

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño y construcción de una máquina trituradora
de caucho para la obtención de granulometría
de 2 a 5 mm para la empresa Grisand
Import - Export EIRL, Juliaca 2019**

Gene Roberth Ramos Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

A Dios por la protección, que me ilumina y me armó de coraje para completar mis estudios

A mi familia por el apoyo, por su comprensión y las oraciones de siempre.

Al ingeniero Jhonatan por la orientación y la enseñanza, la supervisión fue importante para el progreso académico y profesional además de poder darme la oportunidad de poder realizar el siguiente trabajo

Agradecimiento a todos mis seres queridos que me dedicaron cariño y amor; a mi madre Calixta, mi hermana Clarit, Mis hermanos Nilo y Joel por esa amistad y confianza de siempre por tener paciencia para conmigo.

Un agradecimiento especial para mis hijos Jair y Angie, por ese amor incondicional y comprensión.

A todos aquellos que aportaron directa e indirectamente al desenvolvimiento de este trabajo.

Muchas gracias

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, que me orienta y siempre está conmigo dándome fuerza y sabiduría en todas las dificultades que se me presenta.

A la razón de vivir, mi esperanza mi madre, a mis hijos Jair y Angie y mis queridos hermanos y mis amigos.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| RESUMEN | xv |
| SUMMARY | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO | 2 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1.1 Planteamiento del problema | 2 |
| 1.1.2 Formulación del problema..... | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2.1 El objetivo principal | 3 |
| 1.2.2 Objetivos específicos: | 3 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| CAPÍTULO II..... | 5 |
| MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA..... | 5 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS | 6 |
| 2.2.1 Sistema de trituración por aplastamiento. | 6 |
| 2.2.2 Sistema de trituración por desgarramiento..... | 6 |
| 2.2.3 Sistema de trituración por rodaje. | 6 |
| 2.2.4 Sistema de trituración con discos..... | 7 |
| 2.2.5 Sistema de trituración Bohler. | 7 |
| 2.2.6 Sistema de trituración con molino de Martillos. | 7 |
| 2.2.7 Sistema de trituración con cuchillas cortantes..... | 7 |
| 2.2.8 Empresas recicladoras de caucho en el Perú. | 8 |
| 2.2.9 Recopilación y reciclado de fajas y neumáticos en desuso..... | 8 |
| 2.3 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA..... | 10 |
| 2.3.1 Proceso de Producción | 11 |
| 2.3.2 Trituración primaria..... | 11 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.3.3 | Trituración secundaria | 12 |
| 2.3.4 | Granulación | 12 |
| 2.3.5 | Embazado y distribución | 12 |
| 2.3.6 | Estrategia de crecimiento de la empresa | 14 |
| 2.3.7 | Sostenibilidad de la empresa | 16 |
| 2.3.8 | Productos basados en el caucho reciclado | 20 |
| 2.3.9 | Material para canchas sintéticas | 21 |
| 2.3.10 | Asfalto con adición de caucho reciclado. | 22 |
| 2.4 | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 23 |
| 2.4.1 | Neumáticos..... | 23 |
| 2.4.2 | Neumáticos en desuso. | 24 |
| 2.4.3 | Rencauchado de neumáticos..... | 24 |
| 2.4.4 | Reciclado del neumático en desuso..... | 25 |
| 2.4.5 | Proceso de trituración. | 25 |
| 2.4.6 | Dureza del caucho. | 25 |
| 2.4.7 | Desgarro del caucho..... | 25 |
| 2.4.8 | Máquina trituradora guillotina..... | 26 |
| 2.4.9 | Situación de reciclaje en el Perú..... | 26 |
| 2.4.10 | Ejes y flechas. | 28 |
| 2.4.11 | Materiales para ejes. | 29 |
| 2.4.12 | Configuración del eje..... | 29 |
| 2.4.13 | Transmisión de par torsional en ejes. | 30 |
| 2.4.14 | Concepto de esfuerzos en los ejes..... | 31 |
| 2.4.15 | Consideraciones de deflexión..... | 33 |
| 2.4.16 | Velocidades Críticas de los ejes. | 33 |
| 2.5 | TRANSMISIÓN DE POTENCIA | 34 |
| 2.5.1 | Transmisión de potencia por bandas en v..... | 34 |
| 2.5.2 | Poleas en forma V. | 37 |
| 2.5.3 | Diámetros mínimos de poleas..... | 38 |
| 2.5.4 | Mantenimiento de poleas..... | 39 |
| 2.5.5 | Alineamiento de las poleas. | 40 |
| 2.5.6 | Reductor de velocidad por poleas..... | 40 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.5.7 | Tensión correcta de las poleas | 41 |
| 2.6 | RODAMIENTOS DE BOLAS. | 44 |
| 2.7 | SOLDADURA. | 45 |
| 2.7.1 | Revestimiento..... | 46 |
| 2.7.2 | Electrodo AWS E- 6011 1/8” | 47 |
| 2.7.3 | Características del electrodo E-6011 | 47 |
| 2.7.4 | Usos y aplicaciones. | 47 |
| 2.8 | COMANDO Y CONTROL ELECTRÓNICO | 48 |
| 2.8.1 | Tablero de control..... | 49 |
| CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO | | 50 |
| 3.1 | METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN | 50 |
| 3.2 | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 50 |
| 3.3 | NIVEL DE INVESTIGACIÓN | 50 |
| 3.4 | MÉTODOLOGIA DEL DISEÑO | 51 |
| 3.5 | ETAPAS DE METODOLOGÍA DEL DISEÑO | 52 |
| 3.5.1 | Etapa I: Definición..... | 52 |
| 3.5.2 | Etapa II diseño conceptual..... | 52 |
| 3.5.3 | Etapa III: Diseño de materialización..... | 53 |
| 3.5.4 | Etapa IV: diseño de detalle. | 53 |
| 3.6 | POBLACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | 54 |
| 3.7 | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS | 54 |
| 3.7.1 | Técnicas de recolección de datos..... | 54 |
| 3.7.2 | Instrumentos de recolección de datos..... | 54 |
| CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN | | 56 |
| 4.1 | PLANEAMIENTO | 56 |
| 4.1.1 | Lista de exigencias | 56 |
| 4.2 | ESTADO DE LA TECNOLOGÍA. | 60 |
| 4.2.1 | Empresa municipal de aseo de Cuenca..... | 60 |
| 4.2.2 | Máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría fina. 62 | |
| 4.2.3 | Trituradores y separadores de metal ZERMA | 63 |
| 4.3 | FUNCIONES ESTRUCTURALES | 64 |

| | | |
|--|---|------------|
| 4.3.1 | Caja Negra..... | 64 |
| 4.3.2 | Procesos de trituración | 65 |
| 4.3.3 | Estructura de proceso de funcionamiento | 66 |
| 4.4 | DESARROLLO DE LA MATRIZ MORFOLÓGICA | 67 |
| 4.5 | DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... | 68 |
| 4.5.1 | Alternativa de solución 1 | 68 |
| 4.5.2 | Alternativa de solución 2 | 69 |
| 4.5.3 | Alternativa de solución 3 | 69 |
| 4.5.4 | Alternativa de solución 4 | 70 |
| 4.6 | EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA..... | 70 |
| 4.6.1 | Alternativas de solución. | 70 |
| CAPÍTULO V DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA | | |
| TRITURADORA..... | | |
| | | 75 |
| 5.1 | CONSIDERACIONES DE LA MÁQUINA..... | 75 |
| 5.2 | DISEÑO DEL EJE PORTA CUCHILLAS..... | 76 |
| 5.2.1 | Requerimiento del eje porta cuchillas | 76 |
| 5.2.2 | Propiedades mecánicas. - (de acuerdo a DIN 17200) tolerancias (DIN 1013) 79 | |
| 5.2.3 | Aplicaciones:..... | 79 |
| 5.3 | ESTRUCTURA SOPORTE DE CUCHILLAS | 80 |
| 5.4 | CUCHILLAS | 81 |
| 5.4.1 | ACERO T-21..... | 81 |
| 5.5 | CONFIGURACIÓN DEL EJE PORTA CUCHILLAS | 83 |
| 5.5.1 | Condiciones de diseño de eje giratorio | 83 |
| 5.6 | DISEÑO DE EJE PRINCIPAL..... | 84 |
| 5.6.1 | Diagrama de carga concentrada | 85 |
| 5.6.2 | Cálculo de la carga concentrada..... | 86 |
| 5.6.3 | Cálculo de diámetro de eje | 93 |
| 5.6.4 | Análisis estructural..... | 96 |
| 5.7 | CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTO..... | 99 |
| 5.8 | ESTRUCTURA Y ANÁLISIS DE MÁQUINA | 102 |
| 5.9 | ANÁLISIS DE ESTRUCTURA PRINCIPAL..... | 108 |
| 5.10 | ANÁLISIS DE CORDÓN DE SOLDADURA | 111 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 5.10.1 | Cálculo factores geométricos..... | 113 |
| 5.10.2 | Longitud de cordón mínimo de soldadura..... | 114 |
| 5.11 | ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CUÑA | 115 |
| 5.11.1 | Altura de la cuerda (Y)..... | 116 |
| 5.11.2 | Profundidad del cuñero en el eje (S)..... | 116 |
| 5.11.3 | Profundidad de cuñero de cubo (T) | 116 |
| 5.12 | ANÁLISIS DE CAJA DE TRITURACIÓN | 117 |
| 5.13 | DISEÑO DE TOLVA | 119 |
| 5.14 | SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE MOTOR ELÉCTRICO | 120 |
| 5.15 | SEGURIDAD Y PRECAUCIONES ANTES Y DURANTE EL ARMADO 121 | |
| 5.16 | MANUAL DE MECANIZADO Y MONTAJE | 121 |
| 5.17 | MONTAJE DE MOTOR ELÉCTRICO SOBRE BASE..... | 123 |
| 5.18 | MONTAJE DEL CONJUNTO PORTACUCHILLA Y RODAMIENTOS 124 | |
| 5.19 | MONTAJE SOBRE PORTACUCHILLA POLEA Y CONTRAPESO . | 126 |
| 5.20 | MONTAJE DEL MECANISMO DE CORTE EN CAJA INFERIOR.... | 126 |
| 5.21 | INSTALACIÓN Y TEMPLADO DE CORREA EN FORMA DE V | 127 |
| 5.22 | FLUJO DE PROCESO DE FABRICACIÓN:..... | 128 |
| 5.23 | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 137 |
| 5.23.1 | Diagrama de proceso de trituración | 138 |
| 5.24 | MANTENIMIENTO PREVENTIVO | 139 |
| 5.25 | MANUAL DE SEGURIDAD: | 140 |
| 5.26 | MANUAL DE OPERACIÓN | 145 |
| 5.27 | MANUAL DE MANTENIMIENTO Y LUBRICACIÓN..... | 147 |
| 5.27.1 | Antes del mantenimiento | 147 |
| 5.27.2 | Durante el mantenimiento..... | 147 |
| 5.28 | EVALUACIÓN FINANCIERA..... | 149 |
| 5.28.1 | Costos de fabricación de la máquina | 149 |
| 5.28.2 | Costos de diseño de ingeniería. | 150 |
| 5.28.3 | Costos de materiales para la construcción de la máquina trituradora | 151 |
| 5.28.4 | Costos de fabricación y montaje | 152 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 5.29 | COMPARACIÓN DE MÁQUINAS DE SIMILAR FUNCIONALIDAD | 153 |
| 5.29.1 | Máquina A máquina propuesta | 153 |
| 5.29.2 | Máquina B, doble eje trituradora | 153 |
| 5.29.3 | Máquina C, con selección de tambor | 154 |
| 5.29.4 | Máquina D trituradora de un eje | 154 |
| 5.30 | ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO | 155 |
| | CONCLUSIONES | 157 |
| | RECOMENDACIONES | 158 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 159 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabla 1. | Parque vehicular por clase de vehículo por departamento 2018 | 17 |
| Tabla 2. | Cantidad de neumáticos por clase de vehículo | 18 |
| Tabla 3. | Proyección de neumáticos según método promedio | 19 |
| Tabla 4. | Proyección de neumáticos según método incremento porcentual..... | 19 |
| Tabla 5. | Proyección de neumáticos método del incremento porcentual..... | 20 |
| Tabla 6. | Composición de componentes de neumático en porcentajes | 23 |
| Tabla 7. | Composición química del neumático | 24 |
| Tabla 8. | Material de fabricación de poleas en V | 38 |
| Tabla 9. | Diámetros mínimos de polea según potencia y rpm..... | 38 |
| Tabla 10. | Fuerza de deflexión para medir la tensión de las correas..... | 43 |
| Tabla 11. | Composición química y características E-6011 | 48 |
| Tabla 12. | Amperaje recomendado de soldeo electrodo E- 6011 | 48 |
| Tabla 13. | Evaluación técnica..... | 72 |
| Tabla 14. | Ponderaciones evaluación técnica..... | 72 |
| Tabla 15. | Evaluación económica..... | 73 |
| Tabla 16. | Ponderaciones evaluación económica..... | 73 |
| Tabla 17. | Conclusiones evaluación técnica - económica | 73 |
| Tabla 18. | Requerimiento de máquina trituradora..... | 75 |
| Tabla 19. | Requerimientos de según GRISAND..... | 77 |
| Tabla 20. | Característica de acero en el neumático..... | 77 |
| Tabla 21. | Composición química del acero 705 (AISI 4340) | 78 |
| Tabla 22. | Equivalencias de normas internacionales..... | 79 |
| Tabla 23. | Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 | 79 |
| Tabla 24. | Propiedades mecánicas del acero A36..... | 80 |
| Tabla 25. | Composición química acero A36..... | 80 |
| Tabla 26. | Propiedades mecánicas del acero T-21..... | 81 |
| Tabla 27. | Composición química del acero T-21 | 81 |
| Tabla 28. | Propiedades químicas del acero AISI 4340 | 84 |
| Tabla 29. | Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 | 84 |
| Tabla 30. | Comparación de resultado del cálculo de diámetro..... | 96 |
| Tabla 31. | Factores de ajuste de duración por confiabilidad, CR..... | 100 |
| Tabla 32. | Duración de rodamientos en horas | 100 |
| Tabla 33. | Datos fuerzas cortantes..... | 105 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabla 34. | Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldadura..... | 114 |
| Tabla 35. | Características del acero semidulce | 117 |
| Tabla 36. | Requerimiento de máquina trituradora..... | 120 |
| Tabla 37. | Ajustes y tolerancias en procesos mecanizados | 123 |
| Tabla 38. | Rutina mantenimiento preventivo..... | 139 |
| Tabla 39. | Costos de diseño | 150 |
| Tabla 40. | Costo de materiales..... | 151 |
| Tabla 41. | Costo de fabricación y montaje de máquina trituradora | 152 |
| Tabla 42. | Costo total de máquina trituradora..... | 152 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Sistema de molienda con molino a martillo | 7 |
| Figura 2. | Trituradora con cuchillas cortantes | 8 |
| Figura 3. | Rollos de fajas transportadoras en desuso..... | 8 |
| Figura 4. | Máquina de corte para láminas de caucho | 9 |
| Figura 5. | Caucho reciclado pisos de autos | 9 |
| Figura 6. | Mapa geográfico Puno - Juliaca..... | 10 |
| Figura 7. | Plano de ubicación de la planta trituración GRISAND..... | 11 |
| Figura 8. | Proceso de trituración, planta tecnificada | 12 |
| Figura 9. | Línea de producción material reciclable..... | 13 |
| Figura 10. | Instalación grass sintético normado según FIFA..... | 22 |
| Figura 11. | Desgarramiento caucho, probeta en máquina..... | 26 |
| Figura 12. | Diseños con neumáticos en desuso | 28 |
| Figura 13. | Diagrama de Goodman | 32 |
| Figura 14. | Geometría de transmisión por faja en V | 35 |
| Figura 15. | Tipos de bandas de transmisión de potencia | 35 |
| Figura 16. | Descripción partes de polea | 37 |
| Figura 17. | Poleas en V (radios, aligerada, maciza) | 37 |
| Figura 18. | Instalación correcta de banda en V..... | 39 |
| Figura 19. | Alineamiento correcto de poleas..... | 40 |
| Figura 20. | Desalineación angular (1), cruzada (2) y paralela (3)..... | 40 |
| Figura 21. | Transmisión de Potencia por fajas..... | 41 |
| Figura 22. | Deflexión 16 mm por cada metro | 42 |
| Figura 23. | Nomenclatura de rodamiento de bolas | 44 |
| Figura 24. | Generalidades de soldadura por arco electrodo revestido..... | 46 |
| Figura 25. | Equipo de soldadura..... | 46 |
| Figura 26. | Proceso de método de investigación pugh | 51 |
| Figura 27. | Elementos básicos del diseño de materialización | 53 |
| Figura 28. | Trozos de 2da etapa de triturado (1), migas de caucho 3ra etapa (2)..... | 64 |
| Figura 29. | Diagrama de caja negra | 64 |
| Figura 30. | Trituradora de 2 ejes con 16 cuchillas | 68 |
| Figura 31. | Máquina trituradora propuesta por diseño | 69 |
| Figura 32. | Máquina trituradora de 3 ejes horizontales..... | 69 |
| Figura 33. | Diagrama evaluación económica y técnica..... | 74 |

| | |
|--|-----|
| Figura 34. Configuración fija y móvil de cuchilla | 76 |
| Figura 35. Diagrama eje porta cuchillas | 78 |
| Figura 36. Dibujo de solido porta cuchillas | 80 |
| Figura 37. Solido cuchillas de corte..... | 82 |
| Figura 38. Dimensión de cuchillas de corte..... | 82 |
| Figura 39. Esfuerzo ejercido alternante en eje porta cuchillas | 83 |
| Figura 40. Componentes que soporta el eje principal..... | 84 |
| Figura 41. Diagrama de cuerpo libre eje | 85 |
| Figura 42. Diagrama de carga concentrada..... | 85 |
| Figura 43. Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio | 89 |
| Figura 44. Factores Superficiales para el acero en diferentes acabados | 90 |
| Figura 45. Variación del factor de tamaño versus diámetro | 91 |
| Figura 46. Factores de confiabilidad..... | 91 |
| Figura 47. Factor de concentración de esfuerzo para eje a flexión | 92 |
| Figura 48. Sensibilidad a la entalla para cargas axiales y de flexión | 93 |
| Figura 49. Datos técnicos de motor eléctrico | 95 |
| Figura 50. Resultado de análisis estructural | 97 |
| Figura 51. Análisis de tensiones Von Mises..... | 98 |
| Figura 52. Factor de seguridad..... | 98 |
| Figura 53. Desplazamiento de eje | 99 |
| Figura 54. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas..... | 102 |
| Figura 55. Distribución de fuerzas sobre la estructura principal | 104 |
| Figura 56. Carga distribuida sobre estructura principal | 104 |
| Figura 57. Distribución de fuerzas cortantes y momento flector..... | 105 |
| Figura 58. Diagrama de fuerza cortante y momento flector..... | 106 |
| Figura 59. Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales L | 107 |
| Figura 60. Distancia de viga | 108 |
| Figura 61. Valores de K para obtener la longitud efectiva | 109 |
| Figura 62. Análisis de factor de seguridad con software Inventor 2018..... | 111 |
| Figura 63. Factores geométricos para el análisis de soldaduras..... | 112 |
| Figura 64. Flexión ejercida por el motor | 112 |
| Figura 65. Desplazamiento máximo análisis software inventor 2018..... | 114 |
| Figura 66. Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje | 115 |
| Figura 67. Cuña (1), cuña cuadrada (2) | 115 |
| Figura 68. Caja de trituración inferior propiedades del tipo de acero | 117 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69. Fuerzas aplicadas sobre la caja inferior..... | 118 |
| Figura 70. Esfuerzos ejercidos sobre caja principal..... | 118 |
| Figura 71. Desplazamiento ejercido sobre la caja principal..... | 119 |
| Figura 72. Tolva de alimentación..... | 120 |
| Figura 73. Configuración de rodamiento | 122 |
| Figura 74. Ajuste de perno base de motor - estructura principal..... | 124 |
| Figura 75. Selección de tolerancia | 125 |
| Figura 76. Procedimientos incorrectos de instalación de rodamientos | 125 |
| Figura 77. Prensa hidráulica | 126 |
| Figura 78. Alineamiento de polea (1), verificación de alineamiento de poleas (2).... | 127 |
| Figura 79. Límites permisibles de desalineación..... | 128 |
| Figura 80. Etiqueta de advertencia peligro por voltaje..... | 142 |
| Figura 81. Etiqueta de advertencia movimiento inesperado..... | 142 |
| Figura 82. Etiqueta advertencia levantamiento de componentes pesados | 143 |
| Figura 83. Etiqueta advertencia de peligro..... | 144 |
| Figura 84. Etiqueta símbolos preventivos | 144 |
| Figura 85. Tablero eléctrico | 146 |
| Figura 86. Etiquetas de aviso de no operar equipo..... | 147 |
| Figura 87. Etiqueta prevención de atrapamiento | 148 |
| Figura 88. Etiqueta de no ubicarse bajo carga suspendida..... | 148 |
| Figura 89. Máquina trituradora propuesta | 153 |
| Figura 90. Máquina trituradora doble eje..... | 153 |
| Figura 91. Máquina trituradora neumáticos buny group | 154 |
| Figura 92. Máquina trituradora con doble reductor | 154 |
| Figura 93. Comparación de costos..... | 156 |

RESUMEN

En el Perú, el reciclaje de desechos de cauchos y neumáticos no tiene marco legal ni procedimientos de recuperación en comparación de otros países como España, Ecuador y Brasil; se planteó el objetivo de diseño y construcción de una máquina trituradora, el logro de la fabricación de la máquina es obtener caucho triturado con granulometría de 2.5 mm. a 5 mm. que posteriormente será procesada por empresas que son utilizados en diversos trabajos industriales dada la importancia del reciclaje, para el cuidado del medio ambiente se analizó y evaluó el diseño y construcción de una máquina trituradora de neumáticos utilizando recursos disponibles en el mercado local y el apoyo de recursos económicos de la empresa GRISAND E.I.R.L.,

La reutilización del caucho en desuso es un desafío en estos tiempos, dada las características físicas del neumático su durabilidad, cantidad, peso y principalmente la dificultad para proporcionar un nuevo uso que tiene destino ecológico y económico. El contexto del trabajo buscó el desarrollo del diseño de la máquina trituradora en tercera etapa, se presentan resultados obtenidos con sus respectivos procedimientos de fabricación y armado sobre los componentes utilizados en la máquina.

Palabras clave: caucho, granulometría, trituradora.

