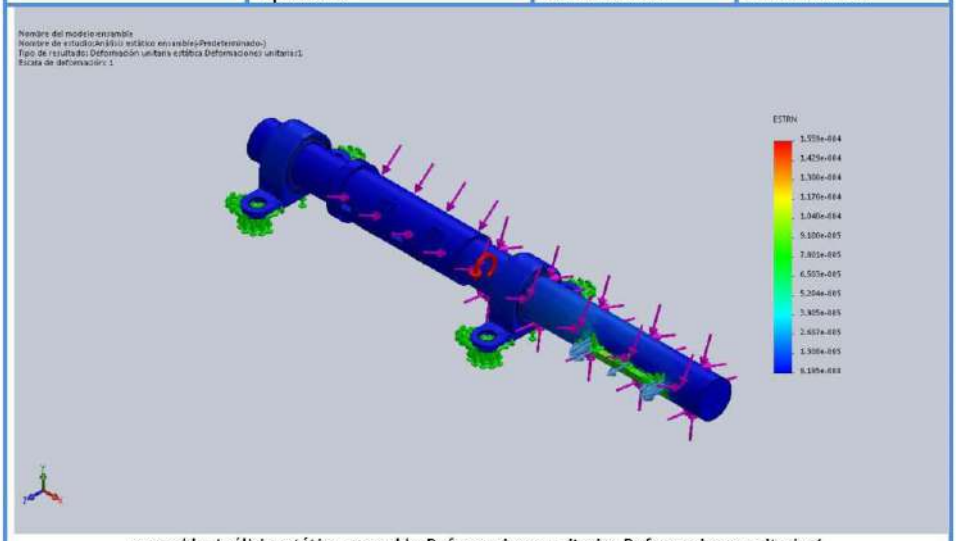
ensamble-Análisis estático ensamble-Tensiones-Tensiones1

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Desplazamientos1 | URES: Desplazamientos resultantes | 0 mm<br>Nodo: 737 | 0.0375687 mm<br>Nodo: 8767 |



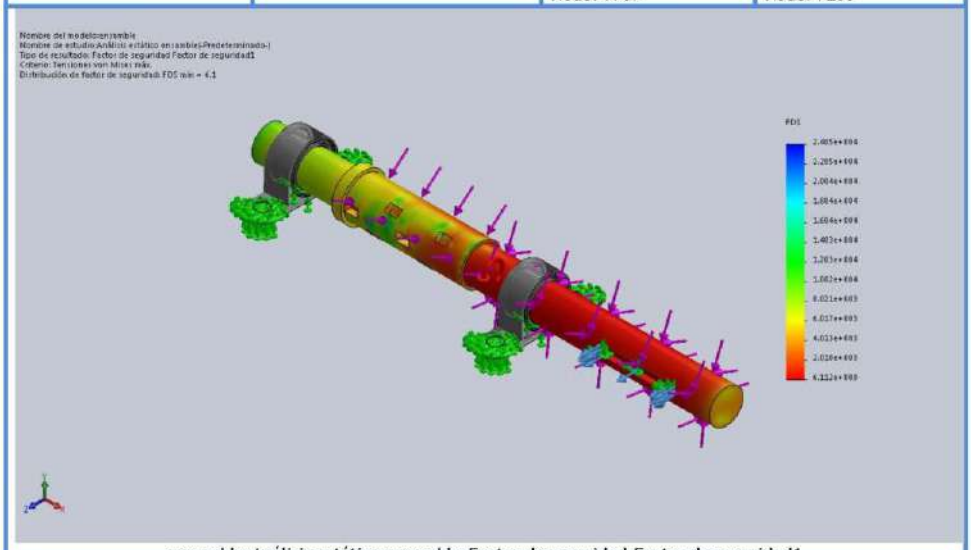

ensamble-Análisis estático ensamble-Desplazamientos-Desplazamientos1

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Deformaciones unitarias1 | ESTRN: Deformación unitaria equivalente | 9.19549e-008<br>Elemento: 3575 | 0.000155936<br>Elemento: 5382 |



