

APUNTES DE

TECNOLOGÍA MECÁNICA

Profesor Ing. León F. Schmid

ÍNDICE

Pag.

CAPÍTULO I -

METROLOGÍA..... 7

Medición, 7. - Exactitud de las medidas obtenidas, 7. - Errores de medición, 7. - Unidades, 8. - Influencia de la temperatura en la medición, 9. - Elementos de medición, 9. - Por lectura directa, 9. - Por comparación, 9. - Regla milimetrada, 9. - Calibre o Pié de Rey, 10. - Ejemplo de medición con calibre, 10. - Diferentes clases de calibres, 11.- Tornillo micrométrico, 12. - Micrómetro o Palmer, 12. - Ejemplo de medición, 13. - Distintos tipos de micrómetros, 15. - Micrómetro de profundidad, 15. - Micrómetro para interiores, 15. - Calibre con nonio micrométrico, 15. - Esferómetro, 15. - Medición del espesor de una pieza, 16. - Medición del radio de una esfera, 16. - Falsas escuadras, 17. - Goniómetros, 17. - Escuadras, 17. - Transportador universal, 18. - Regla de senos, 18. - Comparadores, 19. - Calibres de tolerancia, 20. - Calibres para pernos o ejes, 20. - Calibres para agujeros cilíndricos, 20. - Calibres para espesores de superficies planas, 20. - Calibres para agujeros cónicos y tronco cónicos, 20. - Calibres para roscas, 20. - Calibres para radios, 21. - Sondas o calibres de espesores, 21. - Peines o calibres para roscas, 21. - Ajustes y tolerancias, 21. - Medida nominal (N), 22. - Medidas límites, 22. - Medida máxima (Max), 20. - Medida mínima (Min), 20. - Tolerancia (T), 20. - Diferencia superior (DS), 22. - Diferencia inferior (DI), 22. - Dimensión o medida real (MR), 22. - Distintas formas de acotar medidas, 23. - Ajustes, 23. - Juego (J), 23. - Deslizamiento (Dz), 23. - Aprieto (A), 23. - Juego máximo (Jmax), 23. - Juego mínimo (Jmin), 23. - Aprieto máximo (Amax), 23. - Aprieto mínimo (Amin), 23. - Grado de ajustes, 24. - Precisión, 24. - Grado de precisión, 24. - Tolerancias fundamentales o calidades, 24. - 1º Calidad extra precisa, 24. - 2º Calidad precisa o fina, 24. - 3º Calidad ordinaria, mediana o corriente, 24. - 4º Calidad basta o gruesa, 24. - Sistemas de ajustes, 24. - Sistema de agujero único (agujero base), 24. - Sistema de eje único (eje base), 24. - Bibliografía, 29.

CAPÍTULO II –

ROZAMIENTO..... 31

Rozamiento de primera especie o de deslizamiento, 31. – Primera ley, 32. – Segunda ley, 32. – Tercera ley, 32. – Determinación experimental del coeficiente de rozamiento, 32. – Ángulo y cono de rozamiento, 33. – Ecuaciones del movimiento en el plano inclinado con rozamiento, 33. – Trabajo contra la fuerza de rozamiento, 35. – Trabajo de rozamiento en gorriones, 35. – Trabajo de rozamiento en pivotes o quicios, 37. – 1 Caso ac) Pivote nuevo macizo, 38. – 2 Caso bc) Pivote usado macizo, 38. – 3 Caso ad) Pivote nuevo con agujero central, 39. – 4 Caso bd) Pivote usado con agujero central, 39. – Medición de potencias mediante frenos dinamométricos, 40. – Freno de Navier, 41. – Freno de Froude o Thorneycroft, 41. – Frenos de zapatas, 42. – Primer caso, 43. – Segundo caso, 43. – Tercer caso, 44. – Rozamiento de segunda especie, 44. – Primera ley, 45. – Segunda ley, 45. – Transporte sobre rodillos, 46. – Trabajo absorbido por el rozamiento, 47. – Esfuerzos en órganos flexibles con rozamiento, 48. - a) Rozamiento entre eje y cojinete, 48. – b) Deformación (ξ) de la cuerda, 49. – Resistencia al deslizamiento de una lámina sobre un tambor. Teorema de Prony, 49. – Frenos de cintas, 52. – a) Freno simple, 52. – b) Freno diferencial, 53. – c) Freno totalizador, 54. – Plano inclinado considerando el rozamiento, 55. – Tornillo de movimiento, 58. – Bibliografía, 61.