SUMMARY

In Peru the recycling of waste rubber and tires does not have a legal framework or recovery procedures compared to other countries such as Spain, Ecuador and Brazil. The objective of design and construction of a crushing machine was raised, achieving the manufacture of The machine is to obtain crushed rubber with 2.5 mm grain size. at 5 mm. that later the raw material will be processed by companies that use various industrial jobs, given the importance of recycling for environmental care, the design and construction of a tire crusher machine was analyzed and evaluated using resources available in the local market and the support of financial resources of the company GRISAND EIRL,

The reuse of disused rubber is a challenge in these times, given the physical characteristics of the tire, its durability, quantity, weight, and especially the difficulty in providing a new use that is ecologically and economically destined. The context of the work sought the development of the design of the crushing machine in the third stage, results obtained with their respective manufacturing and assembly procedures on the components used in the machine are presented.

Key words: rubber, granulometry, crusher

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y el poder adquisitivo del ciudadano peruano genera una gran demanda de automóviles, en consecuencia, se adquiere neumáticos que después de un cierto tiempo de vida útil son desechados.

El presente trabajo contiene 5 capítulos, los lineamientos los presento brevemente:

En el primer capítulo menciona el planteamiento del problema que, debido al crecimiento descontrolado de desecho derivado del caucho y neumáticos en desuso, hace que nos preguntemos, ¿por qué no diseñar equipos que puedan generar materia prima? Respondiendo a la pregunta se inició con diseño de un equipo que pueda procesar 700 kg/h.

En el segundo capítulo se refiere al marco teórico relacionado al material que se procesará, teoría de componentes usados en la máquina trituradora, conceptos básicos de diseño con la formulación usada.

En el tercer capítulo está dedicado a la identificación y el desarrollo del método de diseño basado en una norma internacional. Se utilizará la metodología PUGH 220 teniendo en cuenta los aspectos requeridos para diseño de la máquina trituradora se recolectó datos importantes para el diseño.

En el cuarto capítulo se desarrolló la descripción global de las máquinas trituradoras existentes en el mercado estudios de diferentes opciones de diseño que permitirá reducir la contaminación ambiental y a la vez generar puestos de trabajo a menor costo de producción. Esta es la etapa más importante del presente proyecto cuyos factores nos ayudaran al cálculo del diámetro mínimo del eje principal, rodamientos, poleas, cuchillas.

En el quinto capítulo se refiere al diseño de componentes de la máquina, en el análisis se utilizó teorías de diseño de elementos de máquinas y propiedades físicas de los materiales; con los datos obtenidos del anterior capítulo se procedió con el modelamiento 3D utilizando el software Autodesk Inventor 2016.

Finalmente, se realizó el análisis ventajas y desventajas comparando costos y dimensionamiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

El problema relacionado a los residuos sólidos, viene agravando desde la revolución industrial y el aumento poblacional del 1.8% en Arequipa, en los últimos 10 años hubo un incremento de 180 000 personas, Puno y Tacna tienen alrededor de 1 851 494 habitantes; en consecuencia, el aumento de vehículos motorizados es alrededor de 312 499 vehículos transitando por las vías de Arequipa. Considerando que cada vehículo utiliza como mínimo 4 neumáticos que terminando su vida útil son desechados como basura.

Minera Cerro Verde, Antapaccay, Hudbay y Shouther se suma con cantidad de vehículos que utilizan para transporte de mineral, estas mineras en el proceso de transporte de mineral utilizan fajas transportadoras que cada seis meses realizan el proceso de cambio por nuevas fajas por tanto hay aproximadamente 30 toneladas de caucho en desuso listo para el procesamiento de trituración.

Los residuos son un problema tanto en su origen en la naturaleza, como en su procesamiento de reciclaje; en la actualidad los residuos sólidos degradan el ambiente natural con serios perjuicios en la salud humana. En estos últimos años nuestros gobernantes están haciendo normas y legislaciones para impulsar el aprovechamiento y empleando la educación como herramienta de concientización, un alumno indica que en los colegios son incentivados en sus hábitos diarios y las implicaciones en favor del consumo consciente.

Una de las causas principales para que la planta tenga la producción requerida por el mercado, es la falta de una máquina trituradora que tenga mayor capacidad de producción, el proceso de entrega del caucho triturado y reciclado mediante picado mecánico y separación de elementos que acompañan al caucho, por tal motivo el producto no es entregado a tiempo. Actualmente la planta de procesamiento no cuenta con una máquina que llegue a la granulometría de 2 a 5 milímetros como lo solicita el cliente.

1.1.2 Formulación del problema

Las cantidades de neumáticos inservibles y caucho generados por los vehículos sumado los restos de desechos en la industria minera, hacen generar la necesidad de la empresa en mejorar el proceso de trituración del caucho, por tanto, en este proyecto se va a realizar el diseño de la máquina trituradora de cauchos en desuso, y en base a lo ya mencionado se generan las siguientes interrogantes:

A. Problema General

¿Cómo se puede diseñar y construir una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm. para la empresa GRISAND import - export ERL?

B. Problemas específicos

¿De qué manera se puede diseñar los elementos de la máquina trituradora teniendo en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas?

¿Qué proceso de diseño es el más adecuado para la construcción de la máquina?

¿Cómo seleccionar el material correcto de cuchillas para obtener la granulometría adecuada para la máquina trituradora de la empresa GRISAND EIRL?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 El objetivo principal

- Diseñar y construir una máquina trituradora de caucho que pueda obtener la granulometría de 2 a 5 mm. para la empresa GRISAND en la ciudad de Juliaca.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Seleccionar los componentes de la máquina trituradora identificando las propiedades físicas y mecánicas por cada componente.
- Describir el procedimiento de manufactura por cada componente de la máquina trituradora.
- Elaborar manual de procedimiento seguro de montaje, operación y mantenimiento de la máquina para el correcto funcionamiento de la trituradora de caucho.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Justificación Técnica

- El avance tecnológico tiene relevantes estudios de nuevas alternativas y generar un valor agregado a los neumáticos desechados; por tanto, en el diseño mecánico de la máquina se utilizarán componentes de corte de mayor dureza al caucho, realizando cálculos establecidos con criterios que brinden diferencias mecánicas en las máquinas habidos en el mercado nacional.

Justificación Económica

- Es importante considerar aspectos económicos para el diseño y construcción de la máquina, los materiales disponibles, los procesos, máquinas y herramientas utilizados en la construcción. Estos aspectos influyen en la correcta elección del método de diseño y construcción, aprovechar la utilización de neumáticos en desuso y el caucho de las fajas transportadoras materiales que fácilmente son desechados sin darles un segundo uso, si logramos darle un valor agregado del 40% en costo a la materia prima, se obtiene ingresos económicos y se genera empleo a nivel local. Estudios e investigaciones de universidades demuestren el beneficio económico y ambiental, por ejemplo, fabricación de pisos acolchados en parques infantiles, gránulos de caucho para canchas sintéticas, mezcla asfáltica, impermeables para protección de la humedad y la lluvia. La necesidad de fabricar una máquina considerando la resistencia, control, seguridad, utilidad, forma, tamaño, mantenimiento, costes, duración. Etc.

Justificación Social

- Como alternativa presentada, es dar el correcto destino de los neumáticos en desuso, el reciclaje crea hábitos de limpieza, selección, reutilización; para así formar personas con buenos hábitos reduciendo la contaminación de los neumáticos en desuso un promedio anual del 5%, y buscar el mejoramiento del proceso y calidad de materia prima caucho en desuso; el aprovechamiento de los materiales reciclados constituye la preservación de los recursos naturales, aprovechar el caucho reciclado como productos alternativos disminuimos la contaminación ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El diseño desde la primera guerra mundial, ha tenido un protagonismo de avance en la tecnología, en el que muchos países desarrollados utilizando conocimientos en ingeniería de diseño mecánico han buscado soluciones óptimas para aumentar la producción industrial, disminuir las emisiones contaminantes, reducción de desechos, etc.; muchas empresas del mundo invierten en diseño de nuevas máquinas que sean eficientes que ayudan a la disminución del impacto ambiental.

Hago mención el proyecto de tesis del autor Méndez, C, y Solano F. (2010) Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1ton/h, para la empresa municipal de aseo de cuenca (emac), (tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Indica, “como factor importante el impacto ecológico que producen los neumáticos dentro del relleno sanitario que tarda millones de años en su descomposición, en la misma forma ayudaría a evitar gases de invernadero que se producen en el interior de los neumáticos al descomponerse”.

Según Llanos, J., Luján, S. y Ponce, M. (2016) Viabilidad de la creación de una empresa recicladora y trituradora de llantas en desuso para su comercialización en el mercado peruano (tesis de grado) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Llegaron a concluir “que el rubro de llantas está muy ligado a los sectores: automotriz, al agro y la minería ya que se usa en todo el parque automotor autos, camionetas, camiones, maquinaria de línea amarilla; confirman el crecimiento paulatino por tal motivo indican que la demanda de materia prima va en aumento a medida que pasan los años”

El parque automotor de las ciudades del sur va en aumento, por tanto, el incremento del uso de neumáticos hace que se acumule materia prima para transformarlo y posteriormente comercializarlo.

Adicionalmente se concluye, realizar convenios estratégicos con empresas dedicadas al reencauche de neumáticos que más adelante serán considerados como proveedores de material para el proceso de trituración del caucho.

2.2 BASES TEÓRICAS

En el mercado existe una variedad de máquinas que utilizan diferentes métodos de trituración, este método consiste en reducir el tamaño por diferentes procesos de molienda.

Cada etapa de fragmentación y selección son esenciales ya que determinan el tamaño y la selección homogénea del producto a triturar, llevar el control de granulometría sirve para la siguiente etapa de trituración, a continuación, se detalla algunos aspectos que considerar para la correcta selección de la trituradora:

- Material a fragmentar.
- Volumen de material a triturar.
- Tiempo de fragmentación.
- Capacidad de energía instalada.
- Granulometría del caucho a triturar.

2.2.1 Sistema de trituración por aplastamiento.

Este método consiste en usar dos superficies, existen los móviles y los estacionarios; este método se utiliza para materiales duros y de fácil fragmentación como el plástico duro, piedra y minerales en su estado natural.

2.2.2 Sistema de trituración por desgarramiento.

Este método se utiliza para materiales que contienen fibras tales como el papel y el cartón.

2.2.3 Sistema de trituración por rodaje.

En este método el producto es aprisionado contra el fondo de la tolva, esta tolva está previamente agujereado; son máquinas grandes que utilizan rotores y cuchillas y cortan por cizallamiento.

2.2.4 Sistema de trituración con discos.

Este método está basado en la instalación de varios discos opuestos y que giran a baja velocidad, especial para materiales duros como el metal.

2.2.5 Sistema de trituración Bohler.

Este sistema utiliza dos rotores conectados a dos poleas e impulsados por un motor potente y que, gracias al diseño, se consigue excelente trituración; son máquinas de fácil mantenimiento cuentan con una tolva de carga y manga de descarga, genera diferentes gránulos de material a triturar.

2.2.6 Sistema de trituración con molino de Martillos.

Este sistema utiliza un alimentador automático, cuya función es alimentar constantemente de material a triturar; el proceso de trituración ocurre cuando varios martillos golpean al material, posteriormente pasan por cribas cuya función es seleccionar las partículas o devolverlos para ser nuevamente triturados.

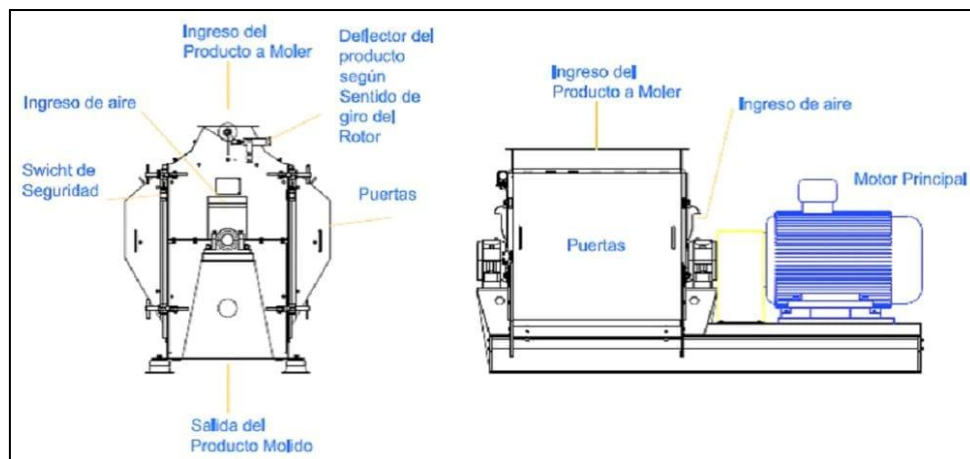


Figura 1. Sistema de molienda con molino a martillo tomado del portal de empresa española dedicado a ala agricultura engormix https://images.engormix.com/S_articles/40415_190.jpg

2.2.7 Sistema de trituración con cuchillas cortantes.

Estas máquinas utilizan dos cuchillas fijas las cuales están con los filos opuestos, para el proceso de cizallamiento giran alrededor de 60 a 120 revoluciones por minuto, operan con motores hidráulicos cuya función es detener en cuanto haya un atascamiento dentro de la tolva.



Figura 2. Trituradora con cuchillas de doble corta todo tipo de plásticos, papeles, cartones y residuos de todo tipo adaptado de <https://www.youtube.com/watch?v=WoLmW4WtfGc>

2.2.8 Empresas recicladoras de caucho en el Perú.

Las empresas recicladoras de caucho en el Perú, nacen y crecen por la necesidad de darle una segunda vida a los neumáticos y cauchos en desuso, para poder generar empleo destinados a la clase económicamente baja y así poder tener ingresos económicos para la mantención de sus familias. El proceso de reciclaje de caucho inicia con la recolección y selección de talleres que realizan el cambio de neumáticos usados por nuevos; muchas empresas dedicadas al transporte por fajas transportadoras también desechan caucho proveniente de las fajas transportadoras. El proceso de reciclaje pasa por varias etapas.



Figura 3. Rollos de fajas transportadoras en desuso desechados por empresas mineras

2.2.9 Recopilación y reciclado de fajas y neumáticos en desuso.

Este proceso inicia con el requerimiento de empresas prestadoras de servicios dedicados a la administración de desechos sólidos, mediante el personal asignado y con ayuda de camiones y grúas recolectan los neumáticos en desuso y el caucho inservible proveniente de fajas transportadoras, una vez trasladado a talleres y canchas

de almacenamiento se procede con los cortes en láminas delgadas, estas planchas delgadas son cortados a diferentes medidas según el requerimiento del cliente.



Figura 4. Máquina de corte para láminas de caucho

Muchos de estos talleres están ubicados en la provincia de Tacna, una vez cortado a diferentes espesores de forma artesanal son despachados a provincias importantes como Lima y Arequipa.

Estos talleres dedicados al corte en láminas delgadas, utilizan máquinas cortadoras (construidos de manera artesanal utilizando cuchillas afiladas de seguetas de gran dimensión), hay varios talleres ubicados en el parque industrial dedicados a este negocio.



Figura 5. Caucho reciclado trabajo manual destinado para pisos de autos

La demanda de los recubrimientos usados en los pisos de autos y los granos de caucho destinado para el sostenimiento del pasto artificial en campos deportivos sintéticos va en aumento, el objetivo principal de estas microempresas es disminuir la contaminación y a la vez generar ingresos económicos.

Los desechos producto del corte y de la recuperación son almacenados y posteriormente vendidos a microempresas dedicados a la trituración en diferentes tamaños.

2.3 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre y razón social de la empresa : GRISAND IMPORT - EXPORT EIRL.
País : Perú
Provincia : San Román
Distrito : Juliaca
RUC : 20603227850

La empresa está ubicada en el sur de Perú, av. Aviación Nro. 204, Provincia de San Román, distrito de San Román, Departamento de Puno. Cuenta con una extensión de 533.5 Km², tiene una población mayor a 276 110 habitantes (2017). Se caracteriza por ser una provincia de centro económico principal ya que tiene conexiones con las principales ciudades de sur como Puno, Moquegua, Cusco, Arequipa, Puerto Maldonado, Tacna.



Figura 6. Mapa geográfico Puno – Juliaca, adaptado de google map. 2020. Recuperado de https://www.go2peru.com/spa/guia_viajes/ayacucho/mapas_ayacucho.htm

La empresa formada como negocio familiar dedicada al reciclaje y manejo de desecho de neumáticos y caucho en desuso, ejecuta la compra de desecho proveniente de los talleres de Tacna y desechos de mineras importantes como Southern, Cerro

verde, para luego por todo un proceso de trituración son vendidos como gránulos de caucho a empresas dedicadas a la instalación de canchas sintéticas. La empresa no solo está ligada a la trituración y al comercio, también es concientizar a las personas el daño irreversible de nuestro medio ambiente.

La empresa actualmente está en proceso de adecuación, ya que los talleres de trituración son alquilados, cuentan con 300 m² de terreno, 80 m² usados para 2 máquinas trituradoras, 120 m² destinados para la recepción de caucho a triturar, 80m² para el almacenamiento del material triturado, 20m² usados como almacén de herramientas y vestuario del personal.

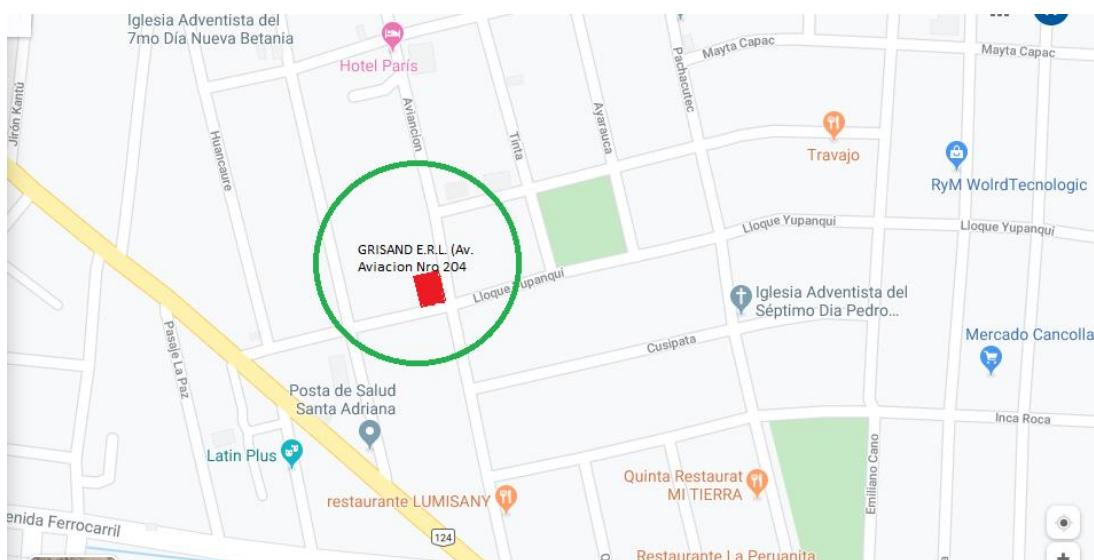


Figura 7. Plano de ubicación de la planta trituración GRISAND, adaptado de google map. 2020. Recuperado de https://www.go2peru.com/spa/guia_viajes/ayacucho/mapas_ayacucho.htm

2.3.1 Proceso de Producción

Antes de iniciar las etapas de trituración el personal asignado, se encarga de la compra de desecho proveniente de los talleres de la ciudad de Tacna, transportados en camiones se descargan en la plataforma de la planta de trituración GRISAND, una vez en la planta son seleccionados y separados el caucho contenido con alambre y caucho con nylon, este proceso lo realizan 3 operarios, realizan cortes con ayuda de cuchillas filosas para así tener material para la trituración primaria.

2.3.2 Trituración primaria

El proceso inicia con la alimentación de las tiras de 10 cm. de ancho por dos metros aproximadamente, la trituradora recibe el caucho a través de una ranura de alimentación y es cortado por dos cuchillas una fija y las otras tres cuchillas móviles, que son accionadas por un motor de 10 hp las cuales están conectados por sistema de

transmisión fajas y poleas, luego de estar cortado el caucho pasa a la siguiente etapa, los trozos de 10 cm. a 12 cm. están listas para la máquina secundaria. La capacidad de producción de la máquina primaria es de 2 toneladas de caucho en desuso en una hora.

2.3.3 Trituración secundaria

La alimentación hacia la máquina secundaria es de forma manual con un operario. La máquina trituradora secundaria posee cuchillas fijas y móviles impulsado con un motor eléctrico de 25 hp de potencia, el eje porta cuchillas está conectado al motor a través de una polea con sistema de transmisión por fajas. Las cuchillas cortan y desgarran el material en tamaños aproximados de 2 a 5 cm. estos se seleccionan con una criba instalada antes de la descarga del material, si no llega al tamaño por efecto de arrastre vuelven a ser trituradas para luego ser alimentadas a la trituradora de granulación.

2.3.4 Granulación

Después de ingresar los trozos a la tolva de la trituradora de granulación, estos son cortados y triturados a tamaños de 3 a 5 mm; este procedimiento es tedioso debido la elasticidad que posee, el tamaño de descarga no es uniforme por que se troza en varias etapas de arrastre dentro de la carcaza de la máquina.

2.3.5 Embazado y distribución

Posterior al embazado son pesados y sellados en sacos de 1 tonelada o en presentaciones de 30 kg., los clientes lo usan como insumo para la instalación de canchas sintéticas y en algunas ocasiones utilizan como materia prima y los convierten en pistas para el atletismo, alfombras para los gimnasios, suelas para zapato, juegos infantiles, etc.

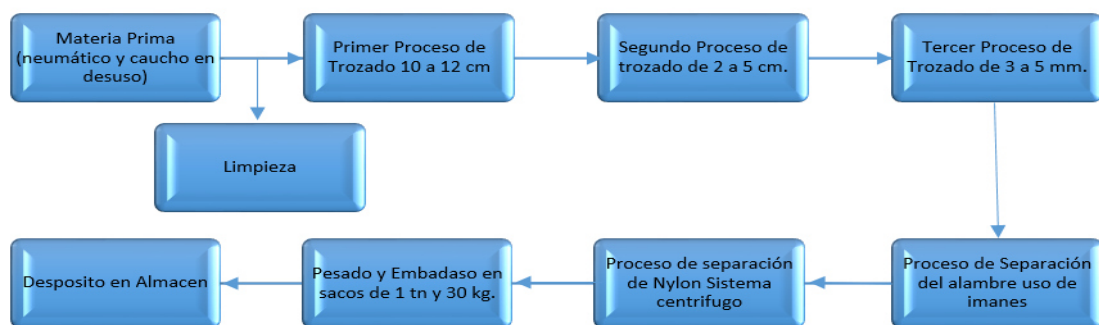


Figura 8. Proceso de trituración, planta tecnificada

Dependiendo de las necesidades del cliente el proceso final se obtiene en diferentes etapas para así poder obtener materia prima algunos tamaños puestos en el mercado:

Caucho granulado desde 0.2 – 0.5 mm se emplea en mezcla para asfaltos.