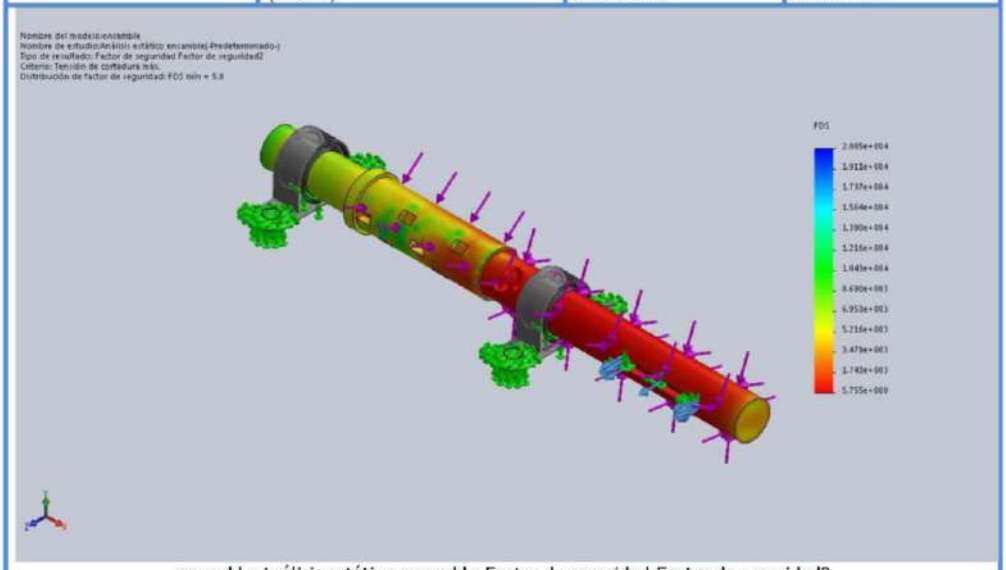

ensamble-Análisis estático ensamble-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Factor de seguridad1 | Tensión de von Mises máx. | 6.11197<br>Nodo: 9709 | 24049.8<br>Nodo: 7200 |




ensamble-Análisis estático ensamble-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Factor de seguridad2 | Tensión de cortadura máx. (Tresca) | 5.75483<br>Nodo: 9709 | 20847.4<br>Nodo: 7200 |




ensamble-Análisis estático ensamble-Factor de seguridad-Factor de seguridad2

## Apéndice C. Simulación

Universidad de Piura

# Simulación de fatiga de ensamble

**Año:** 2018
**Diseñador:** Armando Atarama
**Nombre de estudio:** Fatiga ensamble
**Tipo de análisis:** Fatiga (Amplitud constante)

## Tabla de contenidos

Información de modelo ..... 2
Propiedades de estudio ..... 3
Unidades ..... 3
Propiedades de material ..... 4
Opciones de carga ..... 4
Resultados del estudio ..... 5

## Información de modelo

**Nombre del modelo:** fatiga ensamble
**Configuración actual:** Predeterminado

**Sólidos**

| Nombre de documento y referencia | Tratado como | Propiedades volumétricas | Ruta al documento/Fecha de modificación |
|---|---|---|---|
| Cortar-Extruir20 | Sólido | Masa:3.91834 kg<br>Volumen:0.000499151 m^3<br>Densidad:7850 kg/m^3<br>Peso:38.3997 N | 2018 |
| Redondeo3 | Sólido | Masa:0.332862 kg<br>Volumen:4.24028e-005 m^3<br>Densidad:7850 kg/m^3<br>Peso:3.26205 N | 2018 |
| Sólido-Mover/Copiar1 | Sólido | Masa:0.332862 kg<br>Volumen:4.24028e-005 m^3<br>Densidad:7850 kg/m^3<br>Peso:3.26205 N | 2018 |

## Propiedades de estudio

| | |
|---|---|
| **Nombre de estudio** | Fatiga ensamble |
| **Tipo de análisis** | Fatiga (Amplitud constante) |
| **Interacción entre sucesos** | Aleatoria |
| **Calcular tensiones alternas usando** | Intensidad de tensión (P1-P3) |
| **Cara de elemento SHELL** | Cara superior |
| **Corrección de la tensión media** | Ninguno |
| **Factor de reducción de resistencia a la fatiga** | 1 |
| **Vida infinita** | Desactivar |
| **Carpeta de resultados** | Documento de SOLIDWORKS |

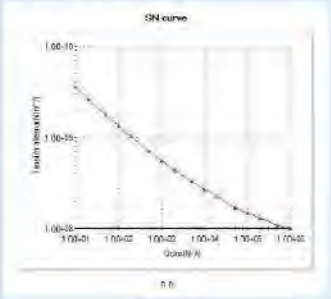
## Unidades

| | |
|---|---|
| **Sistema de unidades:** | Métrico (MKS) |
| **Longitud/Desplazamiento** | mm |
| **Temperatura** | Kelvin |
| **Velocidad angular** | Rad/seg |
| **Presión/Tensión** | N/m^2 |

## Propiedades de material

| Referencia de modelo | Propiedades | | Componentes |
|---|---|---|---|
| | **Nombre:**<br>**Tipo de modelo:**<br>**Criterio de error predeterminado:** | AISI 1045 Acero estirado en frío<br>Isotrópico elástico lineal<br>Tensión de von Mises máx. | Sólido 1(Cortar-Extruir20) (eje h-1),<br>Sólido 1(Redondeo3) (soporte rodamiento-1),<br>Sólido 1(Sólido-Mover/Copiar1) (soporte rodamiento1-1) |