CAPÍTULO III –

ELEMENTOS DE MÁQUINAS.....63

Órganos de unión, 63. – Uniones fijas e inamovibles, 63. – Cálculo de roblones, 65. – Resistencia del roblón al corte simple, 65. – Cálculo de verificación al aplastamiento, 67. – Cálculo de verificación al desgarramiento, 68. - Roblonado a cubrejuntas, 68. – Fórmulas de cálculo de roblones, 69. – Uniones soldadas, 70. – Soldadura oxiacetilénica, 70. – Zonas de temperaturas en la llama del soplete, 72. – Métodos de soldaduras, 73. – Soldadura eléctrica por arco voltaico, 74. – Proceso de soldadura, 75. – Soldadura aluminotérmica, 76. – Soldadura por resistencia eléctrica y presión, 76. – Soldadura por puntos, 77. – Soldadura por costura, 78. – Soldadura con resaltes, 78. – Soldadura al tope, 79. – Soldadura por arco de chisporroteo, 79. – Cálculo de soldadura por fusión, 79. – Uniones móviles (tornillos de fijación), 84. – Tipos de roscas, 85. – Rosca Wihtworth, 85. – Rosca Internacional, 86. – Tipos de tornillos, 87. – Roscas del grupo b, 88. – a) Rosca cuadrada, 88. – b) Rosca diente de sierra, 89. – c) Rosca trapecial, 89. – d) Rosca redonda, 89. – Cálculo de la resistencia de un tornillo, 89. – Cálculo de la altura de la tuerca, 91. – Cálculo de la altura de la cabeza del tornillo, 93. – Muelles o resortes, 93. – Almacenaje de energía por los resortes, 94. – Cálculo de muelles, 94. – Muelles de tracción y compresión, 94. – Muelle de anillos elásticos, 95. – Muelle de plato (de flexión), 96. – Muelle de flexión de ballesta recto, 97. – Muelle de torsión, 98. – a) Resorte a torsión de barra cilíndrica recta, 98. – b) Muelle helicoidal de sección circular, 99. – Bibliografía, 103.