Caucho granulado desde 0.6 – 2 mm se emplea para relleno de cancha sintética artificial.

Caucho granulado desde 2 – 4 mm se emplea en mantas de plataformas de seguridad y productos moldeados.

Caucho granulado desde 2 – 7 mm empleado para sacos de golpe en el boxeo.

Alambre de acero: utilizado como chatarra para fábrica de acero

Fibra nylon: utilizado como combustible en hornos y material aislante.

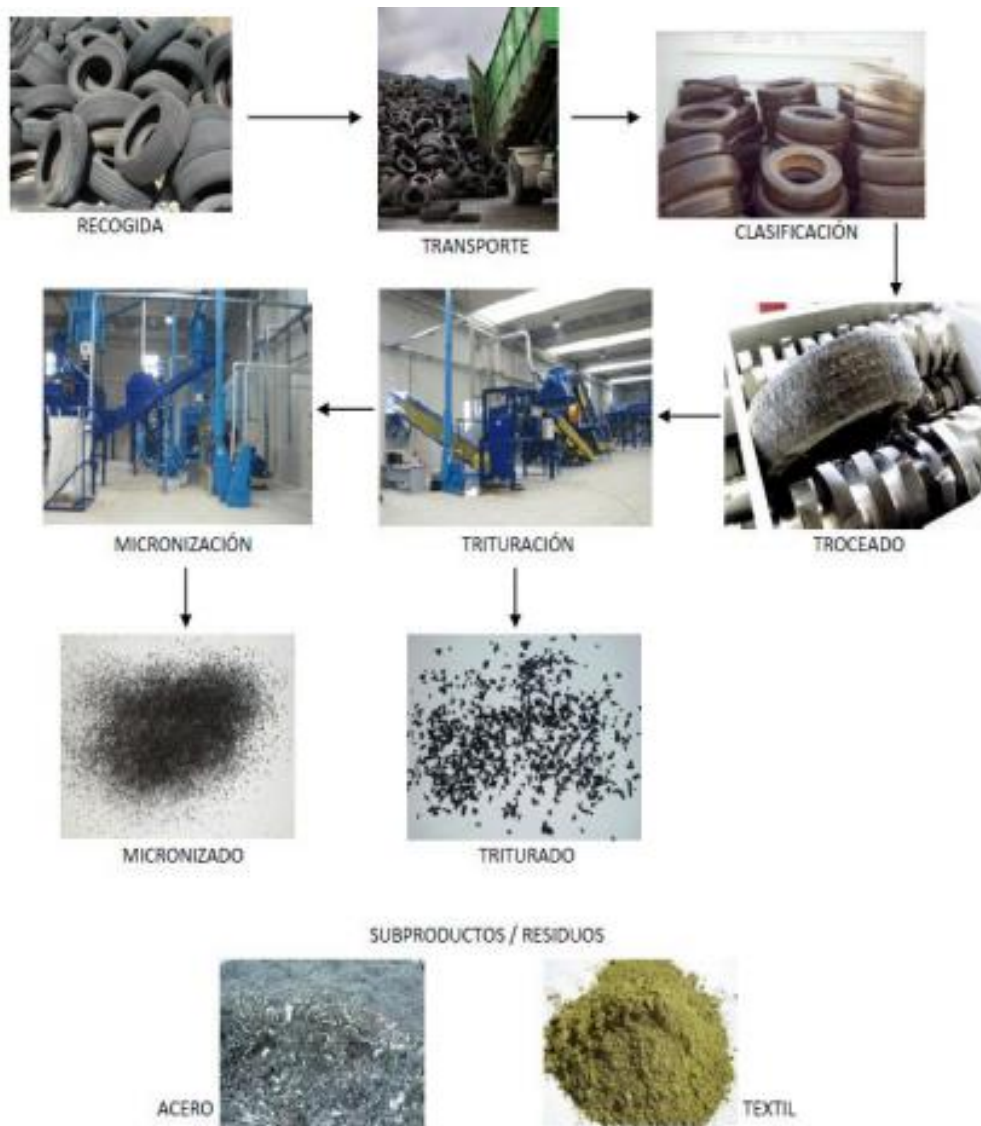


Figura 9. Línea de producción material reciclable,

2.3.6 Estrategia de crecimiento de la empresa

Se proyecta aumentar la producción de caucho granulado y se busca ser una de las empresas de reciclaje de neumáticos y caucho líder en el sur del país, dado que la actividad es rentable, buscando generar un valor agregado al cacho triturado que se produce en la planta de GRISAND E.I.R.L.

Se busca realizar convenio con empresas como a3p imperllanta Bolivia y ser proveedores de caucho triturado necesario para la preparación de impermeable utilizados en techos de edificaciones y casas afectados por lluvias y filtraciones, el impermeable tiene la finalidad de darle valor agregado a nuestro producto, se detalla algunas estrategias que ayudaran a la empresa en su crecimiento.

- Contar con una planta de mayor dimensión para la compra o fabricación de trituradora de neumáticos de mayor capacidad.
- Contratar personal especializado dedicado al marketing y publicidad de los productos (migas de caucho, impermeables a base de migas de caucho)
- Participación en eventos fomentados al cuidado del medio ambiente por ejemplo la universidad, el ministerio del ambiente gobiernos locales y regionales.
- Crear un sitio en la web dando a conocer nuestro producto.

La empresa está en proceso de formalización, por lo que va a ser necesario de algunos permisos emitidos por entidades de gobierno; la empresa básicamente se va a dedicar al reciclaje y la trituración de caucho y neumático en desuso, por lo que va a requerir un permiso especial emitido por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), entidad encargada de dar normativas que están vinculados con el saneamiento esencial de la población referidos a la salud ocupacional, higiene, zoonosis y la protección del medio ambiente.

Para tal efecto DIGESA exige requisitos para la operación y comercialización de migas de caucho, a continuación, se detallan requisitos que permiten la operatividad de la empresa según los textos únicos de procedimientos Administrativos (TUPA):

- La empresa debe tener el número de solicitud única de comercio exterior (SUCE) tramitado en las oficinas del ministerio de comercio exterior y turismo (MINCETUR).
- Partida registral en original de constitución de la empresa emitido por la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP).

- Memoria Descriptiva de rubro de la empresa donde describa la actividad de procesamiento y reciclaje de residuos sólidos según su naturaleza suscrita por ingeniero ambiental que este colegiado.
- Planos de ubicación de la planta de procesamiento y distribución de la infraestructura a escala firmada por un ingeniero colegiado.
- Presentar un plan de contingencia con procedimientos alternativos basados en un análisis de riesgo.
- Licencia de operatividad emitido por la dirección del municipio provincial de San Román, licencia que consigne rubro de la actividad.
- Póliza de seguro contra todo riesgo incluye daños al medio ambiente
- Seguro complementario contra todo riesgo (SCTR) para los operarios de la planta de trituración.
- Carta de compromiso y declaración jurada y constancia de colegiatura del ingeniero responsable.

Considerar más adelante la obtención del certificado ISO 9000 que como empresa cumpla con las exigencias que indica, (Nava y Jiménez, 2000) afirma que (Las normas internacionales ISO 9000 son actualmente un fenómeno en todo el mundo y sus extraordinarios efectos en las organizaciones no pueden ser desestimados). Hoy en día las normativas solicitan a las organizaciones indicar que es lo que hacen, la identificación de todos los procesos utilizados en la empresa para luego demostrar que el sistema de calidad funciona eficazmente, este modelo de negocio debe concretar todos los objetivos trazados por la empresa. En Perú tenemos a Intercert franquicia dedicado a la certificar sistemas de gestión.

La certificación ISO 14000 hace que las empresas sean más competitivas por tanto se consigue impacto social en las instituciones, que con mayor frecuencia adoptan medidas de responsabilidad con el medio ambiente, la norma más implementada es la 14001 que establece un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que ayuda de manera segura la calidad de productos y servicios prestados, por tanto, mejora la imagen de la empresa, se optimizan procesos de gestión del medioambiente, reduce costos (energía, agua, etc.), posicionamiento en el mercado, optimización de procesos internos, eliminación de limitaciones, prestigio como empresa, aumenta la confianza relacionados con clientes y proveedores, aumento de motivación entre los trabajadores (trabajo en equipo).

Se hace referencia a varios sistemas de gestión que cada empresa maneja de manera particular la mayoría de estas normas están regidos por la ISOS, según Business Process Management (2010) afirma:

“También es válido aplicar el concepto de sistema de gestión a ciertos servicios utilizados durante la ejecución de un proceso y que no son elementos tangibles como los recursos. Uno de tales servicios es el de Seguridad y Salud Ocupacional, estandarizado por la ISO 18000” (pág. 48).

La norma nos da los requerimientos mínimos para la implementación de un sistema de gestión en seguridad y salud en el Trabajo (SST), que permite a las empresas el control y la mejora de desempeño de la SST.

2.3.7 Sostenibilidad de la empresa

La empresa está legalmente constituida dentro de las normativas que exigen las autoridades, además que la empresa se compromete con el cuidado medioambiental y así crear conciencia social y ambiental; la empresa busca la oportunidad de realizar negocios y tomando en consideración acuerdos con la municipalidad provincial y así poder tener la posibilidad de recaudar caucho y neumáticos en desuso.

Para mantener la sostenibilidad de la empresa se realiza un cuadro de proyección de cantidad de neumáticos en desuso a nivel del sur (Arequipa, Cuzco, Puno) se utilizará con datos extraídos de la Superintendencia de Registros Públicos (SUNARP) y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) oficina de estadísticas, cabe mencionar que hasta la fecha no existe empresa alguna dedicada exclusivamente a este rubro de recolección de neumáticos en desuso.

Tabla 1. Parque vehicular por clase de vehículo por departamento 2018

| Cantidad de vehículos región sur | Automóvil station wagon. | Ómnibus, camión, remolcador, Semi Remolque | Camionetas (Pick, Rural, Panel) | Total unidades por departamento |
|--|--------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Puno | 17578 | 8103 | 22015 | 47696 |
| Cusco | 41566 | 11445 | 20986 | 73997 |
| Arequipa | 103571 | 33874 | 50484 | 187929 |
| <hr/> | | | | |
| TOTAL | | | | |
| UNIDADES POR | | | | |
| MODELO | | | | |
| REGIÓN SUR | 162715 | 53422 | 93485 | |
| PUNO, AREQUIPA, CUSCO. | | | | |

Nota: Cantidad de vehículos en el sur de Perú: boletín estadístico: Tomado de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos.

Tabla 2. Cantidad de neumáticos por clase de vehículo

| | Peso Promedio de Neumático en desuso (kg) | Neumático por vehículo | Recambio anual promedio (und.) | 2015 | | | 2016 | | |
|--|---|------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | | | Número de vehículos (und) región sur | Unidades de neumáticos en desuso-año | toneladas al año | Número de vehículos (und) región sur | Unidades de neumáticos en desuso-año | toneladas al año |
| UNIDADES VEHICULARES | | | | | | | | | |
| Automóvil station wagon. | 7 | 4 | 1.3 | 150151 | 195196.3 | 1366.37 | 162715 | 211529.5 | 1480.71 |
| ómnibus, camión, remolcador, Semi Remolque | 55 | 10 | 4 | 51487 | 205948 | 11327.14 | 52422 | 209688 | 11532.84 |
| camionetas (Pick, Rural, Panel) | 10 | 4 | 0.8 | 90090 | 72072 | 720.72 | 93485 | 74788 | 747.88 |
| TOTAL | | | | 291728 | 473216.3 | 13414.23 | 308622 | 496005.5 | 13761.43 |

| | Peso Promedio de Neumático en desuso (kg) | Neumático por vehículo | Recambio anual promedio (und.) | 2017 | | | 2018 | | |
|--|---|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | | | Número de vehículos (und.) región sur | Unidades de neumáticos en desuso-año | toneladas al año | Número de vehículos (und.) región sur | Unidades de neumáticos en desuso-año | toneladas al año |
| UNIDADES VEHICULARES | | | | | | | | | |
| Automóvil station wagon. | 7 | 4 | 1.3 | 176562 | 229530.6 | 1606.71 | 187635 | 243925.5 | 1707.48 |
| ómnibus, camión, remolcador, Semi Remolque | 55 | 10 | 4 | 55758 | 223032 | 12266.76 | 57785 | 231140 | 12712.7 |
| camionetas (Pick, Rural, Panel) | 10 | 4 | 0.8 | 97501 | 78000.8 | 780.01 | 102298 | 81838.4 | 818.38 |
| TOTAL | | | | 329821 | 530563.4 | 14653.48 | 347718 | 556903.9 | 15238.56 |

Nota: Kg: kilogramos; und: unidad; vehículos comerciales usados en el sur del Perú.

Tabla 3. Proyección de neumáticos según método promedio

| MÉTODO PROMEDIO | | |
|------------------------|---|---|
| año | cantidad de toneladas de neumáticos en desuso al año | variación de las toneladas por año |
| 2015 | 13414.23 | |
| 2016 | 13761.14 | 346.91 |
| 2017 | 14653.48 | 892.34 |
| 2018 | 15238.56 | 585.08 |
| 2019 | 15846.67 | Promedio 608.11 |
| 2020 | 16454.78 | 608.11 |
| 2021 | 17062.89 | 608.11 |
| 2022 | 17671.00 | 608.11 |
| 2023 | 18279.11 | 608.11 |
| 2024 | 18887.22 | 608.11 |
| 2025 | 19495.33 | 608.11 |

Nota: el método de promedio es muy útil cuando se tiene información no desagregada.

Tabla 4. Proyección de neumáticos según método incremento porcentual

| MÉTODO DEL INCREMENTO PORCENTUAL | | |
|---|--|--|
| año | cantidad de toneladas neumáticos en desuso al año | variación Porcentual de toneladas por año |
| 2015 | 13414.23 | |
| 2016 | 13761.14 | 0.026 |
| 2017 | 14653.48 | 0.065 |
| 2018 | 15238.56 | 0.040 |
| 2019 | 15909.06 | Promedio 1.044 |
| 2020 | 16609.06 | 1.044 |
| 2021 | 17339.85 | 1.044 |
| 2022 | 18102.81 | 1.044 |
| 2023 | 18899.33 | 1.044 |
| 2024 | 19730.90 | 1.044 |
| 2025 | 20599.06 | 1.044 |

Nota: se calcula a partir de variación porcentual que se han experimentado la cantidad de toneladas por año.

Tabla 5. Proyección de neumáticos método lineal

| MÉTODO DEL INCREMENTO LINEAL | |
|-------------------------------------|--|
| año | cantidad de toneladas neumáticos en desuso al año |
| 2015 | 13414.23 |
| 2016 | 13761.14 |
| 2017 | 14653.48 |
| 2018 | 15238.56 |
| 2019 | 15858.19 |
| 2020 | 16596.90 |
| 2021 | 17199.25 |
| 2022 | 17878.42 |
| 2023 | 18548.95 |
| 2024 | 19189.71 |
| 2025 | 19864.56 |

Nota: Implica que se determine la relación entre una variable dependiente y otra variable independiente.

De la tabla 2, se observa que: el 2015 se obtiene 13414.23 toneladas, 2016 se obtiene 13761.43 toneladas aproximadamente.

Hasta la actualidad no existe empresa dedicada al tratamiento de neumáticos en desuso como la empresa GRISAND E.R.L. se buscará convenios con municipalidades y mineras que generan desechos sólidos. De los cuadros anteriores se observa que durante los años venideros proyectados hasta el 2025 se tendrá un aumento año tras año de materia prima, actualmente con las máquinas que posee la empresa se tiene proyectado producir 1 tonelada por día de gránulos de caucho.

2.3.8 Productos basados en el caucho reciclado

Con la obtención de materia prima a base de neumáticos y caucho triturador se obtiene los siguientes productos:

- Alambre.
- Nylon.
- Asfalto.
- Material para canchas sintéticas.
- Alfombras antideslizantes fácil instalación.
- Aislante acústico absorbe de 0.2 hasta 40 dB.
- Paredes de contención, aislante térmico, aislante eléctrico.

- Plantilla para zapatos.
- Absorbedor de vibraciones coeficiente medio de absorción es de 0.09

Hay una variedad de productos con los que se puede hacer con las migas de caucho sin embargo solo se abordará 2 productos.

2.3.9 Material para canchas sintéticas

La principal razón porque las canchas sintéticas usan caucho granulado en su composición, es porque dan menor riesgo de posibles lesiones; una de las propiedades del caucho granulado es que absorben impactos, la cual es una ventaja para los jugadores de deportes en las canchas sintéticas; además, se considera que es más económico en comparación con las canchas de deporte de pasto natural.

Algunas ventajas de usar caucho granulado en las canchas sintéticas:

- Se utiliza el caucho granulado para asegurar que los balones tengan rebote de manera adecuada similar a las canchas de pasto natural.
- Brinda comodidad y confort, gracias a que es un material termoestable es resistente a diferentes condiciones climáticas, es aislante y elimina la electricidad estática, por tanto, el caucho granulado genera comodidad a los jugadores que utilizan las canchas sintéticas.
- Al rellenar con caucho granulado se obtiene que las fibras de plástico se mantengan en forma vertical ya que las fibras al ser largas requieren ser rígidos.
- El caucho granulado proviene de desechos de fajas transportadoras y miles neumáticos en desuso y al ser reutilizado se evita la contaminación ambiental, el neumático se degrada en aproximadamente diez siglos.
- Como se mencionó anteriormente, una de las razones por la que se usa el caucho granulado es evitar accidentes y lesiones, ya que el caucho tiene la capacidad de absorber impactos evitando raspones y quemaduras.
- Recomendado por la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA) en la actualidad va en aumento la instalación de canchas sintéticas que son similares al pasto natural.

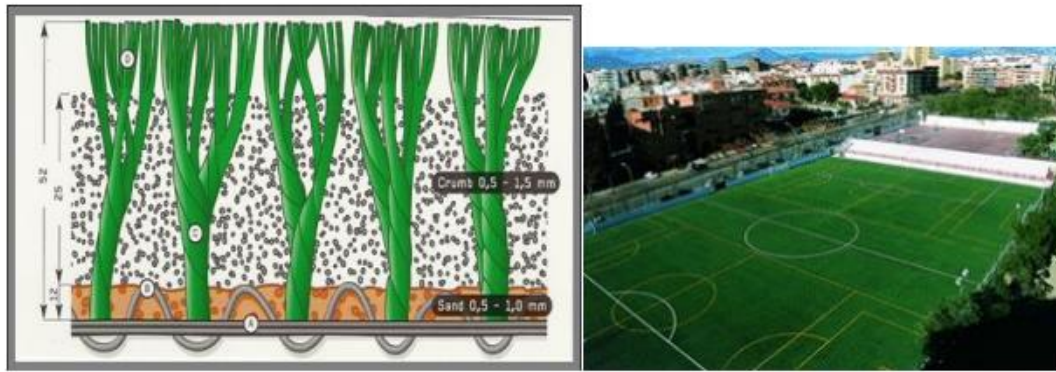


Figura 10. Instalación grass sintético normado según FIFA, adaptado de instalación de canchas sintéticas tomado de www.wlgrass.com/pe_artificial_turf

Para la preparación de un impermeable a base de polvo de caucho reciclado se adiciona ciertas resinas de estireno butadieno, esta resina puede ser acrílica estirenada, al finalizar se agrega boro carbonatado, en algunas ocasiones se utiliza el petróleo o la brea mezclado con resina acrílica para impermeabilizar techos y proteger de las filtraciones, estos selladores impermeables dependen del polímero a adicionar para así tener cierto tiempo de durabilidad, en el mercado internacional hay varios productos como A3P Imperllanta que es un producto ecológico ya que utilizan llantas en desuso para su elaboración

Según A3P Imperllanta “es un impermeabilizante y protector refractivo, se puede aplicar sobre losas de concreto planas e inclinadas, pero también en láminas galvanizadas, de fibrocemento y de asbesto, en paredes, tabla, roca y jardineras de edificios, comercios, industrias, residencias, hoteles, entre otros, antes de su aplicación se utiliza un sellador elastomérico. Su elasticidad le permite soportar los movimientos estructurales de contracción y expansión normales de toda construcción.”

2.3.10 Asfalto con adición de caucho reciclado.

La utilización del grano de caucho para la fabricación de asfalto para pavimentar, en otros países ya tiene incidencia hace varios años, en nuestro país no hay información de alguna empresa que se dedique a la fabricación de asfalto a base de polvo de caucho, aún en nuestro país no se encuentra la tecnología para la fabricación de asfalto y la mezcla apropiada para el uso en las vías de acceso, se requiere un estudio y evaluación de ventajas aprendiendo de investigaciones realizadas en otros países como Brasil, Estados Unidos. La posibilidad de generar la investigación e implementar métodos de reciclaje de caucho y posteriormente contribuir el mejoramiento de

autopistas, carreteras convencionales, vías urbanas utilizando técnicas de vía seca y vía húmeda.

La solución consiste en mezclar polvo de caucho reciclado con químicos como la bituminosa se debe considera granulometría (1 mm a 1.3 mm), contenido de elementos químicos y fibras como el nylon, humedad etc.

Alguna de las ventajas de usar el caucho reciclado en el asfalto:

- El uso de material reciclado como materia prima
- Mejor compactibilidad.
- Mejor resistencia al agua.
- Mejor resistencia a la fatiga.
- Mayor duración que el asfalto convencional.
- Menor espesor.
- Genera menor ruido.
- Ahorro de material y costo.
- Incremento de la vida útil del refuerzo

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.4.1 Neumáticos.

Los neumáticos nuevos poseen estructuras tubulares complejas, están fabricadas por caucho natural como componente principal, adicionalmente tiene un porcentaje de caucho sintético, negro de humo, componentes químicos como el óxido de zinc, azufre, aceites sintéticos, hilos de nylon y alambre de acero; a continuación, se detalla la composición en porcentaje de un neumático nuevo.

Tabla 6. Composición de componentes de neumático en porcentajes

| | Neumáticos destinados para autos de uso en turismo (%) | Neumáticos de camiones (%) |
|------------------|---|-----------------------------------|
| Caucho Natural | 16 | 42 |
| Caucho Sintético | 25 | 10 |
| Refuerzos | 5 | ----- |
| Textiles | | |
| Refuerzos | 13 | 22 |
| Metálicos | | |

| | | |
|-------------------|----|----|
| Agentes Químicos | 14 | 7 |
| Carga de Refuerzo | 28 | 23 |

Nota: Elementos químicos ordenados por porcentaje de presencia en el neumático. Tomado de European Tyre Recycling Association., 2015, p. 15.