Datos de curva:



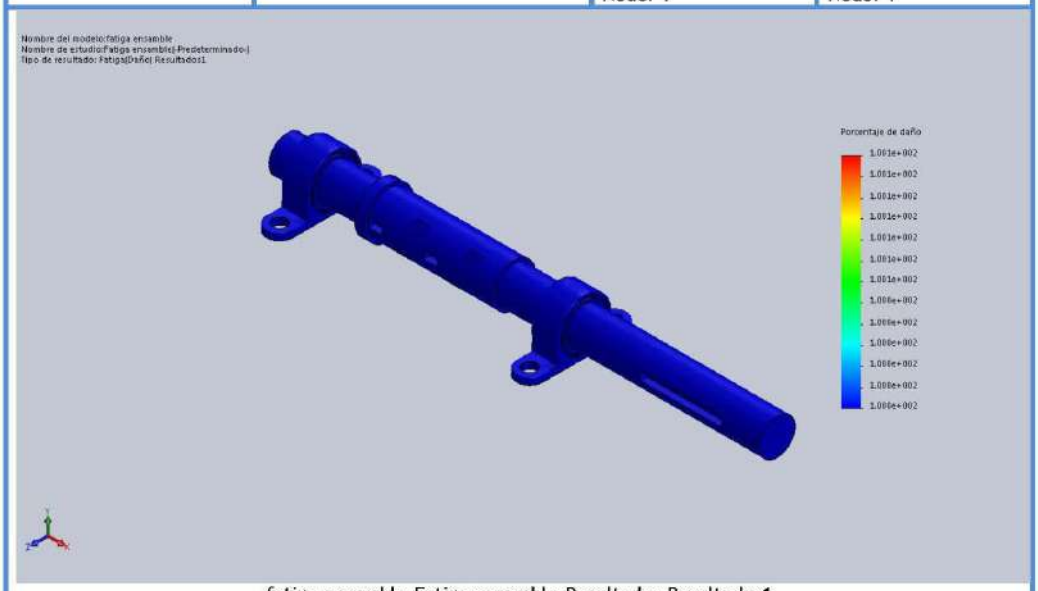

SN curve

## Opciones de carga

| Nombre del evento | N.º de ciclos | Tipo de carga | Asociación de estudios | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Nombre de estudio | Factor de escala | Incremento |
| Suceso-1 | 1000000 | Completamente invertida (LR=-1) | Análisis estático ensamble | 1 | 0 |

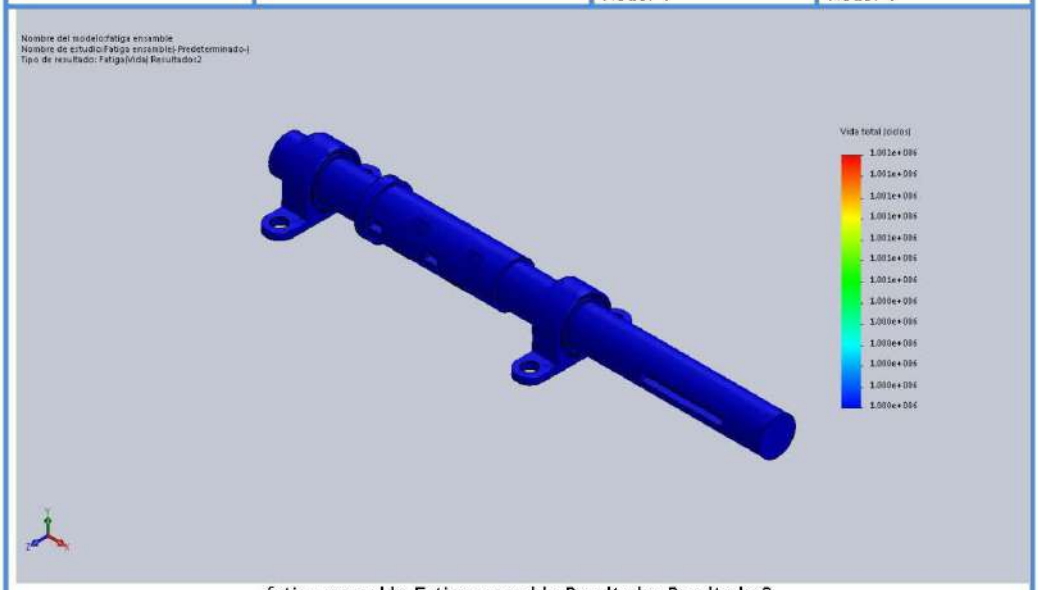
## Resultados del estudio

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Resultados1 | Daño acumulado | 100<br>Nodo: 1 | 100<br>Nodo: 1 |