CAPÍTULO IV-

ENGRANAJES.....105

Clasificación de los engranajes, 105. – 1 Ruedas de ejes paralelos, 106. – 2 Ruedas cuyos ejes se cortan, 106. – 3 Ruedas cuyos ejes se cruzan en el espacio, 107. – 4 Engranaje de rueda y tornillo sinfín, 107. – Elementos de los engranajes cilíndricos. Notación, 107. – Paso circunferencial p_c , 108. – Paso diametral en pulgadas (Diametral Pitch) p_d , 108. – Módulo o paso diametral M , 108. – Circunferencia de fondo (interior) o de raíz, 109. – Circunferencia de cabeza o exterior, 109. – Circunferencia primitiva, 109. – Altura de la cabeza del diente o adendo, 109. – Altura del pié del diente o dedendo, 109. – Altura del diente, 109. – Espesor del diente, 109. – Vacío o hueco del diente, 109. – Juego radial o de fondo y juego lateral o tangencial del diente, 109. – Relaciones fundamentales de ruedas cilíndricas de dientes rectos, 109. – Forma del diente, 111. – Engranajes homólogos, 111. – Perfil del diente, 111. – Trazado práctico del perfil del diente a evolvente de círculo, 111. – Interferencia en los engranajes a evolvente, 113. – Línea de engrane, 115. – Duración del engrane o relación de contacto, 115. – Línea de engrane de dientes de perfiles a evolvente de círculo, 115. – Ángulo de presión, 115. – Fuerzas sobre el diente, 116. – Sistemas normalizados utilizados para la fabricación de engranajes, 117. – Sistema Brown-Sharpe, 118. – Sistema Fellows normalizado, 118. – Sistema Stub de dientes acortados (sin puntas), 119. – Ruedas dentadas interiormente, 120. – Cremallera, 120. – Cálculo de la resistencia del diente (dimensionamiento), 121. – Primera hipótesis, 121. – Segunda hipótesis, 122. – Fórmula de Lewis, 123. – Fórmula de Lewis-Barth, 125. – Fórmula de Buckingham, 125. – Concentración de tensiones, 127. – Cálculo por desgaste de un engranaje, 128. – Engranajes helicoidales. Características generales, 129. – Clasificación, 130. – Engranajes cilíndricos helicoidales a ejes paralelos. Empuje axial, 131. – Paso de la hélice y del diente, 132. – a) Paso circular de la hélice, 132. – b) Paso axial de la hélice, 133. – c) Paso normal de la hélice, 133. – d) Paso circunferencial del diente, 133. – e) Paso normal del diente, 133. – f) Paso axial del diente, 133. – Módulos, 133. – a) Módulo circunferencial, 134. – b) Módulo normal, 134. – Dimensiones del diente y de la rueda, 134. – Ancho del diente, 135. – Diámetro primitivo D , 135. – Diámetro exterior D_e , 135. – Ángulo α de la hélice sobre el cilindro primitivo que da la inclinación del diente, 136. – Engranajes cónicos con dientes rectos y ejes a 90° , 137. – Engranaje mayor, 138. – Engranaje menor o piñón, 139. – Dimensiones del diente, 144. – Carga de desgaste, F_w , 144. – Rendimientos, 145. – Bibliografía, 145.

CAPÍTULO V-

MÁQUINAS HERRAMIENTAS.....147

Generalidades, 147. – Fuerza de corte en el mecanizado de metales, 147. – Avance de la herramienta y profundidad de penetración, 148. – Expresiones de la fuerza principal de corte para distintos materiales, 148. – Velocidad de corte, 149.

– Cálculo de la velocidad de corte, 149. – Potencia necesaria para el corte, 150. – Cepillado, Limado y Mortajado, 150. – Cálculo de la potencia necesaria o absorbida, 152. – Cálculo del tiempo de máquina, 154. – Determinación del esfuerzo de corte mediante gráficos, 155. – Torneado, 156. – Generalidades, 156. – Herramientas de corte, 157. – Velocidad de corte, 160. – Potencia absorbida en el trabajo de torneado, 161. – Cálculo del tiempo de máquina, 162. – Torneado cónico, 162. – 1) Con herramienta de forma, 162. – 2) Mediante el desplazamiento de la contrapunta, 163. – 3) Inclinación del carrito portaherramienta, 165. – Taladrado o agujereado, 165. – Fuerza principal de corte, 167. – Momento de rotación, 168. – Velocidad tangencial de corte, 169. – Potencia desarrollada en el corte, 169. – Cálculo del tiempo de máquina, 170. – Escariado o Alesado, 170. – Fresado, 171. – Generalidades, 173. – Tipos de fresas y dimensiones principales, 173. – Resistencia al corte y momento torsor, 174. – Potencia absorbida, 175. – Velocidad de rotación de la fresa, 176. – Cálculo del tiempo de máquina, 177. – Amolado, 177. – Generalidades, 178. – Características del amolado, 178. – Grado de dureza, 179. – Empleo de los abrasivos, 179. – Tamaño del grano, 179. – Estructura de las muelas, 180. – Rectificado, 180. – Rectificación plana, 180. – Velocidad periférica de la pieza que se trabaja, 182. – Avance longitudinal por giro de la pieza y espesor o profundidad de corte, 183. – Potencia necesaria, 184. – Tiempo de rectificado cilíndrico, 184. – Tiempo de rectificado plano, 185. – Brochado, 186. – Generalidades, 186. – Características del corte y de las herramientas cortantes, 188. – Solicitaciones de la brocha por tracción. Cálculo del esfuerzo exigido por el corte, 189. – Potencia desarrollada en el brochado, 190. – Tiempo de máquina, 191. – Bibliografía, 191.