Las composiciones químicas de los neumáticos varían según al uso que fueron fabricados, a continuación, se detalla el porcentaje de elementos químicos a usar para la elaboración del neumático.

Tabla 7. Composición química del neumático

| Elemento Químico | Porcentaje de composición (%) |
|------------------|-------------------------------|
| Carbono | 70-83 |
| Hidrógeno | 5-7.5 |
| Azufre | 1.2-1.9 |
| Nitrógeno | 1.5 |
| Oxígeno | 5 |
| Hierro | 5-18 |
| Zinc | 1.2-2.7 |
| Color | 0.1-0.8 |
| Otros | 5 |

Nota: La composición porcentual mide la cantidad de masa que ocupa el neumático, recuperado de European Tyre Recycling Association. 2015. p. 17.

2.4.2 Neumáticos en desuso.

Es el neumático cuyo tiempo de vida útil concluyó y no son aptos para su uso a menos que se le aplique técnicas que puedan alargar su vida útil tales como el reencauche, material para el reciclado, etc.

2.4.3 Rencauchado de neumáticos.

Este proceso se realiza a los neumáticos cuya carcasa principal no está dañada; consiste en colocar una banda de rodadura nueva para conservar las cualidades de un

neumático nuevo; actualmente en Perú se rencauchan un promedio del 10% de los neumáticos en desuso.

2.4.4 Reciclado del neumático en desuso.

El proceso consiste en el reaprovechamiento dándoles propiedades adicionales que se perdieron por efectos de desgaste, en otro caso se aplica la fabricación de otros productos a base del caucho para la fabricación de baldosas, pisos amortiguantes, superficies para el atletismo, deportes, productos moldeados, etc.

2.4.5 Proceso de trituración.

Para este método se utiliza métodos mecánicos de trituración y molienda, además se utilizan métodos de criogenización para la obtención de gránulos finos; después de la trituración se utilizan métodos de separación de los componentes tales como las fibras de nylon e hilos de acero.

2.4.6 Dureza del caucho.

Es la propiedad mecánica que poseen los materiales a resistir al rayado y corte superficial, con frecuencia el ensayo de dureza al caucho se realiza con la penetración de una bola o una punta, no hay otra relación de dureza y otras propiedades similares a los que se realiza con el acero.

Este tipo de ensayo es muy aplicado y práctico, nos brinda la facilidad de utilización de aparatos sencillos y portátiles. En el mercado existen infinidad de aparatos portátiles que usan resortes con carga cero, la norma internacional ISO 48 normaliza los ensayos de dureza, la IRHD (International Rubber Hardness Degrees) tienen escalas desde 0 que miden materiales altamente blandos, y hasta escalas que llegan a 100 que son para materiales altamente duros.

Al aplicar la fuerza de penetración en el material a ensayar deberá estar en el orden de 8 a 10 mm. de espesor, la lectura es inmediata dura alrededor de 30 segundos por recomendaciones que describe el organismo nacional de normalización UNE 53601 (entidad española) y su correspondencia ISO 1818 norma que determina durezas superiores a 85 IRHD.

2.4.7 Desgarro del caucho.

Se define como la resistencia al desgarro, es necesario una fuerza sobre una sección necesaria para generar un corte direccionado sobre el esfuerzo ejercido. El método consiste en la aplicación del esfuerzo de tracción utilizando probetas, la carga

efectuado sobre el área da a lugar a rotura, así se toma como índice de la resistencia al desgarramiento de la probeta a ensayar. Es importante ver la forma, la profundidad de corte y la dirección del corte; la prueba de resistencia al desgarramiento está afectada por la cantidad de fibras que posee el caucho, velocidad de alargamiento, esfuerzos concentrados en la región del corte.



Figura 11. Desgarramiento caucho, probeta en máquina, tomado de «fundamentos de ciencia y tecnología del caucho», por Lebras Jean, 1960. p. 105.

2.4.8 Máquina trituradora guillotina.

Esta máquina tiene el principio de funcionamiento de guillotina, utiliza bloques insertados en un eje rotativo alternado con cuchillas fijas ambos hacen el efecto de guillotina a una distancia de 0.1 mm. de separación entre las cuchillas; las cuchillas previamente son tratadas térmicamente y endurecidas, estas cuchillas son de fácil reemplazo. El tamaño a obtener depende de la criba instalada en la máquina.

2.4.9 Situación de reciclaje en el Perú.

Cada 17 de mayo en el Perú se conmemora el día mundial del reciclaje, un acontecimiento que hace recordar la importancia del tratamiento de los residuos para así minimizar el aumento de residuos; el concepto de re-usar y reaprovechar dan valor comercial y adicionan un valor agregado y generan nuevos productos. En el Perú se recicla solamente el 1.9% del total de desechos que pueden ser re aprovechables.

En los últimos años se ha vuelto una necesidad urgente poder reciclar y así minimizar los efectos de contaminación en el ambiente y la salud. Con el reciclaje de materiales tales como el caucho, metales, plásticos, vidrio y papel nos permiten ahorrar materia prima y así generar nuevos productos con el objetivo de darle más vida útil a los rellenos sanitarios.

Conforme al Decreto Legislativo 1278 (2017), “Aprovechamiento de residuos sólidos: Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de aprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización”.

Adicional a la publicación del reglamento el ministerio del ambiente buscó regular el uso del plástico generando un costo adicional de 0.20 céntimos de sol para el empaquetado traslado de los productos que se compran en los centros comerciales para así generar cultura de reciclaje en los consumidores. El Ministerio del Ambiente (MINAM) recoge como dato que cada poblador de la región Lima y la provincia constitucional del Callao genera alrededor de 870 gramos de residuo sólido al día.

El 5 de junio del 2017 conmemorado como el día mundial del cuidado del medio ambiente, ante un foro nacional la ministra Elsa Galarza Contreras, inaugura el llamado Perú Limpio, se convocó la participación y el compromiso del gobierno central y los gobiernos regionales, empresas privadas, asociaciones dedicadas al reciclaje, las cuales participaron para desarrollar el manejo óptimo de todos residuos sólidos generados en el Perú.

La ministra del ambiente se refirió indicando, que es necesario que los peruanos tengamos una mirada distinta a la tarea del reciclaje e iniciar dándo valores importantes a la recolección transporte y tratamiento de los residuos generados en nuestro entorno; también la ministra como representante del Ministerio del Ambiente declara que se dio inicio y la finalidad es una nación limpia, la tarea del ministerio es integrar varias reformas legales que apoyen la nueva Ley de Residuos Sólidos; estos decretos simplifican varios procedimientos administrativos que servirán para la implementación de nuevos rellenos sanitarios, además de apoyar con talleres e infraestructuras dedicados al reciclaje y la reutilización de la basura.

En el foro titulado “Perú Limpio: Experiencias y Propuestas Innovadoras de Reciclaje” se reunió a las principales autoridades de gobiernos regionales y distritales, académicos, estudiantes universitarios y población en general; se debatió acerca de la “CADENA DE VALOR DEL RECICLAJE EN AMÉRICA LATINA” hubo debates y experiencias en el proceso del reciclaje de residuos provenientes de autos y camiones darle una valorización adicional a los neumáticos en desuso a través del programa de re –procesamiento.

El gobierno del Perú a través del Ministerio del Ambiente, viene promoviendo y trabajando iniciativas que puedan desarrollar tareas de valor al reciclaje. El MINAM promueve el uso de tecnología y la generación de empleo.

Así mismo algunas municipalidades como Huánuco, Apurímac y Madre de Dios organizan jornadas de limpieza que desarrollan sobre el margen del rio HUALLAGA, recogen alrededor de 3 toneladas de residuos sólidos; en las provincias de Apurímac y Arequipa por medio de un programa de educación y cuidado del medio ambiente

ejecutan el embellecimiento de calles y parques de la ciudad a través de labores artísticas utilizando los neumáticos en desuso.



Figura 12. Diseños decorativos con neumáticos en desuso adaptado de <https://t.co/Nu5H4sLONVpic.twitter.com/WGjE2E3xv3>.

2.4.10 Ejes y flechas.

Un eje es un componente no giratorio que no transmite par de rotación, pero tiene la finalidad de rotar y en la mayoría de los casos tienen sección circular, normalmente en la industria de máquinas se utilizan para la transmisión de potencia de un eje acoplado a poleas, engranajes, ruedas dentadas, volantes, etc.

“La configuración general de un eje para acomodar los elementos que lo conforman, por ejemplo, engranes, cojinetes y poleas, debe especificarse en los primeros pasos del proceso de diseño para realizar un análisis de fuerzas de cuerpo libre y obtener diagramas de momento cortante. Por lo general, la geometría de un eje es la de un cilindro escalonado. El uso de hombros o resaltos constituye un medio excelente para localizar en forma axial los elementos del eje y para ejecutar cualquier carga de empuje necesaria. (Budynas y Keith, 2011, pág. 345).”

Cuando se toma la decisión de seleccionar el eje de soporte porta cuchillas, se considera la configuración geométrica del eje, el esfuerzo, la resistencia estática, resistencia por fatiga, deflexión por flexión y torsión, esfuerzos que soportan los rodamientos, componentes que soportan el eje, vibraciones por efecto del funcionamiento del motor eléctrico, todos los aspectos a tomar para el análisis de esfuerzos en el punto de corte de caucho, para el diseño del eje es necesario considerar el esfuerzo y la resistencia una vez calculado los valores para la correcta selección del eje se pueden determinar las deflexiones.

2.4.11 Materiales para ejes.

Consideraciones que se debe de tomar para la fabricación de los ejes:

- Rigidez.
- Módulo de elasticidad.
- Geometría del eje.
- Tratamientos térmicos.

Por lo general gran parte de los ejes destinados para máquinas son fabricados con acero de bajo porcentaje de carbono, acero extruido en frío y aceros laminados en caliente por ejemplo ANSI 1020-1050. En la mayoría de los ejes, no necesitan un endurecimiento superficial si requiere algún punto de contacto que genere desgaste considerar el tratamiento superficial y los grados de carburización; los aceros laminados deberán ser maquinados para obtener el diámetro calculado, si el requerimiento de diseño solicita un maquinado de acabado sin rugosidad se utiliza máquinas herramientas como el torneado, fresado para obtener las dimensiones requeridas por diseño.

2.4.12 Configuración del eje.

En general la geometría del eje debe ceñirse a los componentes que soportarán por ejemplo rodamientos, poleas, cuchillas, engranajes; el proceso de diseño comprende el análisis de fuerzas de cuerpo libre y diagramar momentos cortantes y flectores, por lo general la selección del eje se considera una revisión de modelos ya existentes. En la mayoría de los ejes solos se soportan por dos rodamientos a excepción de ejes largos que son soportados por varios componentes y si es necesario más apoyos con rodamientos en este caso se considera el alineamiento de los rodamientos.

Para el caso de rodamientos, se debe considerar la longitud del eje y así reducir los momentos flexionantes; Además, debe poseer espacio axial entre los componentes para la correcta lubricación, considerar que los componentes que soportan carga deberán instalarse cerca de los rodamientos, ya que estos componentes tendrán que soportar concentración de esfuerzos y minimizar la deflexión.

“Los ejes deben mantenerse cortos para minimizar los momentos flexionantes y las de flexiones. Es deseable cierto espacio axial entre los componentes para permitir el flujo de lubricante y proporcionar espacio de acceso para el desensamble de componentes con un jalador. Los componentes de carga deben colocarse cerca de los cojinetes, de nuevo para minimizar el momento flexionante en las ubicaciones que

probablemente tendrán concentraciones de esfuerzo, y para minimizar la deflexión en los componentes sometidos a carga.”

“Los componentes deben localizarse de manera exacta sobre el eje para alinearse con los otros componentes correspondientes, y debe tenerse la precaución de sostener los componentes en posición. El medio principal para ubicar los componentes es posicionarlos contra un hombro del eje. Un hombro también proporciona un soporte sólido para minimizar la deflexión y vibración del componente. (Budynas y Keith, 2012, pág. 347).”

2.4.13 Transmisión de par torsional en ejes.

Los ejes se utilizan para transmitir potencia también llamado par de torsión sobre un engranaje o poleas de entrada, el eje deberá ser diseñado de un tamaño adecuado ya que tiene que soportar esfuerzos y deflexión por torsión. A continuación, se menciona alguno de los componentes utilizados como transmisores de par de torsión:

- Ejes estriados.
- Pasadores.
- Cuñas.
- Ajustes a presión o por contracción.
- Tornillos de fijación.

Estos elementos están diseñados para la transmisión de par torsional y son elementos de sacrificio ya que, al fallar bajo ciertos límites de trabajo, protege de rotura o fatiga a los elementos mucho más caros, los elementos más comunes a usarse en un sistema de transmisión de par son las cuñas insertados en ranura del eje y la polea; es común que las cuñas tengan un ajuste deslizante para que montaje y desmontaje sean fáciles. Las transmisiones de ejes estriados resultan ser más caras, algunas cuñas en la industria no son usadas para transmitir par de torsión en cambio utilizan sus similares como tornillos de fijación, pasadores, bujes con ajustes de apriete y a presión.

Ajustes a presión y contracción. - para poder instalar los componentes sobre los ejes que trabajan transfiriendo par de torsión y conservar la posición axial. Se considera la resultante de la concentración de esfuerzos en un punto, por lo general es relativamente pequeña, por tanto, se buscará direccionar con las medidas apropiadas con tolerancias permisivas para transmitir potencia por ajustes que necesitan presión y la utilización de contracción de componentes mecánicos. Existen métodos similares que usan una maza seccionada y se sujetan con pernos y tornillos sobre el eje transmisor de potencia. Este método de sujeción utiliza tornillos que permite el desarme y montajes

para variar los ajustes laterales. Otros métodos semejantes usan una maza dividida en dos partes, compuesto por un elemento interno partido que encaja dentro de un agujero calibrado. Posteriormente, el armado se ajusta al eje con tornillos que ejercen fuerza en la parte interna de la rueda y sujetan todo el componente en el eje.”

“Los ajustes ahusados entre el eje y el dispositivo montado en él se usan con frecuencia en el extremo sobresaliente de un eje. Las roscas de tornillo del extremo del eje permiten el empleo de una tuerca para sujetar con firmeza la rueda al eje. Este enfoque resulta útil porque se puede desensamblar, pero no proporciona buena ubicación axial de la rueda en el eje. En las primeras etapas de la configuración del eje, lo importante es seleccionar un medio apropiado para transmitir el par de torsión y determinar cómo afecta a la configuración global del eje. Es necesario saber dónde estarán las discontinuidades del eje, como cuñeros, orificios y estrías, con el propósito de determinar ubicaciones críticas y poder analizarlas. (Budynas y Keith, 2012, pág. 349).”

2.4.14 Concepto de esfuerzos en los ejes.

Los ejes soportan esfuerzos de torsión, esfuerzos de flexión y esfuerzos axiales, estos están presentes de forma continua o de manera alterna; para el diseño se considera combinar los diferentes esfuerzos, para el diseño del eje en algunas ocasiones es necesario adaptar ecuaciones en general, no se considera las cargas axiales porque son relativamente pequeñas a comparación de los esfuerzos de flexión y torsión. La fórmula a utilizarse considerando los esfuerzos fluctuantes de flexión y esfuerzos de torsión están dadas por:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a C}{I}$$

$$\sigma_m = K_f \frac{M_m C}{I}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a C}{J}$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{T_m C}{J}$$

M_m = momento flexionante medio M_a = momento flexionante alternante

T_m = par de torsión medio T_a = par de torsión alternante

K_f = factor de concentración de esfuerzo por fatiga de la flexión

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzo por fatiga de torsión

En un eje sólido de sección circular se introducen términos generales y geométricos asignados, finalmente resultan en las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_a = K_f \frac{32 M_a}{\pi d^3}$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32 M_m}{\pi d^3}$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16 T_a}{\pi d^3}$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16 T_m}{\pi d^3}$$

Para combinar los esfuerzos internos acorde al concepto de falla por distorsión, mencionamos a los esfuerzos de Von Mises para aquellos ejes que giran, circulares y sólidos, estas ecuaciones no consideran las cargas axiales.

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32 M_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32 K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Todos los factores que concentran esfuerzos son considerados de manera opcional para los elementos fabricados con materiales dúctiles ya que estos materiales tienen la propiedad de hacer fluir internamente la discontinuidad.

Los esfuerzos medios y esfuerzos alternantes se evalúan en referencia a la curva de falla adecuada sobre el diagrama de Goodman.

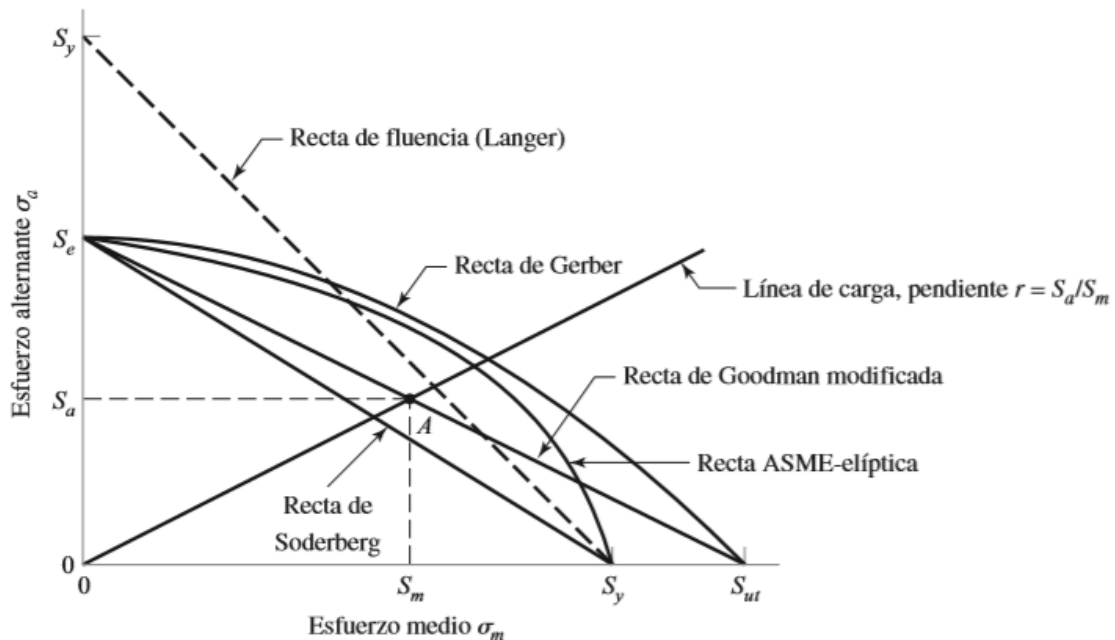


Figura 13. Diagrama de Goodman tomado de «Diseño en ingeniería mecánica» por Shigley Buynas, R. y Nisbett, J., 2012, p.125

El criterio de falla por fatiga sobre la línea de Goodman se expresa en la siguiente ecuación

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{sut}}$$

Sustituyendo σ'_a y σ'_m en las ecuaciones 1 y 2 anteriores resulta:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

Para tal efecto es necesario darle solución a la ecuación y poder determinar el diámetro aproximado y resulta en la siguiente ecuación:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

2.4.15 Consideraciones de deflexión.

La deflexión lineal y angular de los ejes depende de la ubicación de las poleas y los apoyos en los rodamientos a usar, la deflexión permisible depende de muchos factores y con ayuda de catálogos de rodamientos se deben usar como guía para el diseño de los ejes. Las deflexiones se pueden dar en diferentes puntos, los cambios de sección locales tales como ranuras, filetes, alojamiento para las chavetas no tienen efecto de deflexión en el eje, el análisis de la deflexión tiene que ser de forma directa a lo largo del eje, deben de ser analizado con un software apropiado.

Una vez determinado la deflexión en los diferentes puntos del eje se vuelve calcular el nuevo diámetro a partir de la siguiente fórmula.

$$d_{nuevo} = d_{anterior} \left| \frac{n_d y_{anterior}}{y_{perm}} \right|^{1/4}$$

$$y_{perm} = \text{deflexión permisible}$$

$$n_d = \text{factor de diseño}$$

2.4.16 Velocidades Críticas de los ejes.

Cuando los ejes giran producen una excentricidad esto a la vez genera deflexión por efecto de la fuerza centrífuga, cuando las deflexiones son pequeñas no tenemos ningún daño en los ejes; sin embargo, considerar las velocidades críticas a ciertas revoluciones hacen que el eje se vuelva inestable por tanto las deflexiones dinámicas se desconocen, mediante las curvas de deflexión estática resulta en estimaciones de la velocidad máxima crítica, los diseñadores suelen determinar la velocidad crítica en función al doble de la velocidad de operación.

“El eje, debido a su propia masa, tiene una velocidad crítica. De igual forma, el ensamble de elementos a un eje tiene una velocidad crítica que es mucho menor que la velocidad crítica intrínseca del eje. La estimación de estas velocidades críticas (y sus armónicas) es una tarea del diseñador. Cuando la geometría es simple, como la de un eje de diámetro uniforme, simplemente apoyado, la tarea es fácil. (Budynas y Keith, 2012, pág. 366).”

La velocidad crítica se da en función de la siguiente fórmula.

$$\omega_1 = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} = \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{gEI}{Ay}}$$

$m = \text{masa por unidad de longitud}$

$A = \text{área de la sección transversal}$

$y = \text{peso específico}$

2.5 TRANSMISIÓN DE POTENCIA

2.5.1 Transmisión de potencia por bandas en v.

De los diferentes sistemas de transmisión de potencia, una de las formas más económicas es la de transferencia por correas en forma V y su utilización común es en la industria, agricultura y aplicaciones en artefactos del hogar; a continuación, alguna de las ventajas de la transmisión por correa en forma V:

- Instalación fácil.
- Económica con relación a otros sistemas de transmisión.
- Operación suave y silenciosa.
- No requiere lubricación.
- La elasticidad de las bandas permite amortiguar cargas.
- No requiere mantenimiento especializado
- Mayor cantidad de horas trabajadas.

“En general, se aplican las transmisiones por bandas cuando las velocidades de rotación son relativamente altas, como en la primera etapa de reducción de la velocidad de un motor eléctrico o de combustión, la velocidad lineal de una banda es de unos 2500 a 6500 pies/min (762 a 1980 m/min), lo cual da como resultado fuerzas de tensión relativamente pequeña en la banda. (Mott., 2006).”