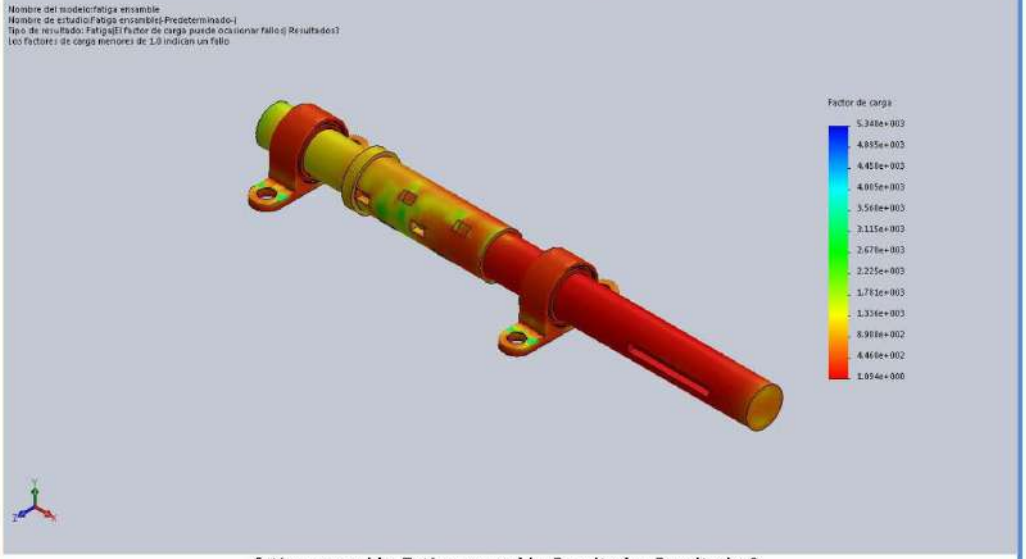

fatiga ensamble-Fatiga ensamble-Resultados-Resultados1

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Resultados2 | Vida total | 1e+006 ciclos<br>Nodo: 1 | 1e+006 ciclos<br>Nodo: 1 |



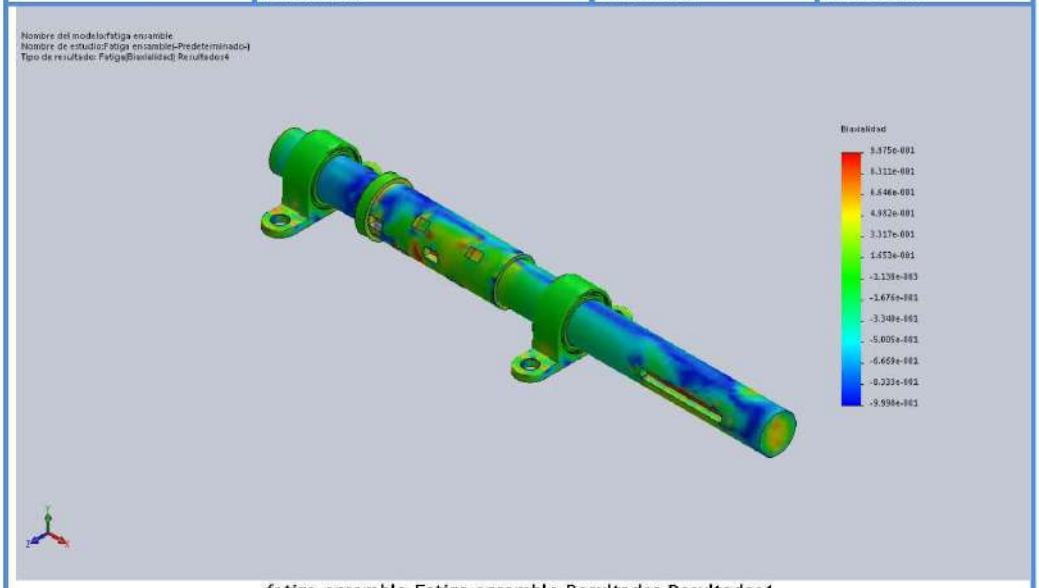

fatiga ensamble-Fatiga ensamble-Resultados-Resultados2

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Resultados3 | Factor de carga | 1.09415<br>Nodo: 9709 | 5339.61<br>Nodo: 13710 |




fatiga ensamble-Fatiga ensamble-Resultados-Resultados3

| Nombre | Tipo | Mín. | Máx. |
|---|---|---|---|
| Resultados4 | Trazado de indicador de biaxialidad | -0.999768<br>Nodo: 8158 | 0.997492<br>Nodo: 2871 |




fatiga ensamble-Fatiga ensamble-Resultados-Resultados4