CAPÍTULO VI-

TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO.....193

Generalidades, 193. – Eje motor y eje receptor en la transmisión del movimiento por poleas y correas, 193. – Determinación de la relación de transmisión, 195. – Accionamientos individuales y por grupos mediante correas, 196. – Accionamiento mediante correas trapezoidales, 198. – Fuerzas actuantes sobre la correa (planas y trapezoidal), 198. – Poleas planas, 198. – Poleas trapezoidales, 201. – Potencia transmitida por las correas, 202. – Área de la sección transversal de la correa (dimensionamiento), 202. – Fuerza normal sobre los flancos de las correas trapezoidales, 203. – Ángulo abrazado por la correa y largo de la misma, 204. – Fuerza tangencial corregida en correas trapezoidales, 204. – Velocidad de la correa, 205. – Tipos de correas, 206. – Poleas para correas planas y trapezoidales, 206. – Accionamiento mediante ruedas de fricción, 207. – A) Accionamiento por ruedas cilíndricas de ejes paralelos y contacto periférico, 207. – B) Accionamiento por ruedas cilíndricas con ejes cruzados a 90° (rueda y plato de fricción), 208. – C) Accionamiento mediante ruedas de fricción con contacto frontal, 208. – D) Accionamiento por ruedas de fricción cónicas, 208. – Transmisión del movimiento mediante cono de fricción y rueda cilíndrica, 209. – Cambio de marcha con rueda de fricción, 209. – Accionamiento mediante ruedas dentadas, 210. – Accionamiento mediante tornillo sinfín y rueda helicoidal, 211. – Variación de la velocidad en las máquinas herramientas, 211. – Mediante poleas y ruedas dentadas, 211. – Caja de velocidades a acoplamiento, 212. – Caja

Norton, 213. – Fileteado o roscado en el torno, 215. – Cálculo de los engranajes para roscar, 216. – a) Caso de dos engranajes en un solo plano, 216. – b) Caso de roscado a cuatro ruedas dispuestas en planos paralelos, 217. - c) Caso de roscado a seis ruedas dispuestas en tres planos paralelos, 217. - Dispositivos hidráulicos para la transmisión del movimiento, 217. – Bibliografía, 221.

CAPÍTULO VII –

MECANISMOS.....223

Generalidades, 223. – Clasificación, 223. – Balancines, 223. – Balancín de movimiento circular, 223. – Balancín de movimiento rectilíneo (triángulo de Roberts), 225. – Paralelogramo articulado, 225. - Pantógrafo, 225. – Balancín de Watt, 225. – Mecanismo de biela manivela en máquinas de émbolos, 226. – Espacio recorrido por el botón k de la cruceta del émbolo, 226. – Velocidad u del émbolo o del botón k de la cruceta, 226. – Valores máximos y mínimos de la velocidad u , 226. – Velocidad tangencial v del botón de la manivela, 229. – Aceleración c del botón k de la cruceta del émbolo, 230. – Valores máximos y mínimos de la aceleración c , 230. – Relaciones de las fuerzas que obran sobre el vástago, cruceta y manivela, 230. – Fuerza de inercia que actúa en la masa total del movimiento rectilíneo alternativo, 232. – Guía de Evans, 232. – Juntas, 233. – Junta de Oldham, 233. – Junta de Cardan, 233. – Levas, 235. – Leva de disco y rueda de contacto, 235. – Leva parabólica o de aceleración constante, 236. – Leva armónica cosenoidal, 236. – Leva cicloidal, 237. – Leva de placa de arco circular con rueda de contacto, 237. – Elevación x de la pieza empujada, 238. - Leva de arco circular con pieza empujada en forma de placa (seta), 240. – Leva de lados rectos con pieza empujada con rueda de contacto, 241. – Bibliografía, 242.