La banda es un componente flexible que transmite la potencia a través de un conjunto de elementos llamados poleas que normalmente son acalados, en sistemas

de transmisión la polea de menor diámetro suele estar montado en el eje conductor de alta velocidad y la polea de mayor diámetro suele estar montada en el eje de la máquina conducida.

Cuando la transmisión es por sistema de bandas, el sistema ejerce una fuerza tangencial en la polea conducida, así aplica un par de torsión en el eje conducido, el incremento de tensión de la banda es llamado lado tenso y el lado contrario que se encuentra con menor tensión es llamado lado flojo.

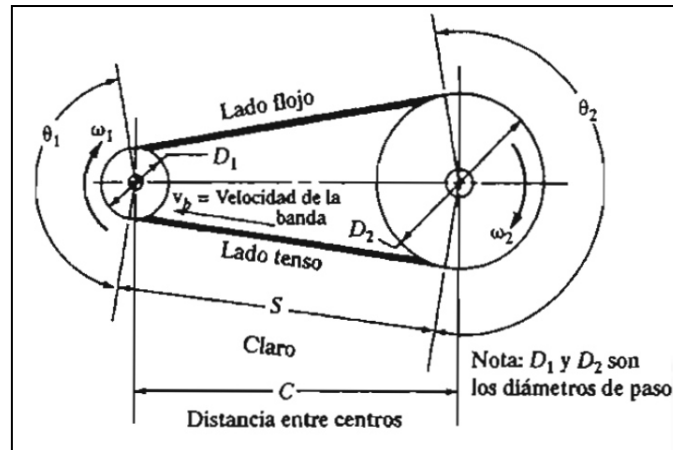


Figura 14. Geometría de transmisión por faja en V tomado de «Diseño en ingeniería mecánica», Shigley Buynas, R. y Nisbett, J., 2012, p.128

En el mercado existe una variedad de bandas:

- Bandas planas.
- Bandas acalanadas o dentadas.
- Bandas en forma V.

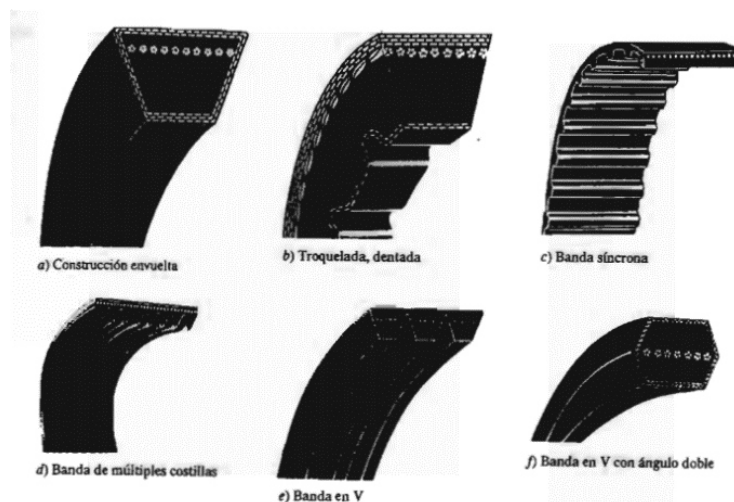


Figura 15. Tipos de bandas de transmisión de potencia, tomado de www.ecorsaperu.com.pe

En las transmisiones de tipo industrial, se suele usar el accionamiento por bandas en forma de V, esta forma hace que se junte firmemente en la canaleta de la polea y permita la fricción y la transmisión de torsión sin que exista patinaje, fabricadas de lonas y fibras naturales de alta resistencia suele tener alambres de acero cubiertos por caucho para que sean flexibles y moldeables que puedan encajar en las poleas.

Las transmisiones efectuadas por bandas de forma V, tienen consideraciones que a continuación se detallan:

- Polea: un dispositivo en forma circular con una o varias ranuras cuyo objetivo es transmitir una fuerza es donde la banda se instala.
- El tamaño de polea se indica con el diámetro de paso.
- Relación de velocidad de polea motriz y conductora es inversamente proporcional a la relación de sus diámetros.
- La sociedad de ingenieros Automotrices (SAE) norman dimensiones y funcionamiento:
 - Norma SAE J636: Bandas y poleas en Forma V.
 - Norma SAE J637: Transmisiones de bandas para la industria automotriz.
 - Norma SAE J1278: bandas y Poleas síncronas.
 - Norma SAE J1313: Transmisiones automotrices por bandas síncronas.
 - Norma SAE J 1459: Bandas V acostilladas y poleas.
- Cálculo de potencia de máquina motriz.
- Factor de servicio, con base en el motor y carga impulsada
- Distancia entre centros. $D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$
- Longitud de la banda.
- Tamaño de poleas conductor y conducido.
- Factor de corrección de longitud de banda.
- Factor de corrección por ángulo de contacto en la polea conductora.
- Numero de bandas.
- Tensión inicial de bandas.
- Angulo de contacto en la polea conductora tiene que ser mayor a 120°.
- La mayoría de las poleas comerciales están fabricadas de hierro fundido por eso es necesario limitarse a 1980 m/min.

2.5.2 Poleas en forma V.

En el mercado existe una variedad de poleas fabricadas que son normalizadas que van desde 50 milímetros hasta 1500 milímetros de diámetro exterior y en varios números de canales.

Canal: se refiere a la porción ranurada de la polea, las medidas de los canales y los ángulos dependen del tipo de correa a utilizar.

Diámetro exterior (D): Es la dimensión medida sobre el exterior de la polea

Ancho (F): Esta medida se refiere al ancho superior de la polea

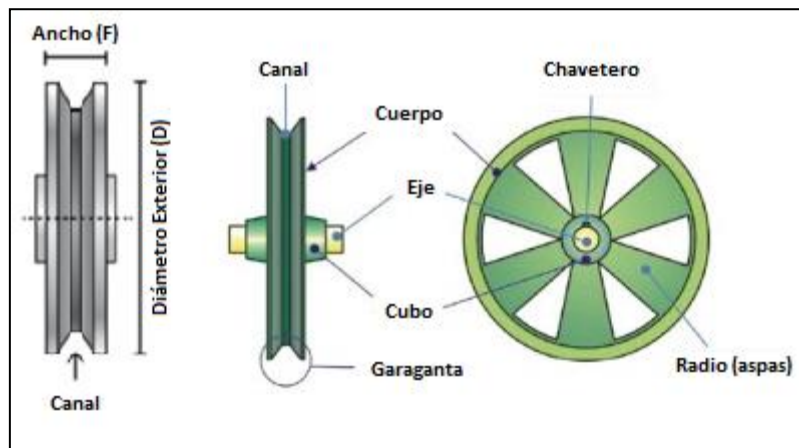


Figura 16. Descripción partes de polea, adaptado de mecanismos de transmisión <https://sites.google.com/site/gabrielmecanismos/Home/parte-ii/2---polea>

Las poleas están fabricadas según estándares internacionales ISO 254 (1998) depende del diámetro exterior buscando que sean de menor peso sin que esto afecte la resistencia.



Figura 17. Poleas en V (radios, aligerada, maciza), tomado de <https://www.edu.xunta.gal/portal/>

Las poleas en forma de V son fabricados de fundición Gris, fundición Nodular, Aluminio, Fundición de Acero o Acero Laminado. Por temas económicos las poleas en su mayoría son fabricados en fundición gris. Estas poleas están fabricadas según el material y la velocidad a trabajar a continuación, se detalla:

Tabla 8. Material de fabricación de poleas en V

| MATERIAL | | VELOCIDAD |
|--------------------|--------|------------------|
| Fundición gris | GG 20 | 33m/s |
| Fundición nodular | GGG 40 | 41 m/s |
| Aluminio | A 329 | 33 m/s |
| Fundición de acero | 1020 | 45 m/s |
| Acero laminado | 1020 | 61 m/s |

Nota: GG: moldeado de arena verde posteriormente mecanizado; GGG: fundición esferoidal perlítica – ferrítica mayor resistencia al desgaste y dureza superior a 180HB, disponible en: <https://www.intermec.com>.

Se recomienda cuando se realiza el diseño con transmisión de potencia diseñarse componentes o guardas que estén cubriendo las partes en movimiento. Las poleas tienen cierto grado de rugosidad para mejorar el agarre de las bandas sobre las canaletas de la polea esta rugosidad según norma deberá estar en el rango de 3.2 um (micras).

2.5.3 Diámetros mínimos de poleas.

No es recomendable utilizar poleas de diámetros pequeños como polea conductora instalada en el eje del motor, esto afectará la vida útil de las bandas y rodamientos; a continuación, se detalla diámetros mínimos recomendados por NEMA (National Electrical Manufacturers Association) que aplica para motores e incluye en las normas europeas.

Tabla 9. Diámetros mínimos de polea según potencia y rpm

| Caballos de Fuerza (HP) | DIÁMETROS MÍNIMOS EN mm | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | RPM de motor | | | |
| | 900 | 1200 | 1800 | 3600 |
| 0.5 | 65 | | | |
| 0.75 | 65 | 65 | | |
| 1 | 65 | 65 | 60 | |
| 1.5 | 75 | 65 | 65 | 60 |
| 2 | 75 | 65 | 65 | 65 |
| 3 | 75 | 75 | 65 | 65 |
| 5 | 100 | 75 | 75 | 75 |

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 7.5 | 115 | 100 | 75 | 75 |
| 10 | 115 | 115 | 100 | 100 |
| 15 | 135 | 115 | 115 | 115 |
| 20 | 155 | 135 | 115 | 115 |
| 25 | 170 | 155 | 115 | |
| 30 | 170 | 170 | 135 | |
| 40 | 210 | 170 | 155 | |
| 50 | 230 | 210 | 170 | |
| 60 | 260 | 230 | 190 | |
| 75 | 260 | 260 | 230 | |
| 100 | 350 | 350 | 250 | |
| 125 | 380 | 350 | 280 | |
| 150 | 465 | 350 | | |

Nota: mm: milímetros; RPM: revoluciones por minuto; HP: caballo de fuerza, horsepower tomado de <https://www.intermec.com>.

2.5.4 Mantenimiento de poleas.

Revisar periódicamente los canales observando si tiene grietas o superficies con aceites; con apoyo de una Galga evaluar el desgaste de los canales. Es importante realizar la comprobación ya que pudieron ser modificadas por efecto de la tensión excesiva o mal alineamiento de las bandas, cabe mencionar que una polea con desgaste reduce la vida útil de la banda en 50%, mantener limpio la superficie de contacto de las bandas, limpiar con un cepillo duro que puedan rayar las paredes de la polea y queden libres de óxido, aceites, grasas u otros elementos contaminantes que puedan dañar las bandas.

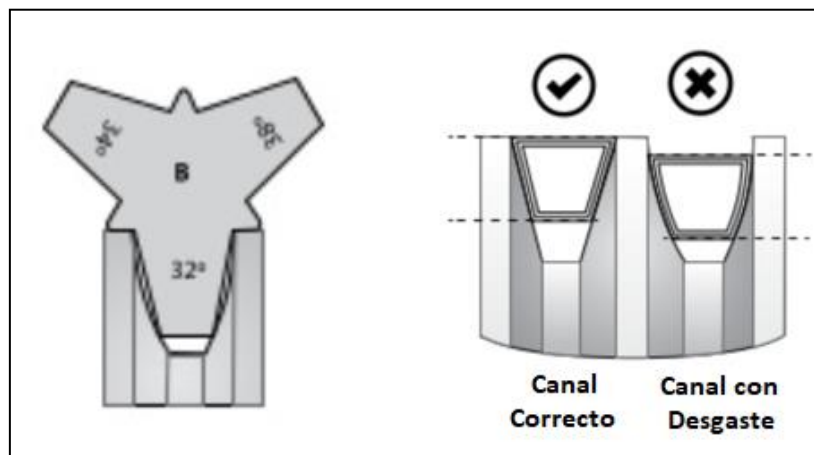


Figura 18. Instalación correcta de banda en V, tomado de https://www.intermec.com.co/pdf/Sistemas_de_fijacion.pdf

2.5.5 Alineamiento de las poleas.

En un sistema de transmisión por poleas y bandas se requieren que los ejes estén centrados y paralelos ente sí, tienen que estar bien fijos y soportados en chumaceras, las poleas deben estar instaladas lo más cercano posible a las chumaceras de los rodamientos. El proceso de alineamiento puede realizarse con suficiente precisión utilizando una regla metálica; sin embargo, existen herramientas sofisticadas como los alineadores láser.

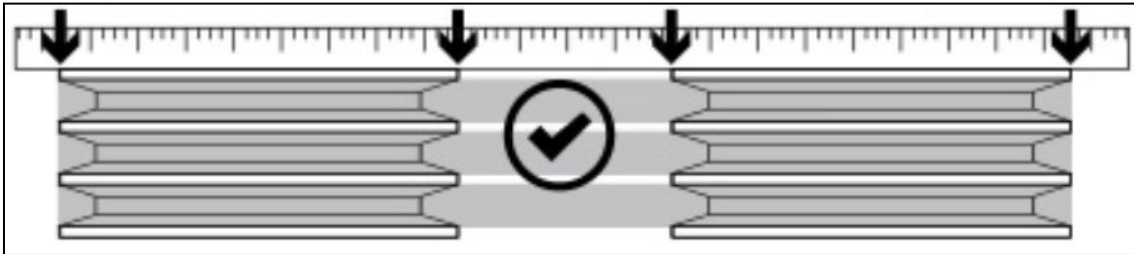


Figura 19. Alineamiento correcto de poleas, tomado de https://www.intermec.com.co/pdf/Cuidado_y_mantenimiento.pdf

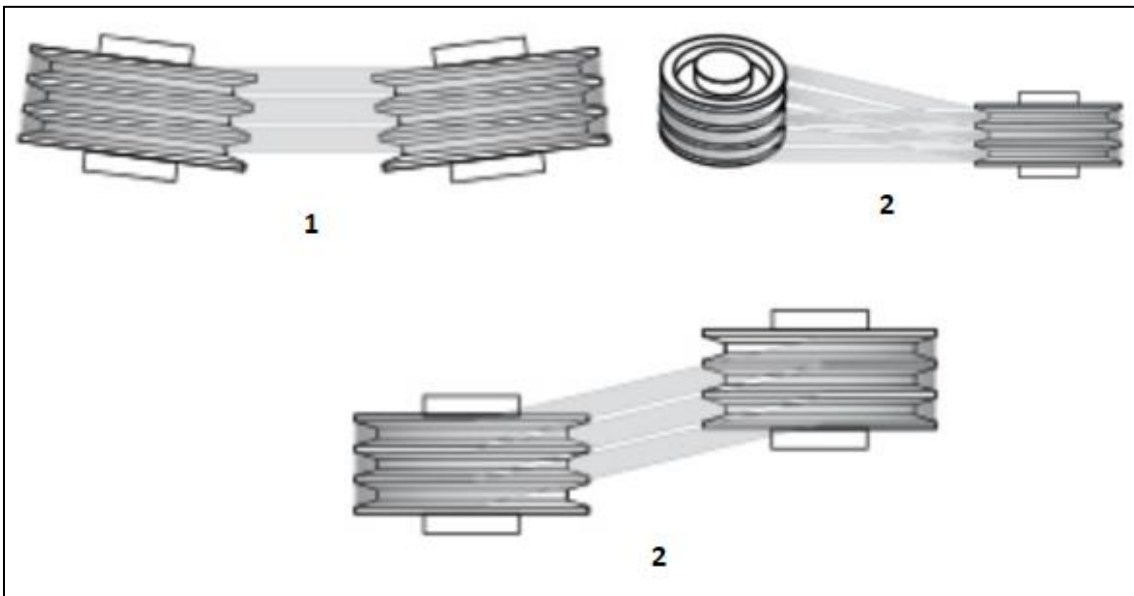


Figura 20. Desalineación angular (1), cruzada (2) y paralela (3), tomado de https://www.intermec.com.co/pdf/Cuidado_y_mantenimiento.pdf

2.5.6 Reductor de velocidad por poleas

El sistema de transmisión por poleas, se basa en un conjunto de poleas conectadas por una correa, con la finalidad de transmitir fuerza y velocidad angular entre los ejes paralelos de la máquina ubicados a cierta distancia, la fuerza es transmitida por rozamiento que ejerce la correa en la polea.



Figura 21. Transmisión de Potencia por fajas, tomado de <https://slideplayer.es/slide/10598954/>

La polea es una rueda con un agujero en el centro normalmente fabricados de hierro fundido y aluminio, estas poleas son acopladas a los ejes a través de ranuras o chaveteros que fijen un buen acoplamiento eje polea. La polea conductora va montada al eje movido por un motor y la polea conducida que también está acoplada al eje de la máquina a mover. El sistema de transmisión por correa es de alto rendimiento (95% – 98%) y de costo reducido.

A continuación, se detalla la ecuación de velocidades por correa.

$$\Phi_1 n_1 = \Phi_2 n_2$$

Donde

Φ_1 = diámetro de la polea motriz

n_1 = velocidad de giro de polea motriz

Φ_2 = diámetro de la polea conducida

n_2 = velocidad de giro de polea conducida

La ecuación de relación de transmisión

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\Phi_1}{\Phi_2}$$

2.5.7 Tensión correcta de las poleas

Un factor importante en la transmisión de potencia por medio de fajas es la correcta tensión, una tensión inadecuada e insuficiente producirá deslizamiento o patinaje, por consecuencia reducirá la capacidad de transmisión y una exagerada tensión disminuirá la vida útil de las bandas, rodamientos y puede ocasionar desgaste prematuro en el motor eléctrico o reductor de velocidad.

Antes de realizar la correcta tensión es importante que las poleas estén correctamente instaladas y alineadas, el método más común es utilizando un

tensiómetro o herramientas que permitan medir la fuerza de deflexión al presionar una banda en forma V.

A continuación, se detalla el correcto procedimiento de tensión de las bandas:

Paso 1.- utilizando un flexómetro o una regla mida la distancia del tramo libre TL en metros o calcule con la siguiente fórmula:

$$TL \text{ (mts)} = \frac{C^2 - \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}{1000}$$

Dónde:

TL = tramo libre (metros).

C = Distancia entre centros en mm.

D = Diámetro de la polea mayor en mm.

d = Diámetro de la polea menor en mm.

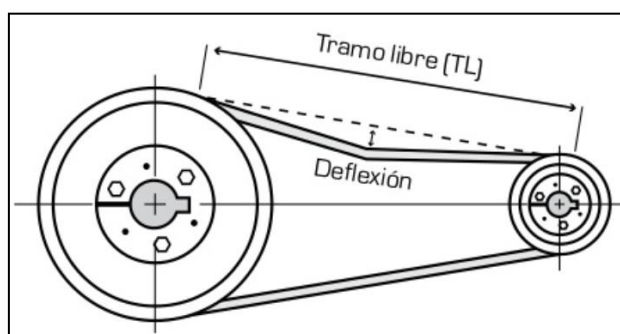


Figura 22. Deflexión 16 mm por cada metro, tomado de https://www.intermec.com.co/pdf/Tension_de_correas.pdf

Paso 2.- Multiplicar el valor medido (TL) en metros por 16, el resultado es la longitud de la deflexión dada en milímetros (mm).

Paso 3.- Ubique la parte media de la distancia TL, aplique fuerza necesaria utilizando un instrumento de medición de tensión para poder deformar la banda obtener un desplazamiento y tomar la medida utilizando un instrumento de medida confiable y determinar la correcta deflexión.

Paso 4.- comparar la fuerza obtenida con la tabla siguiente:

Tabla 10: fuerza de deflexión para medir la tensión de las bandas

Si la fuerza a aplicar es menor a la indicada en la anterior tabla la banda se encuentra des-tensionada, por lo contrario, si la fuerza aplicada es mayor a los rangos indicados en la tabla la transmisión se denomina sobre-tensionada.

Paso 5.- una vez terminada el proceso de tensionado de las bandas según parámetros de tabla, inicie el funcionamiento durante 4 horas continuas, posteriormente

verifique la deflexión si fuera necesario re-tensiones las bandas según indicaciones de tabla.

Paso 6.- después de transcurrido 10 a 15 días de operación revise la tensión en las bandas y si es necesario proceda con el re-tensionado, pero en esta oportunidad utilice la columna de “correas trabajadas”.

Tabla 10. Fuerza de deflexión para medir la tensión de las correas

| Perfil de la correa | Diámetro de la polea pequeña (mm) | Fuerza de deflexión | |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| | | Correas nuevas (kg) | Correas trabajadas (kg) |
| A | 75-90 | 1.5 | 1.0 |
| | 91-120 | 1.9 | 1.3 |
| | 121 o mayores | 1.3 | 1.5 |
| AX | 75-91 | 1.9 | 1.3 |
| | 91-120 | 2.3 | 1.5 |
| | 121 o mayores | 2.7 | 1.8 |
| B | 85-105 | 1.8 | 1.2 |
| | 106-140 | 2.7 | 1.8 |
| | 141 o mayores | 3.2 | 2.4 |
| BX | 85-105 | 2.4 | 1.6 |
| | 106-140 | 3.2 | 2.2 |
| | 141 o mayores | 4.1 | 2.7 |
| C | 175-230 | 5.1 | 3.4 |
| | 231 o mayores | 7.2 | 4.8 |
| CX | 175-230 | 6.2 | 4.1 |
| | 231 o mayores | 8.0 | 5.4 |
| D | 305-400 | 11.2 | 7.5 |
| | 201 o mayores | 15.2 | 10.0 |
| E | 505-610 | 21.8 | 14.5 |
| 3V | 60-90 | 2.7 | 1.8 |
| | 91 o mayores | 3.2 | 2.3 |
| 3VX | 55-90 | 3.2 | 2.3 |
| | 91 o mayores | 3.6 | 2.7 |

| | | | |
|-----|---------------|------|------|
| 5V | 170-275 | 7.3 | 4.6 |
| | 276 o mayores | 9.1 | 5.7 |
| 5VX | 110-275 | 8.2 | 5.5 |
| | 276 o mayores | 10.0 | 6.8 |
| 8V | 315-430 | 16.4 | 10.3 |
| | 431 o mayores | 18.2 | 11.4 |

Nota: mm: milímetros; kg: kilogramos; deflexión: hace referencia al grado en el que un elemento estructural se deforma bajo la aplicación de la fuerza: tomado de https://www.intermec.com.co/pdf/Tension_de_correas.pdf

2.6 RODAMIENTOS DE BOLAS.

Los rodamientos son fabricados para soportar cargas radiales, axiales y mixtos; los rodamientos de bolas tienen cuatro partes principales:

- Pista exterior.
- Pista interior.
- Elementos rodantes.
- Separador.

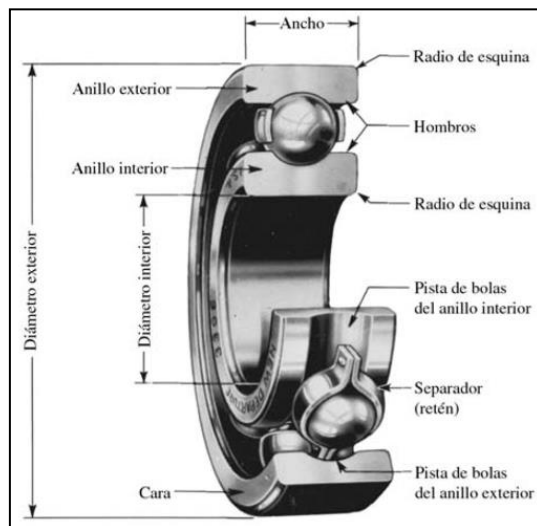


Figura 23. Nomenclatura de rodamiento de bolas, tomado de <https://www.docsity.com/es/apuntes-sobre-el-cojinete-de-rodamientos/447876/>

Estos rodamientos tienen muchas aplicaciones en el mercado debido a que pueden trabajar a altas velocidades a comparación de otros tipos de rodamientos, los fabricantes proporcionan manuales y catálogos donde se describen detalladamente los tipos disponibles, existen muchos tipos de rodamiento que son construidos en función a la carga que van a soportar, es necesario que el rodamiento este instalado en una jaula

o brida la cual protege del medio ambiente y del polvo. En el mercado existen rodamientos de bolas radiales, de contacto angular y axiales de bolas.

2.7 SOLDADURA.

Es un procedimiento de fijación donde se unen dos o más piezas generalmente metálicas en un proceso de fusión, agregando material de aporte que fundiéndose forma una mezcla entre piezas a soldarse para así obtener una pieza fija. Existen varios procesos de soldadura como:

- Soldadura gas, arco y metal. (GMAW Gas Metal Arc Welding).
- Soldadura con gas inerte y electrodo de tungsteno (GTAW Gas Tungsten Arc Welding).
- Soldadura de arco manual (SMAW shielded Metal Arc Welding).
- Corte por arco de plasma (PAC plasma Arc cutting).
- Soldadura por rayo láser (LBW).
- Soldadura por arco sumergido (SAW).

La soldadura de arco manual por arco eléctrico fue descubierta por Oscar Kjellberg, el fundamento es la diferencia de potencial que hay entre el electrodo y la pieza a soldar conectada a la pinza de la masa. La atmósfera es ionizada por la diferencia de potencia, por lo que el aire actúa como conductor, así cerrar el circuito entre el electrodo y la pieza que se está soldando, el calor generado por este efecto funde el material base creando fusión entre el material base y el material de aporte originándose el cordón de soldadura.

- La soldadura de arco eléctrico tiene principios como:
- Arco eléctrico que es la fuente de calor.
- Revestimiento del electrodo.
- Material aportante (electrodo).
- Se puede aplicar a casi todos los metales férricos.
- Es un proceso manual.

El proceso requiere de estabilizar el arco, el calor producido genera la fusión entre la pieza a soldar y el electrodo, el revestimiento del electrodo sirve como protector evitando la contaminación del material aportado, este revestimiento genera escoria que protege del enfriamiento rápido, una vez terminado el proceso de soldadura se quita la escoria como una costra por encima del cordón soldado.

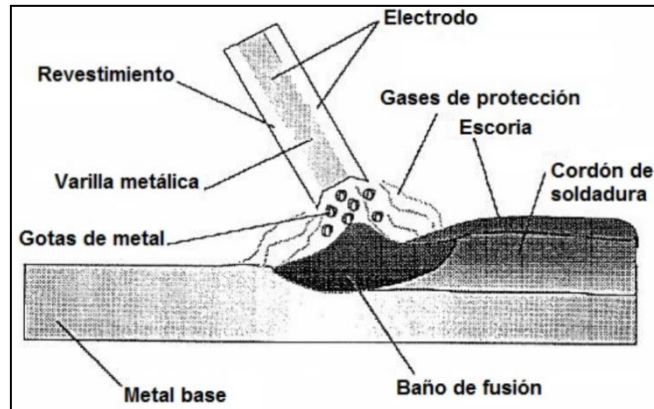


Figura 24. Generalidades de soldadura por arco electrodo revestido tomado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>

Descripción de partes del equipo de soldadura por arco manual:

- Fuente de corriente continua o alterna.
- Pinza porta electrodo.
- Pinza tierra o masa.
- Cables de conexión.
- Electrodo.

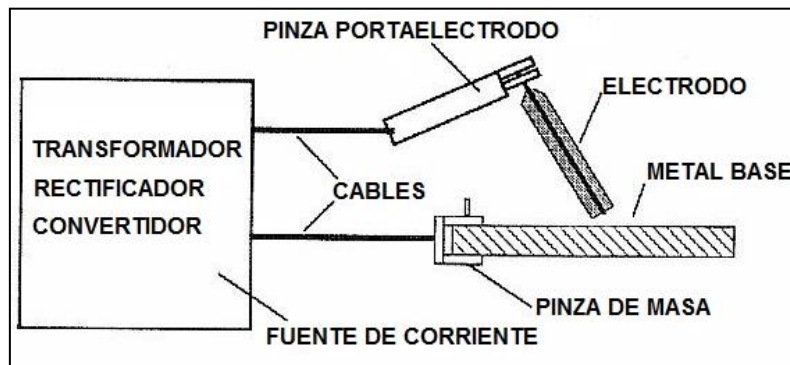


Figura 25. Equipo de soldadura tomado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn45.html>

2.7.1 Revestimiento.

El revestimiento del electrodo cumple varias funciones, como tener mejor cebado del arco, ya que el revestimiento está compuesto por silicatos, carbonatos y óxidos que favorecen el cebado. Estabiliza el arco para poder controlar el proceso de soldadura y genera un buen acabado gracias a que poseen iones positivos.

La formación de escoria permite mantener la temperatura para así mejorar las propiedades mecánicas del cordón; por otro lado, el gas de protección cumple la función de proteger y eliminar el aire alrededor de la fusión y así poder evitar óxido gracias a la

presencia del aire además protege del nitrógeno que puede determinar la dureza o fragilidad al cordón de soldadura.

Este tipo de soldadura, permite realizar el proceso de soldeo en todas las posiciones, con la concentración de fusión, se consigue una mejor eficiencia de soldadura gracias a que se forma una capa que protege el cordón que sirve como aislamiento para reducir la velocidad de enfriamiento.

2.7.2 Electrodo AWS E- 6011 1/8”

Este electrodo posee un revestimiento de tipo celulósico usado con corriente alterna, también se puede usar con corriente directa, con la pinza que porta electrodo en el polo positivo, este tipo de electrodo es muy utilizado en la soldadura sobre cabeza y la soldadura en posición vertical.

2.7.3 Características del electrodo E-6011

- Para soldar aceros al carbono y aceros dulces.
- Se utiliza en el proceso de soldeo en todas las posiciones.
- Se suelda con corriente continua (C.D.) el electrodo en el polo positivo.
- Se suelda con corriente alterna (C.A.).
- Revestimiento de color canela debido a que es celulósico potásico.
- Llamado en el mercado como punto azul.

2.7.4 Usos y aplicaciones.

Es apto para ser usado en todas las aplicaciones en acero al carbono, se utiliza en:

- Material galvanizadas.
- Reparaciones de soldadura en general.
- Tanques o cisternas de agua y combustible.
- Cañerías de galvanizadas y de acero.
- Embarcaciones.
- Estructuras metálicas.

Tabla 11. Composición química y características E-6011

| COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DEPOSITADO | | CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO | |
|--|-------|--|--------------|
| C | 0.11% | Limite de Fluencia | 424 Mpa |
| Mn | 0.41% | Resistencia a tracción | 495 Mpa |
| Si | 0.23% | Agrietamiento en 50 mm | 27% |
| P | 0.10% | Energía absorbida | 34 J a -30 C |
| S | 0.02% | | |

Nota: C: carbono; Mn: manganeso; Si: silicio; P: fosforo; S: azufre Mpa: megapascales; J: joule. Tomado de <http://www.indura.cl/web/cl/2000578/indura-6011-3-32-2-4-mm>

Tabla 12. Amperaje recomendado de soldeo electrodo E- 6011

| AMPERAJES RECOMENDADOS | | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----|------------------------|-----|----------|-----|
| AWS | Diámetro del electrodo | | Longitud del electrodo | | Amperaje | |
| | pulg | mm | pulg | mm | min | max |
| E 6011 | 3/32 | 2.4 | 12 | 300 | 50 | 90 |
| E 6011 | 1/8 | 3.2 | 14 | 350 | 80 | 120 |
| E 6011 | 5/32 | 4 | 14 | 350 | 110 | 160 |
| E 6011 | 3/16 | 4.8 | 14 | 350 | 160 | 220 |
| E 6011 | 1/8 | 3.2 | 14 | 350 | 80 | 120 |
| E 6011 | 5/32 | 4 | 14 | 350 | 110 | 160 |

Nota: AWS: American Welding Society; pulg: pulgadas; mm: milímetros; min: mínimo; max: máximo. Tomado de <http://www.indura.cl/web/cl/2000578/indura-6011-3-32-2-4-mm>

2.8 COMANDO Y CONTROL ELECTRÓNICO

Los sistemas de comando y control son un conjunto de componentes que ejecutan las ordenes desde un centro de operación que normalmente están a cierta distancia, los comandos son ordenes manuales o automáticos para ejecutar una función determinada, pudiendo ser en forma mecánica o por telecontrol; estos sistemas componen varias funciones y le permiten facilitar la operatividad del motor en condiciones normales y en especial en momentos de emergencia, para el mejor funcionamiento el sistema se requiere que sea:

- Funcionamiento manual y/o remoto.
- Actuador de protección de alta corriente.
- Seguridad en el enclavamiento.
- Claridad en el esquema eléctrico.
- Económico.

2.8.1 Tablero de control

La selección y la ubicación del tablero de control es primordial en el diseño e instalación de la máquina, necesitamos de algunos componentes como:

- Componentes de protección.
- Relés principales y auxiliares.
- Reloj medidor de energía.
- Convertidores de energía transformadores.
- Distribución de corriente alterna y corriente continua.
- Caja de sincronización automática.
- Panel de borneras y regleta repartidora de cables.

Los sistemas de comando y control por relés son típicos y utilizados en la industria de control discontinuo marcha y parada, los esquemas eléctricos se componen de aparatos como contactores, bobinas, relés térmicos, swich; en los diagramas establecen un orden de funcionalidad que coincide con la ejecución de mando.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO

3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación usada se llama experimental ya que entendemos por experimentar al proceso planificado en el que se utiliza una variable, esta variable es controlada por el investigador cambiando algunas condiciones para obtener efectos positivos, dicho de otra manera del experimento se produce la objetividad que afecta la relación que existe entre la causa y el efecto, la observación empírica que se basa en las preguntas y respuestas formuladas al inicio del proyecto, el control que garantiza la secuencia correcta de la investigación.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo estará basado en la investigación tecnológica, por tanto, se usa técnicas, instrumentos y procedimientos de forma organizada; cuya finalidad es la descripción y construcción dándoles soluciones tecnológicas, además que se tendrá la oportunidad de aprender algo novedoso bajo las condiciones de necesidad de cambiar sistemáticamente varias condiciones para obtener resultados óptimos. Bello (2006) afirma: “La Investigación Tecnológica tendría como finalidad solucionar problemas o situaciones que el conocimiento científico consolidado como tecnología demanda: por lo tanto, no sería su finalidad descubrir nuevas leyes, y casualidades, sino la de reconstruir procesos en función de descubrimientos ya realizados.”

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se adecuará al nivel de investigación exploratoria, nos acercaremos al problema de la contaminación ambiental generada por la acumulación

de caucho y neumáticos en desuso para poder estudiarlo y finalmente darle solución al problema inicial; el resultado de esta investigación nos dará un panorama general que a través del diseño inicial y los procedimientos establecidos llegaremos a relacionar con los otros tipos de investigación.

3.4 MÉTODOLÓGIA DEL DISEÑO

El presente trabajo está basado en la metodología Pugh (1991), donde se establecen principios de solución, estructura modular y funcional, la selección de un concepto y desarrollarlo en una próxima etapa de evolución del producto a diseñar, cabe mencionar que el método Pugh está basado en métodos multicriterio y es el más usado en el diseño de máquinas; este método se divide en subsistemas, finalizando con la fabricación del diseño ajustados a la realidad. En general la mayoría de los métodos de diseño cuentan con cuatro segmentos:

- Comprensión del problema.
- Concepción de alternativas de solución.
- Ejecución del proyecto.
- Ejecución de los detalles.

Cualquier método utilizado en un proyecto de diseño se detalla fase por fase de manera que cada proceso se desarrolla como se muestra en el siguiente esquema.

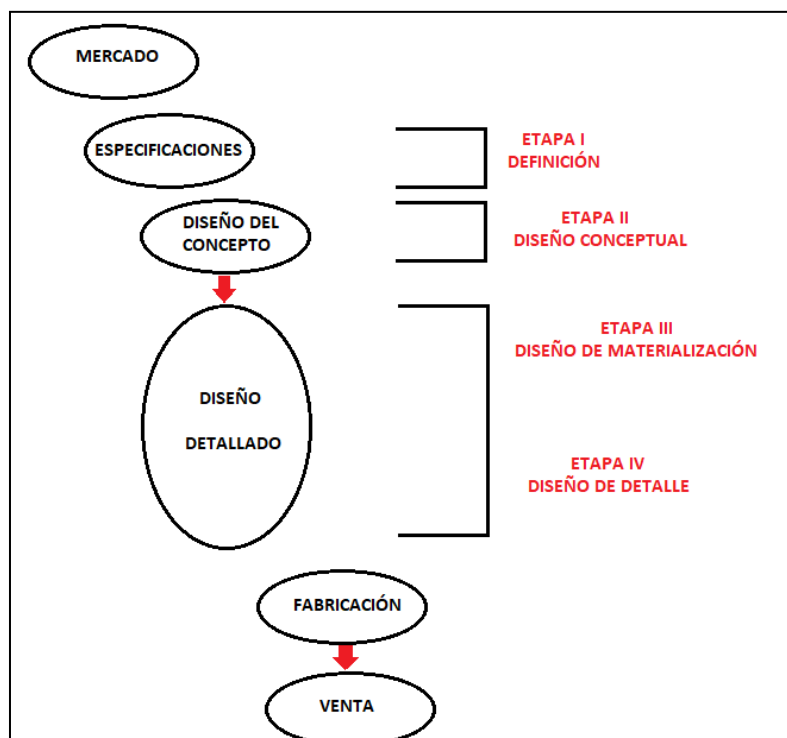


Figura 26. Proceso de método de investigación pugh

3.5 ETAPAS DE METODOLOGÍA DEL DISEÑO

El presente trabajo está diseñado según las normativas y procedimiento basados en Este método Pugh (1991) que propone que todas las fases se realicen secuencialmente y que también tengan relación entre sí, esta metodología tiene sus etapas.

3.5.1 Etapa I: Definición.

Esta fase está dividida en dos sub-etapas planificación y clarificación de la tarea:

Planificación: el objetivo de esta sub - etapa es buscar una necesidad, se inicia creando una idea para posteriormente desarrollarla, el diseño deberá cubrir el requerimiento propuesto por un cliente en esta sub – etapa no es propiamente de la máquina a diseñarse, se da más incidencia al desarrollo de máquinas ya existentes en el mercado utilizando herramientas y métodos de tecnología desarrollados dentro de la empresa (objetivos, fortalezas, estrategias, desarrollo futuro, etc.)

Clarificación de la tarea. – en esta sub - etapa se da inició a partir del título del proyecto de diseño, normalmente se parte en cubrir alguna necesidad u objetivo, se desarrolla acciones para definir a la máquina. Una vez determinada los resultados de esta sub – etapa son especificados en el documento, determinando características que se han de fundamentar y guiar en el proceso de diseño de la máquina para ser usado en las etapas posteriores. En el método de investigación todos los autores prescriben procedimientos que sirven para la generación del documento contemplan muchos aspectos como:

- Funciones y modos de operaciones principales, ocasionales y accidentales del producto, movimientos y fuerzas.
- Entorno de operación, espacio, dimensiones, medioambiente, seguridad
- Servicio de entorno, suministro energía, mantenimiento, infraestructuras.
- Aspectos de fabricación, materiales, montaje, unidades, coste.
- Aspectos comerciales, precio, aspecto, vida útil.
- Aspectos legales, patentes, normas.

3.5.2 Etapa II diseño conceptual.

Esta etapa da inicio con las especificaciones nombradas en la etapa anterior, se dan a lugar alternativas de solución; todas estas se evalúan y se elige el más idóneo, en esta etapa se establece la estructura de funciones de la máquina a diseñar, se

describe propiedades físicas, mecánicas, químicas, etc. que se combinan para llegar una estructura ideal

Esta etapa también alberga la distribución antes del proyecto, el dimensionamiento según el requerimiento del cliente, selección adecuada de materiales y la manufactura de componentes principales de la máquina; en esta etapa te da la oportunidad de modificar, renegociar o adicionar cualquier requerimiento. En esta etapa de generación de la tarea de diseño se utiliza procesos y métodos que se basan en. Blanco (2015) afirma:

“Análisis del problema: normalmente, ya realizado con la elaboración de las especificaciones que puede ampliarse añadiendo un análisis funcional.

Generación de ideas: por investigación, experiencias previas, análisis de la competencia, de patentes, de sistemas naturales, brainstorming, método Delphi, inversión de funciones.

Simulación y evaluación: en ocasiones, es necesario realizar ciertas simulaciones, prototipos preliminares o pruebas experimentales para corroborar ciertos conceptos y validar soluciones o métodos de decisión.” (pág. 27-28)”

3.5.3 Etapa III: Diseño de materialización.

En esta etapa se determina el diseño de (dibujos) planos en forma general de la máquina que nos permite tener un aspecto general de los materiales a usar, formas de la estructura, dimensiones y todo el lineamiento de fabricación. Se considera las tres etapas que se relaciona entre sí, en forma, material y producción:

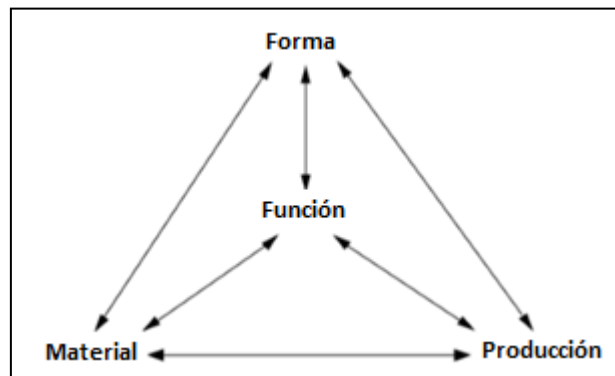


Figura 27. Elementos básicos del diseño de materialización. Tomada de «the mechanical design process» por Ullman D.G. 2010, p. 58.

3.5.4 Etapa IV: diseño de detalle.

Esta etapa define el proceso final, así como las formas de la estructura, dimensiones (medidas), propiedades mecánicas y físicas de los componentes, la

correcta elección de los materiales con que se va a fabricar la máquina, los procedimientos correctos de fabricación, estimación de costos. Como resultado de todas las etapas se finalizará en entregar:

- Documentos del diseño.
- Planos de piezas.
- Plano de piezas de armado con codificaciones estandarizadas.
- Especificaciones técnicas.
- Planos de soldadura.
- Lista de componentes y herramientas a usar para su fabricación.

3.6 POBLACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En nuestro proyecto de diseño solo se podrá determinar cómo población a la máquina trituradora de caucho y neumáticos en desuso según nuestro método de diseño y se detalla en el estado de tecnología capítulo posterior.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1 Técnicas de recolección de datos.

El presente proyecto usará la técnica documental que refiere a la recolección de datos y engloba todos los medios que utilizaremos para poder ejecutar nuestro proyecto, utilizaremos medios de recopilación de evidencias como trabajos de investigación, libros, memorias, manuales de máquinas existentes, datos estadísticos, registros, medios electrónicos, entrevistas, normativas nacionales e internacionales, que posteriormente se clasificarán ordenadamente para filtrar la información validando y revisando que sean fiables.

3.7.2 Instrumentos de recolección de datos.

Entre los instrumentos de recolección de datos tenemos a los libros y datos digitales, folletos y guías, confiabilidad, validez.

Libros y datos digitales. – el internet es una plataforma amplia donde se puede encontrar infinidad de libros digitales, son versiones electrónicas que en muchos casos tienen su equivalente impreso; estos datos están organizados y tienen acceso ilimitado, muchos de los recursos tienen importancia para nuestra investigación sin embargo hay fuentes de información no válidas.

Manuales técnicos y guías. – es todo aquel documento técnico que usaremos para recabar información técnica de materiales que usaremos para la construcción de

la máquina, en nuestro proyecto identificaremos los manuales relacionados al diseño de máquinas donde encontraremos detalles de funciones de componentes que comprenden la máquina trituradora.

Confiabilidad. - es un instrumento que se menciona al grado de exactitud y precisión en la medida, este instrumento lo usaremos en nuestro proyecto; tiene la capacidad de obtener medidas que corresponde al diseño de la máquina trituradora, este instrumento tiene que ser confiable si todos los datos que se buscan son reales y similares a todos los datos comparados con máquinas de mayor producción y mayor costo. La confiabilidad tiene la característica de evaluar calidad y si no es confiable el dato no es válido.