CAPÍTULO VIII –

VOLANTES Y REGULADORES.....245

Generalidades, 245. – Volantes, 245. – Energía almacenada por el volante, 245. – Grado de irregularidad o coeficiente de fluctuación δ , 245. – Dimensionamiento del volante, 248. – Regulador de velocidad. Regulador pendular cónico o regulador de Watt, 248. – Cálculo del desplazamiento vertical h del manguito, 251. – Regulador de Watt sobrecargado, 252. – Regulador de Porter, 252. – Grado de irregularidad δ , 254. – Grado de insensibilidad ε , 256. – Energía E del regulador, 257. – Estabilidad y elasticidad, 258. – Equilibrio de fuerzas en el regulador, 258. – Curvas C , 258. – Estabilidad del regulador, 261. – Regulador de acción indirecta, 261. – Regulador axial de fuerza centrífuga, 262. – Bibliografía, 263.

CAPÍTULO IX –

LUBRICACIÓN Y COJINETES.....265

Tipos de cojinetes, 265. – Lubricación de cojinetes, 265. – Tipos de lubricantes, 266. – Viscosidad, 266. – Determinación de la viscosidad. Viscosidad dinámica o absoluta, 266. – Viscosímetro de MacMichael, 268. – Ley de Stokes, 268. – Viscosímetro de caída de bola, 270. – Ley de Hagen – Poiseuille, 270. – Viscosidad cinemática, 273. – Viscosidad Saybolt, 274. – Viscosidad Redwood, 274. – Viscosidad Engler, 275. – Conversión a los distintos sistemas, 275. – Viscosímetro Ostwald modificado, 275. – Clasificación de los aceites lubricantes, 276. – Influencia de la temperatura en la viscosidad, 276. – Índice de viscosidad, 277. – Determinación del coeficiente de rozamiento en cojinetes de deslizamiento lubricados, 278. – Formación de la película lubricante, 281. – Módulo del cojinete, 282. – Curva del coeficiente de rozamiento en función del módulo, 282. – Espesor mínimo de la película de aceite, 283. – Obtención de la película mínima de aceite a gorrón cargado, 283. – Deformación del gorrón y juego, 285. – Presión crítica de funcionamiento, 286. – Calor de rozamiento en los cojinetes, 286. – Rodamientos o cojinetes antifricción, 288. – Clasificación, 288. – Rozamiento de rodadura, 289. – Esfuerzo debido al contacto entre bolas o rodillos y pistas, 290. – Distribución de la carga en rodamientos axiales, 291. – a) Para carga centrada, 292. – b) Para carga descentrada, pero $\alpha=90^\circ$, 292. – c) Rodamientos de doble efecto, 292. – Capacidad de carga y vida de un rodamiento, 292. – Capacidad de carga estática, 293. – Carga estática equivalente, 293. – Capacidad de carga dinámica, 294. – Carga dinámica equivalente, 294. – Vida de un rodamiento, 295. – Factor de vida, 295. – Factor de seguridad, 296. – Bibliografía, 296.

CAPÍTULO X –

RECIPIENTES Y TUBOS.....297

Generalidades, 297. – Tipos de recipientes, 297. – Factores de diseño de un cilindro, 297. – Espesor de la pared de un cilindro, 297. – Tensiones en la pared de un recipiente, 298. – recipientes sometidos a presión exterior, 298. – Determinación de la tensión normal de tracción sobre la pared de un cilindro de pared delgada con presión interior, 299. – Esfera de pared delgada con presión interior, 301. – Cilindros de paredes gruesas, 302. – Ecuaciones de Lamé. Determinación de las tensiones axiales, radiales y tangenciales en cilindros de paredes gruesas sometidos a presión interior y externa, 302. – Representación gráfica de σ_r y σ_t , 306. – Ecuaciones de Lamé para presión interna, 307. – Ecuaciones de Clavarino para recipientes cerrados, 308. – Ecuaciones de Birnie para cilindros abiertos, 309. – Ecuaciones de Barlow, 309. – Cambio de diámetros en los cilindros debido a la presión, 310. – Cilindros zunchados o compuestos, 311. - Presión radial entre cilindros, 313. – Extremos de recipientes, 314. – Extremos circulares y elípticos planos, 315. – Fondos bombeados, 315. – Bibliografía, 316.