Validez. - el proyecto tiene que ser válido, esto significa que los datos tengan el grado aceptable teniendo un instrumento que pueda medir una determinada variable. Es válido para predecir el rendimiento dentro del análisis del proyecto de diseño independientemente del resto de información que se pueda recabar.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El objetivo del presente trabajo, es el diseño y construcción de una máquina trituradora para obtener granulometría desde 2 milímetros hasta 5 milímetros. Este proceso se realizará utilizando el MÉTODO PUGH

4.1 PLANEAMIENTO.

4.1.1 Lista de exigencias

| LISTA DE EXIGENCIAS | | | | Pagina 1/4 |
|--|-----------------|------------------------------|---|-----------------|
| | | | | edición: Rev. 2 |
| PROYECTO: | | Realizado por: | | Revisado por: |
| Diseño y construcción de una máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría de 2 a 5 mm. para la empresa GRISAND import - export EIRL, Juliaca 2019. | | Gene Roberth Ramos Quispe | | J.A.S.P. |
| | CLIENTE | GRISAND import -export EIRL. | | |
| FECHA | CARACTERISTICAS | DESEO O EXIGENCIA | DESCRIPCIÓN | RESPONSABLE |
| 07/01/2020 | Función | E | Diseñar y construir una maquina trituradora de caucho para obtener granulometría 2 a 5mm | G.R.R.Q. |
| 20/01/2020 | Geometría | D | Las medidas de la máquina deberá estar de acorde con el espacio disponible en la planta de trituración 2 metros cuadrados | G.R.R.Q. |

| LISTA DE EXIGENCIAS | | | | Página 2/4 |
|---------------------|------------|---|---|-----------------|
| | | | | edición: Rev. 2 |
| 18/03/2020 | Fuerza | E | la máquina trituradora deberá estar fabricada con materiales que tengan resistencia a los esfuerzos ejercidos por el proceso de corte | G.R.R.Q. |
| 20/01/2020 | Geometría | E | Las dimensiones de la máquina trituradora no debería de exceder en 2000x1200x1000 mm | G.R.R.Q. |
| 30/01/2020 | Cinemática | E | Los componentes en movimiento deben ser síncronos para evitar el exceso de vibración | G.R.R.Q. |
| 30/01/2020 | Cinemática | E | La velocidad del motor debe estar acorde con la producción esperada 600kg. En una hora. | G.R.R.Q. |
| 17/03/2020 | Fuerzas | E | La maquina deberá ser suficientemente rígida para soportar el peso de los componentes y los esfuerzos de corte del caucho | G.R.R.Q. |
| 20/03/2020 | Energía | E | La maquina deberá tener un motor eléctrico cuya potencia sea de 30 HP adecuada y vencer el esfuerzo de corte. | G.R.R.Q. |
| 22/03/2020 | Materia | E | Las propiedades físicas del granulo de caucho deberá ser puro sin alambre y sin material nylon | G.R.R.Q. |

| LISTA DE EXIGENCIAS | | | | Página 3/4 |
|---------------------|-----------------|-------------------|---|-----------------|
| | | | | edición: Rev. 2 |
| FECHA | CARACTERISTICAS | DESEO O EXIGENCIA | DESCRIPCIÓN | RESPONSABLE |
| 30/03/2020 | Seguridad | E | La máquina trituradora deberá contar con guardas de protección para componentes en movimiento | G.R.R.Q. |
| 30/03/2020 | Seguridad | E | El equipo a construirse deberá tener dispositivos que indiquen peligro de atrapamiento, movimiento constante y electricidad | G.R.R.Q. |
| 01/02/2020 | Fabricación | E | Para su construcción y ensamble deberá utilizarse el menor tiempo posible, los componentes deberán ser de fácil acceso en el mercado local | G.R.R.Q. |
| 05/04/2020 | Control | E | El control de arranque y parada deberá tener una caja con botoneras | G.R.R.Q. |
| 07/04/2020 | Arranque | E | El arranque deberá ser estrella triangulo para reducir el consumo de energía eléctrica | G.R.R.Q. |
| 10/03/2020 | Montaje | E | La máquina deberá ser de fácil montaje y desmontaje para poder tener acceso a los componentes y la posibilidad de mantenimiento de las partes de la maquina trituradora | G.R.R.Q. |

| LISTA DE EXIGENCIAS | | | | Pagina 4/4 |
|---------------------|-----------------|-------------------|---|-----------------|
| | | | | edición: Rev. 2 |
| FECHA | CARACTERISTICAS | DESEO O EXIGENCIA | DESCRIPCIÓN | RESPONSABLE |
| 18/03/2020 | Mantenimiento | D | los componentes y piezas de la máquina deberán tener un diseño adecuado que permita una fabricación rápida y de fácil reemplazo | G.R.R.Q. |
| 18/03/2020 | Mantenimiento | E | El mantenimiento preventivo y correctivo deberá ser con poca frecuencia y de fácil entendimiento para el operador | G.R.R.Q. |
| 16/03/2020 | Uso | D | La máquina deberá de producir el menor ruido posible durante la operación | G.R.R.Q. |
| 17/03/2020 | Uso | E | La máquina podrá ser operada durante todo el año, en cualquier época y en cualquier ciudad del Perú | G.R.R.Q. |
| 15/02/2020 | Costo | E | La máquina y todos sus componentes tendrán un coste accesible para el dueño del planta de trituración. | G.R.R.Q. |
| 28/07/2020 | Materiales | E | Los materiales a seleccionar deben cumplir con el objeto de diseño para máquinas | G.R.R.Q. |
| 30/07/2020 | seguridad | D | el procedimiento de fabricación debe cumplir con normas de seguridad ley Nro 29783 | G.R.R.Q. |

4.2 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA.

En el proceso de trituración de neumáticos, se utilizan máquinas trituradoras cuya función es de trozar y preparar para la segunda etapa de trituración, el trozo requerido depende del cliente, las migas de caucho son vendidos a empresas dedicadas para darle un valor agregado a la materia prima, las trituradoras reciben los neumáticos en desuso y luego convertirlo de trozos de 1" a 2"; normalmente, las plantas de gran dimensión procesan entre 10 y 20 toneladas por hora las plantas trituradoras poseen varias etapas, se mencionan algunos proyectos relacionados al presente trabajo:

4.2.1 Empresa municipal de aseo de Cuenca

Según la tesis Méndez Peñaloza V. y Solano Arias V. cuyo título "Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1 ton/h, para la empresa municipal de aseo de cuenca (EMAC)" mencionan como objetivo principal el diseño de un triturador de neumáticos para una empresa municipal, en el capítulo 3 realizan el diseño de los componentes de la máquina, a continuación, se detalla los componentes que fueron diseñados por los autores.

Como resultado del trabajo de diseño del triturador obtuvieron los siguientes resultados:

- Potencia de motor eléctrico: 2*100HP.
- Revoluciones de eje: 20 rpm.
- Capacidad de trituración: 1T/h
- Control y arranque eléctrico.
- granulometría obtenida: 35x35 milímetros
- Apertura de la tolva del triturador 1155x640 milímetros
- Módulo de corte: Cuchillas rotativas acero
- Separadores: Piezas de acero de transmisión
- Material de fabricación con lamina de acero
- Accionamiento: equipo con 2 moto- reductores de 100 HP de accionamiento directo con inversión de giro a sobrecarga.

Consideraron la vida útil de la máquina trituradora a 20 años, la inversión promedio es de 196 957.375 dólares americanos, realizaron los cálculos de factibilidad del proyecto y llegaron a la conclusión que no es rentable.

Inversión: \$196 957.376 el proyecto resulta no ser rentable por el exceso de costo por la fabricación de la máquina trituradora.

Diseño de eje: consideraciones que tomó en cuenta que el eje tiene que ser macizo con 2 apoyos a los extremos soportados por rodamientos de bolas, este eje alojará 17 cuchillas que cortarán la parte más dura del neumático en desuso. El eje se diseñó utilizando cálculos de momento y resistencia a la fatiga debido a que tiene que soportar esfuerzos dinámicos, se consideró 2 ejes. Para los cálculos utilizaron los resultados del laboratorio de la universidad Politécnica Salesiana Fuerza de corte máxima igual a 152 Kilo newton. Material de diseño de eje ASSAB 705, longitud del eje 1430 mm. con diámetro hexagonal 197 mm.

Diseño de carcasa: el diseño parte de modelos de venta en el mercado adaptado al tamaño de los ejes y los rodamientos, menciona que el material a fabricar de la carcasa tiene que soportar reacciones provocadas por las fuerzas ejercidas en el momento del corte de los neumáticos en desuso, la carcasa tiene que soportar un alineamiento exacto, rígido y resistente.

Diseño de tolva: las dimensiones de la tolva son proporcionales a la carcasa y el tamaño de neumáticos a triturar, no realizan cálculo alguno para el diseño de la carcasa, espesor de plancha de tolva 4 mm. Consideraron las recomendaciones de fabricantes y datos técnicos de diferentes trituradoras.

Diseño de cuchilla: los autores mencionan consideraciones como el material, ángulos de corte, resistencia, balanceo. De las tres alternativas a considerar seleccionaron cuchillas con diámetro exterior 320mm, diámetro interior 197 mm y con espesor de 35mm, resistencia que debe soportar las cuchillas 152 KN. Dato extraído del laboratorio de la universidad Politécnica Salesiana. Material a usar en las cuchillas de corte acero Calmax con una dureza de 58 HRC, las cuchillas están instaladas con 21 grados de desfase para facilitar el ataque y la continuidad del proceso de corte.

Sistema de transmisión: consideraron dos motores eléctricos con una caja reductora debido que se requiere un par constante, silencioso y sin emisiones de humos.

Sistema de accionamiento: Este requerimiento lo hicieron considerando el moto reductor a la que va acoplado al eje, la potencia requerida en cada eje es de 6803 hp, velocidad de salida del moto-reductor 20 rpm, torque requerido 24320 Nm.

Conclusiones y recomendaciones: con el diseño de la máquina se concluyó la disminución del 76% de volumen que ocupan los neumáticos, además indican evitar los gases provocados por la quema de los neumáticos, en el campo económico se tiene una rentabilidad ya que el acero y el nylon como segundo producto son vendidos como materia prima para otros procesos de reciclado.

Datos técnicos de la trituradora:

- Potencia: 2*100 HP.
- Velocidad de giro: 20 rpm.
- Rendimiento del triturador 1T/h.
- Accionamiento Eléctrico.
- Tamaño de granulado: 35*35 mm.
- Apertura Triturador: 1155*640mm.
- Módulo de corte: cuchillas rotativas acero.
- Separadores: Piezas de acero de transmisión.
- Tolva fabricada con chapa de acero.
- Accionamiento: Sistema 2 moto-reductores 100HP de accionamiento directo con inversión de giro a sobrecarga.

Vida útil de 20 años con una inversión de 196 957.376 dólares americanos, VAN: -18 2280 (negativo) indica que el proyecto de diseño de construcción de máquina trituradora de neumáticos no es rentable.

4.2.2 Máquina trituradora de caucho para la obtención de granulometría fina.

El objetivo del trabajo de investigación de Muses Flores Fabricio (2011), es contribuir la minimización de la contaminación ambiental cuya causa son los neumáticos en desuso, este trabajo pretende darle valor agregado a la materia prima que se obtiene a través de la trituración de los neumáticos; el autor realizó una selección de varias alternativas, realizando cálculos con teorías matemáticas en la que determino el material a usar para la fabricación, además obtuvo simulaciones con software y así demostrar el proceso de molienda, elaboró planos de construcción y despiece de los componentes de la máquina, al terminar la construcción de la máquina realizó pruebas de funcionamiento obteniendo granulometría fina en 60% y el 40% polvo triturado dando uso en áreas deportivas etc.

Metodología: el autor utilizó como base la norma ASTM D 4-22. La cual le exige utilizar tamices de 4 a 16 para la obtención de la granulometría deseada, estos tamices comprenden entre los diámetros de 1,18 y 4,75 mm, realizo parámetros de diseño como la fuerza de desgarrado, forma de alimentación, velocidad de giro, cantidad y diseño de las cuchillas.

Utilizó una balanza para determinar la capacidad de procesamiento de la máquina trituradora, cronometro para determinar si cumple con el objetivo necesario para la trituración, tamiz para la clasificación de los gránulos y el polvo de caucho.

Especificaciones de la máquina diseñada. - las características de la máquina son los siguientes:

Acero: AISI 4340, AISI 1045, K100, ASTM A36, relés de 5 voltios y 220 voltios, transistores 2N3904, guarda motor, luz piloto, sensor final de carrera, lcd, fundición de 18 a 19 kg para los engranajes, piñones para cadena #60, cable #14, platinas de 2 y 4mm. pernos M (3,4,6,8,10,14,16).

Resultados: se realizó fases de evaluación con diferentes parámetros, máquina sin carga, máquina con carga y máquina con atascamiento.

Conclusiones:

El autor concluye la utilización de 4 ejes con cuchillas rotativas y una criba para obtener la granulometría deseada.

También llego a la conclusión que los materiales a utilizar son los adecuados, considerando que se encuentra en el mercado local y a un costo accesible.

El sistema de inversión de giro contribuye al des atoramiento de la máquina en plena carga.

Realizando la prueba final consiguió la trituración del material para la granulometría fina según la norma ASTM D-422

4.2.3 Trituradores y separadores de metal ZERMA

Trituradores de marca ZERMA de procedencia alemana, empresa dedicada a la fabricación de trituradoras de diferentes materiales nos presenta el ZTS la cual puede triturar neumáticos con medidas hasta los 800mm y convertirlas en trozos de 150 mm a 300 mm. acondicionados con un solo eje y alimentados por gravedad, fabricado con acero resistente al proceso normal de desgaste, las cuchillas están diseñadas de material resistente al desgaste.

La ventaja de este tipo de triturador es que separa el metal del caucho logrando una recuperación del 99% del contenido de acero gracias a los imanes instalados en los rodillos, este tipo de trituradoras están diseñados para dos etapas del proceso.



Figura 28. Trozos de 2da etapa de triturado (1), migas de caucho 3ra etapa (2), tomada de <http://www.zermamexico.com/>

4.3 FUNCIONES ESTRUCTURALES

4.3.1 Caja Negra

La caja negra trata del funcionamiento de un determinado sistema señala la entrada y la salida, no se precisa los detalles internos de la máquina en cambio se interesa la forma de interrelacionar con el medio que los rodea.

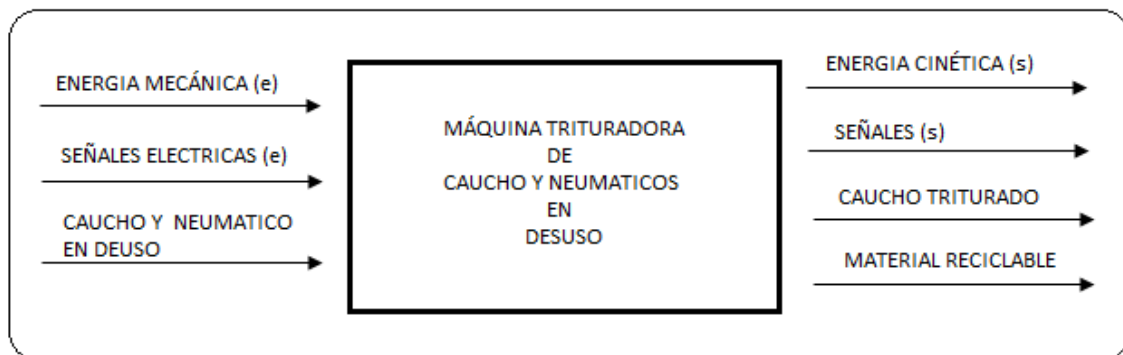


Figura 29. Diagrama de caja negra

Descripción de proceso:

ENTRADAS

- Energía mecánica: se presenta en razón al movimiento respecto a otro cuerpo capaz de producir trabajo mecánico.
- Señales eléctricas: es un tipo de señal que dan inicio el arranque de algún motor y artefactos electrónicos tienen valores 0 y 1
- Caucho y neumático en desuso: materia prima mezclado con hilos de nylon e hilos de acero.

SALIDAS

- Energía: energía liberada como calor y vibraciones.
- Señales: luces y señales de buen funcionamiento de la máquina.

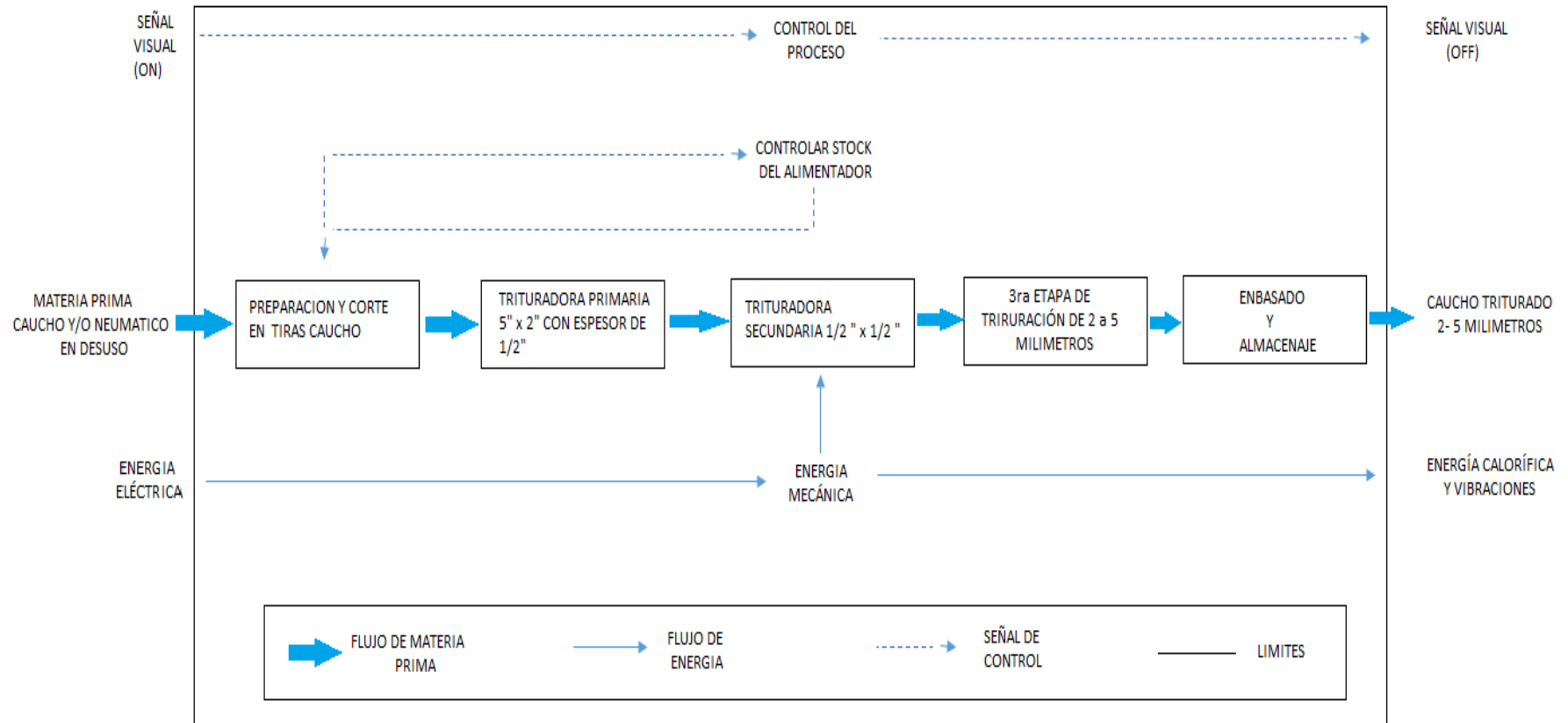
- Caucho triturado: caucho con granulometría adecuada.
- Material reciclable: nylon e hilos de acero

4.3.2 Procesos de trituración









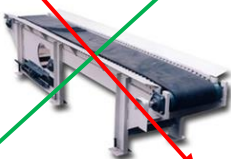

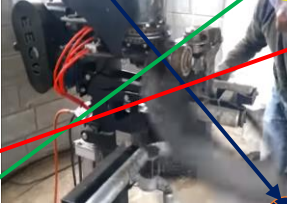






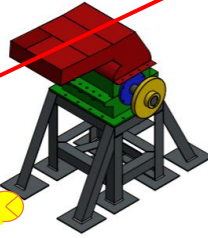



Se identifican etapas de proceso de trituración que realiza la máquina trituradora de caucho y neumáticos, se determina las principales funciones y secuencia en cada etapa de operación.

- Abastecimiento: colocar el caucho y/o en neumático en desuso en la tolva de alimentación
- Transportar: trasladar la materia prima para alimentar en la tolva de la tercera etapa de trituración.
- Descarga: caucho triturado con granulometría adecuada para la venta en el mercado.
- Almacenamiento: gránulos de caucho almacenados en sacos de 30kg.

4.3.3 Estructura de proceso de funcionamiento



4.4 DESARROLLO DE LA MATRIZ MORFOLÓGICA

| MATRIZ MORFOLÓGICA | | | |
|--|---|---|--|
| Diseño de una máquina trituradora de neumáticos | | | |
| Funciones | PORTADORES DE FUNCIONES (Alternativas de efectos y/o principios de solución) | | |
| | A1 | A2 | A3 |
| Recepción de caucho reciclable y/o neumáticos |  <p>Separación manual</p> |  <p>Separación con máquina</p> |  <p>Traslado y selección con dumper</p> |
| Proceso de limpieza de caucho y neumáticos en desuso |  <p>Limpieza</p> |  <p>Limpieza con hidrolavadora</p> |  <p>Limpieza automática</p> |
| Traslado Neumáticos |  <p>Alimentación manual</p> |  <p>Alimentación con máquina faja transportadora</p> |  <p>Faja horizontal</p> |
| Trituración primaria de 5 pulgadas por 2 pulgadas de ancho |  <p>1 extractor de alambre</p> |  <p>Corte con máquina</p> |  <p>Trituradora corte eje 3 cuchillas</p> |
| Traslado de trituradora primaria a trituradora secundaria |  <p>Faja horizontal</p> |  <p>faja con pendiente positiva</p> |  <p>faja con pendiente positiva</p> |
| Segunda etapa de trituración |  <p>Trituradora de 2 ejes</p> |  <p>Trituradora de 3 ejes</p> |  <p>Trituradora de 3 ejes</p> |
| Envasado |  <p>Envasado manual</p> |  <p>Envasado mixto máquina/manual</p> |  <p>Envasado automático</p> |

-  Alternativa de solución 1
-  Alternativa de solución 2
-  Alternativa de solución 3
-  Alternativa de solución 4

En el cuadro anterior se realizó una lista de varias alternativas que son analizadas para poder resolver con ideas y a corto plazo, descompondremos los conceptos de cada idea dándoles características que generen una solución definitiva, posteriormente se realizará un análisis técnico económico, siguiendo la metodología PUGH.

4.5 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

4.5.1 Alternativa de solución 1

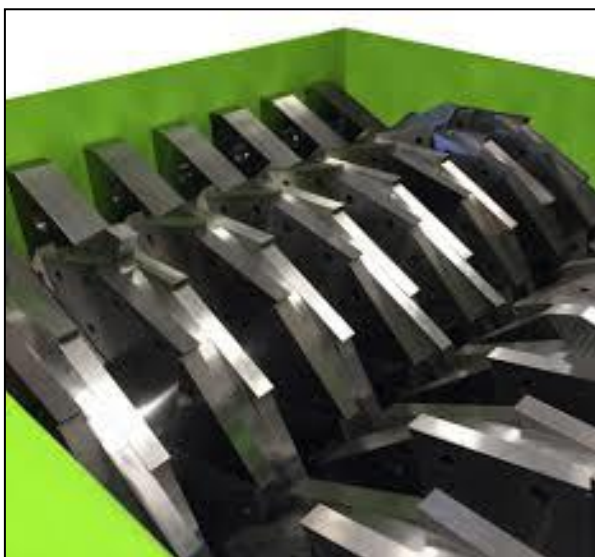


Figura 30. Trituradora de 2 ejes con 16 cuchilla, tomada de <http://spanish.industrialwasteshredder.com>

Esta alternativa consta de 2 ejes instalados paralelamente, cada eje con 16 cuchillas de varios filos circundantes, la alimentación hacia la tolva es con una faja transportadora horizontal, la trituración se realiza a muy bajas revoluciones y alto torque con una capacidad de 200 kg. por hora de funcionamiento, la descarga del material pasa por una zaranda de selección de gránulos de 2 a 5 milímetros, aquellos granos que no pasan por el tamiz son vueltos a cargar a la tolva para poder ser re triturados, posteriormente se utiliza un sistema mixto de envasado esto quiere decir que la máquina será operada de forma automática con apoyo de un operador.

4.5.2 Alternativa de solución 2

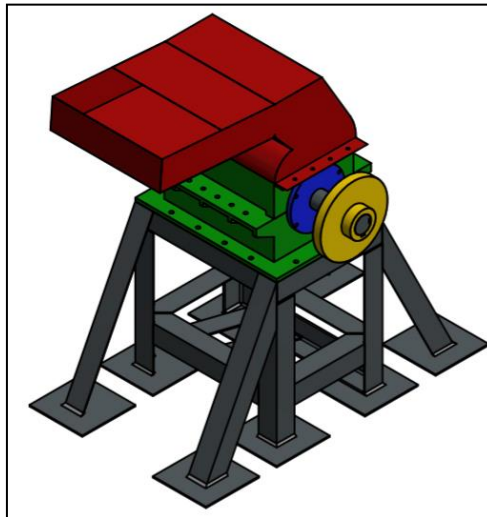


Figura 31. Máquina trituradora propuesta por diseño

La alternativa 2 consta de un triturador de un solo eje con 5 cuchillas soldados y movidos por un sistema de fajas e impulsado con un motor de 30 hp, este triturador está alimentado hacia la tolva de forma manual para poder controlar la sobresaturación y parada inmediata de la maquina, la selección de la granulometría es a través de una zaranda instalada dentro de la caja de cuchillas y la posterior descarga de gránulos de 2 a 5 milímetros luego es pesado y envasado en sacos de 30 kg.

4.5.3 Alternativa de solución 3



Figura 32. Máquina trituradora de 3 ejes horizontales tomada de <https://satrindtech.com/es/triturador-industrial-3-ejes-serie-3r-125/>

La máquina trituradora esta construida con tres ejes horizontales, en cada eje van insertados 7 cuchillas el eje intermedio es fijo y las dos que acoplan a la porta cuchillas están propulsados con una caja reductora la cual hace que aumente la fuerza

de corte, esta trituradora esta construida con una capacidad de producción de 1500 kg. la hora, los gránulos están seleccionados por una zaranda que esta ubicada en el tubo de descarga del equipo y las migas que no pasan por la zaranda son vueltos a la tolva en forma manual para poder ser triturados en una segunda etapa, la alimentación es a través de una faja transportadora en forma horizontal y la descarga y envasado es de forma semiautomática ya que esta apoyado por un operario.

4.5.4 Alternativa de solución 4

Esta alternativa nos presenta una máquina trituradora de 3 ejes similar a la alternativa de solución con variante de alimentación con faja transportadora positiva y descarga envasado en forma automática.

4.6 EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

4.6.1 Alternativas de solución.

En los siguientes cuadros se realizará el análisis técnico económico de las alternativas de solución y así determinar la mas adecuada para el proceso de diseño. Se evalúa en función de diferentes parámetros:

Función: procedimiento de la máquina que tritura el material de caucho de trozos aproximados de 10 a 15 milímetros a un menor tamaño aproximado 2 a 5 milímetros.

Geometría: metro mecánico que verifica las dimensiones reales de la máquina, para ello se considera el lugar donde se va a instalar la máquina trituradora se considera el ancho largo y alto.

Cinemática: estudio del movimiento de los componentes de la máquina fuerzas ejercidas, desplazamiento, rotación, velocidad.

Fuerza: facilidad de análisis de las fuerzas ejercidas sobre el material a cortar, sirve para determinar el tipo de material de cuchillas de corte.

Energía: la máquina estará alimentada por energía eléctrica; se caracteriza por poseer cables eléctricos, motor eléctrico, tablero de control, etc.

Materia: compuesto que no puede ser utilizado directamente porque necesitan ser procesados, utilizados en diferentes procesos en el caso del estudio el caucho en desuso.

Tecnología: conocimientos debidamente ordenados que facilita el diseño y creación de bienes y servicios que facilitan necesidades esenciales del ser humano.

Seguridad: en el proceso de construcción se utiliza diferentes medios y sistemas organizados para eliminar, mitigar y controlar riesgos y peligros que afectan a las personas, instalaciones o medioambiente.

Ergonomía: características, necesidades, capacidades del personal que maniobra la operación de la máquina, se trata de las tareas, herramientas y espacio en el entorno de ubicación de la máquina.

Fabricación: proceso de tareas para la conversión de materia prima en un producto terminado utilizando varios métodos como soldadura, maquinado y trabajo manual.

Montaje: acto de armar, ajustar piezas y componentes de un mecanismo, consiste instalar diversas partes de la máquina trituradora. Siguiendo instructivos y procedimientos adecuados.

Transporte: procedimiento de traslado de componentes que requieren carga, descarga y traslado utilizando distintos tipos como camiones grúa, plataformas y camionetas con tolva.

Uso: comprobar si cumple con lo requerimientos de funcionamiento y establecidos por el cliente, la máquina tiene que ser homologado, y adjuntar el manual de instrucciones de armado, seguridad, mantenibilidad, planos de montaje y desmontaje, puesta de servicio etc.

Mantenimiento: actividad de reparar algunas posibles fallas de la máquina involucra el procedimiento de operación correcta, la actividad de reparación se realiza debido al desgaste, ruptura y falla de componentes que impiden el correcto funcionamiento que desencadena en una parada de producción.

Los criterios de evaluación técnico económico se seleccionaron en función al aprendizaje, la experiencia y requerimientos mínimos de la empresa, asignándoles puntuaciones que determinan una posterior evaluación para las diferentes propuestas entendiendo la decisión correcta para demostrar el proceso adecuado.

Tabla 13. Evaluación técnica

| Evaluación | AS-1 | AS-2 | AS-3 | AS-4 | AS- ideal |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 1.- Función | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 2.- Geometría | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 |
| 3.- Cinemática | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 4.- Fuerzas | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 5.- Energía | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 6.- Materia | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| 7.- Tecnología | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 8.- Seguridad | 2 | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 9.- Ergonomía | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| 10.- Fabricación | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 11.- Montaje | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 12.- Transporte | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 13.- Uso | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| 14.- Mantenimiento | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| Puntaje Total | 38 | 41 | 29 | 35 | 56 |

Tabla 14. Ponderaciones evaluación técnica

| | |
|---|--------------|
| 0 | No satisface |
| 1 | Aceptable |
| 2 | Suficiente |
| 3 | Bien |
| 4 | Muy bien |

Tabla 15. Evaluación económica

| Características | AS-1 | AS-2 | AS-3 | AS-4 | AS-Ideal |
|----------------------------|------|------|------|------|----------|
| 1.- Costo de Materiales | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 2.- Costo de Fabricación | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 |
| 3.- Costo de Montaje | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| 4.- Productividad | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 |
| 5.- Número de Piezas | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| 6.- Costo de Mantenimiento | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| 7.- Costo de Transporte | 1 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| Puntaje Total | 11 | 21 | 15 | 18 | 28 |

Tabla 16. Ponderaciones evaluación económica

| | |
|---|--------------|
| 0 | No satisface |
| 1 | Aceptable |
| 2 | Suficiente |
| 3 | Bien |
| 4 | Muy bien |

Tabla 17. Conclusiones evaluación técnica - económica

| ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | Eje X | Eje Y |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Evaluación Técnica | Evaluación Económica |
| Alternativa de Solución 1 | $X_1 = \frac{38}{56}=0.68$ | $X_1 = \frac{11}{28}=0.39$ |
| Alternativa de Solución 2 | $X_1 = \frac{41}{56}=0.73$ | $X_1 = \frac{21}{28}=0.75$ |
| Alternativa de Solución 3 | $X_1 = \frac{29}{56}=0.52$ | $X_1 = \frac{15}{28}=0.54$ |
| Alternativa de Solución 4 | $X_1 = \frac{35}{56}=0.62$ | $X_1 = \frac{18}{28}=0.64$ |

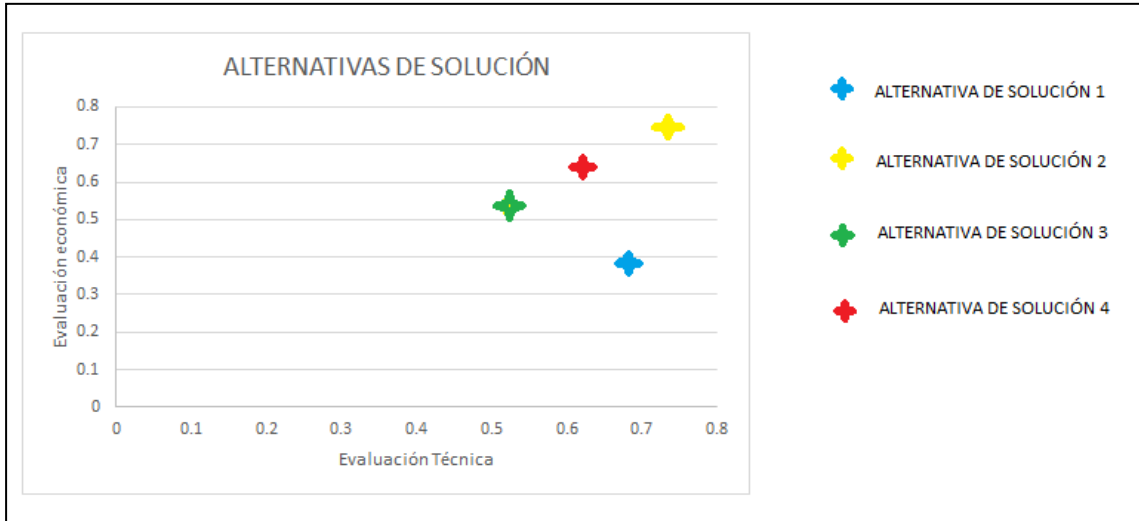


Figura 33. Diagrama evaluación económica y técnica

Con los datos obtenidos se realiza el grafico para determinar la mejor alternativa de diseño, considerando todos los criterios, realizando comparaciones de calidad y costo apropiado; en conclusión, la mejor alternativa de solución es la 2 y corresponde a la máquina trituradora de 1 solo eje con 5 cuchillas soldadas.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA TRITURADORA

5.1 CONSIDERACIONES DE LA MÁQUINA.

El diseño correcto de cada uno de los componentes de la máquina, deberá de cumplir algunas características de viabilidad, resistencia, confiabilidad, dimensionamiento para que tenga un funcionamiento y mantenimiento dentro de los estándares de fabricación de las máquinas.

Al ejecutar el diseño de la máquina comenzaremos por diferenciar los componentes a fabricar y componentes que pueden ser adquiridos en el mercado nacional que permitan el buen funcionamiento de las partes de la máquina; debemos iniciar por realizar un esquema donde se diferencie los factores significativos sobre el funcionamiento de cada componente.

Tabla 18. Requerimiento de máquina trituradora

| COMPONENTES A FABRICAR | COMPONENTES COMPRADOS Y ESTANDARIZADOS |
|-----------------------------------|---|
| Base y soporte de motor eléctrico | Motor eléctrico |
| Caja principal | Fajas de transmisión |
| Zaranda | Polea de motor |
| Tolva de alimentación | Polea de eje porta cuchilla |
| Eje porta cuchillas | Rodamientos de bolas |
| Caja de descarga | Pernos de sujeción |
| Caja protector de poleas | Arandelas |
| Caja protector de contrapeso | Componentes eléctricos |

Para los cálculos de cada componente se deben considerar lo siguiente:

- Geometría del componente.
- Fuerzas concentradas en algunos componentes.
- Propiedades mecánicas de los materiales.

Para realizar un correcto diseño iniciaremos con la determinación de fuerzas en las estructuras y tensiones para un sistema mecánico, determinación de diagramas cortantes y momentos flectores, determinación de resistencia de materiales, los cálculos no solamente son determinados por fórmulas, se deberá considerar que un sistema real difiere de un sistema matemático. Al momento de la fabricación se realizará correcciones para acercarse a los cálculos matemáticos y así obtener una solución óptima, al realizar los diseños se debe considerar lo siguiente:

- Las cargas que soportan los rodamientos.
- Cargas dinámicas
- Componentes expuestos a la fricción y desgaste prematuro.

5.2 DISEÑO DEL EJE PORTA CUCHILLAS.

La parte dura de triturar el neumático y el caucho es el talón, en algunos neumáticos contienen alambres de acero y según esas consideraciones de debe de realizar el correcto diseño.

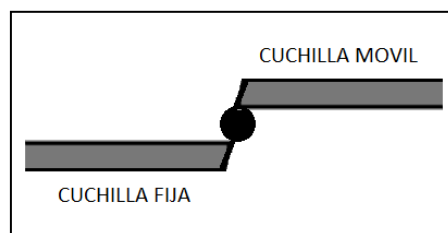


Figura 34. Configuración fija y móvil de cuchilla

El proceso de corte se realiza a través de 2 cuchillas fijas montadas en la caja principal y 5 cuchillas móviles que están instaladas en el eje porta cuchillas.

5.2.1 Requerimiento del eje porta cuchillas

- El eje porta cuchilla tiene que ser macizo.
- Material soldable y que se pueda maquinar.
- Diámetro adecuado para soportar los esfuerzos de impacto.
- Diámetro estándar para instalar rodamientos.

El diseño del eje se debe iniciar analizando el cálculo de momentos, análisis de resistencia a la fatiga, esfuerzos dinámicos; para el diseño del eje porta cuchillas se

realizará un pre-diseño partiendo de los conocimientos adquiridos y experiencia de haber diseñado con anterioridad ejes porta cuchillas.

La empresa GRISAND E.R.L. tiene como principal requerimiento la trituración en la tercera etapa a aproximadamente de 2 a 5 milímetros y con una capacidad de 1 tonelada por hora.

Tabla 19. Requerimientos de según GRISAND

| Capacidad requerida | 1 Tonelada por hora |
|-----------------------------|----------------------------|
| Área útil de alimentación | 0.48 m ² |
| Numero de Eje macizo | 1 |
| Rpm | 1765 |
| Potencia instalada | 30 HP |
| Número de cuchillas móviles | 5 |
| Número de cuchillas fijas | 2 |
| Espesor de cuchillas | 3/4" |

Nota: m²: metros cuadrados; Rpm: revoluciones por minuto; HP: caballo de fuerza horsepower; ": pulgadas.

Para el diseño del eje porta cuchillas nos referimos a la compañía Ecuatoriana del Caucho que nos indica algunas consideraciones del alambre del neumático.

Tabla 20. Característica de acero en el neumático

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| F_{max} = Fuerza máxima de rotura | 2455.17 N |
| F_{RF} = Elongación a la rotura | 9.5% |
| do =elongación a la fuerza máxima | 10.4% |

Nota: los neumáticos poseen características que pueden ser modificados para generar otros materiales. Tomado de <https://es.panjiva.com/Compania-Ecuatoriana-Del-Caucho/1055147>

El diseño del eje porta cuchillas, considera datos obtenidos del laboratorio de la universidad Politécnica Salesiana, al alambre de acero del neumático (64 alambres de 1.6 milímetros de diámetro)

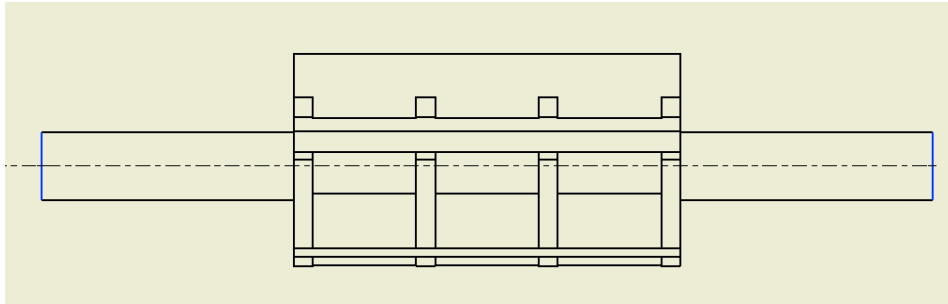


Figura 35. Diagrama eje porta cuchillas

El componente porta cuchillas está constituido por el cuerpo porta cuchillas y el eje, todo el cuerpo pesa 106 kg, todo el componente esta soldado y es un solo cuerpo.

Por recomendación de fabricantes de máquinas, el eje porta cuchillas serán de acero ASSAB 705 (AISI 4340), es un acero al molibdeno mas cromo y níquel; este material se caracteriza por tener un contenido de carbón de 0.35% - 0.40%, este contenido permite al acero endurecer al tratamiento térmico, es altamente resistente a la tracción y a la torsión.

Es mecánicamente resistente, se considera como la más existente en el mercado que no necesita tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejorar las propiedades pueden ser templados en aceite.

Tabla 21. Composición química del acero 705 (AISI 4340)

| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
|------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 705 | 0.36 | 0.25 | 0.70 | -- | -- | 1.40 | 1.40 | 0.20 |
| AISI | 0.35- | 0.20- | 0.60- | | | 1.65- | 0.70- | 0.20- |
| 4340 | 0.40 | 0.35 | 0.80 | 0.04 | -- | 2.00 | 0.90 | 0.30 |

Nota: AISI: instituto americano del hierro y el acero; C: carbono; Si: silicio; Mn: magnesio; P: fosforo; S: azufre; Ni: níquel; Cr: cromo; Mo: molibdeno. Tomado de <http://www.dipacmanta.com/aisi-4340>

Tabla 22. Equivalencias de normas internacionales

| NORMAS INTERNACIONALES | |
|-------------------------------|-----------|
| AISI/SAE | 4340 |
| DIN | 34CrNiMo6 |
| W.Nr | 1.582 |
| JIS | SNCM1 |
| AFNOR | 35NCD6 |

Nota: AISI: instituto americano del hierro y el acero; SAE: sociedad de ingenieros automotores; DIN: instituto alemán para la normalización; W.Nr: número estándar; JIS: estándares industriales japoneses; AFNOR: asociación francesa de normalización; Cr: cromo; Ni: Níquel; Mo: molibdeno.

5.2.2 Propiedades mecánicas. - (de acuerdo a DIN 17200) tolerancias (DIN 1013)

Tabla 23. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| Resistencia a la tracción | 90-110kg/mm ² |
| Esfuerzo de cedencia | 70kg/mm ² |
| Resistencia al impacto, KU | aprox. 20J |
| Elongación, A5 | min. 12% |
| Reducción de área, Z | min. 45% |
| Dureza | 270-330HB |

Nota: AISI: instituto americano del hierro y el acero; kg/mm²: kilogramos por milímetro cuadrado; J: joule; min: mínimo; HB: dureza brinell; tomado de <http://www.dipacmanta.com/aisi-4340>

5.2.3 Aplicaciones:

Usos en la industria automotriz:

- Cardanes.
- Ejes.
- Cigüeñales.
- Ejes de levas.
- Tornillos de alta resistencia.

Usos para maquinaria pesada:

- Arboles para trituradoras.
- Ejes de transmisión de gran dimensión.
- Engranajes.
- Barras de torsión.
- Portaherramientas etc.

5.3 ESTRUCTURA SOPORTE DE CUCHILLAS

Para la selección de la plancha de acero debe considerarse la recomendación por fabricantes de máquinas:

Norma técnica del acero ASTM A36 (comercial A1011 tipo B), acero de aleación al carbono es de uso general. Este acero tiene usos en la construcción de plataformas, embarcaciones, equipamiento pesado, carrocerías, etc.

Tabla 24. Propiedades mecánicas del acero A36

| | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Límite de fluencia | 36 000 lb/pulg ² |
| Resistencia a la tracción | 58 000 - 80 000 lb/pulg ² |
| Alargamiento | 20% |

Nota: lb/pulg²: libras por pulgada cuadrada tomado de <http://www.areamecanica.azc.uam.mx>

La norma ASTM establece valores mínimos para la composición química del acero para los efectos de soldabilidad, tenacidad y otros.

Tabla 25. Composición química acero A36

| | |
|----------------|------------------|
| Carbono (C) | 0.26% máximo |
| Silicio (Si) | 0.40% máximo |
| Fósforo (P) | 0.040% máximo |
| Azufre (S) | 0.050% máximo |
| Manganeso (Mn) | no hay requisito |

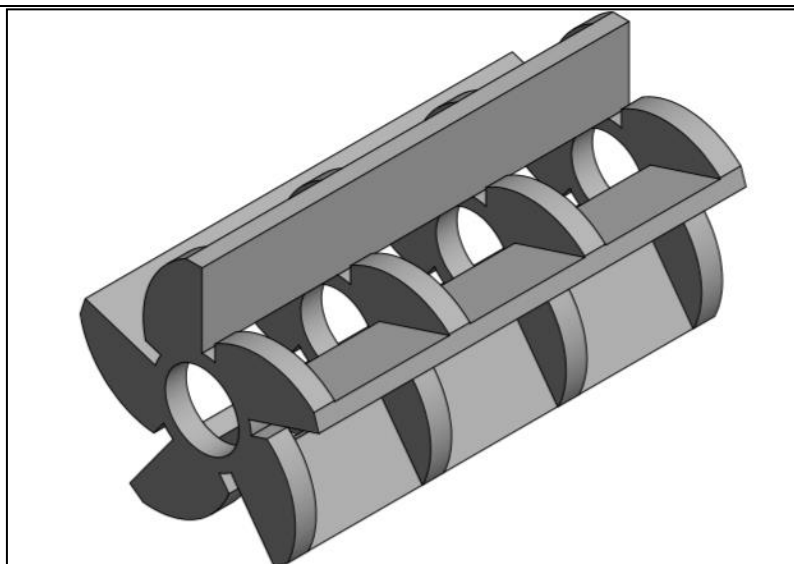


Figura 36. Diseño 3D porta cuchillas

El acero estructural A36 posee una buena soldabilidad, cuando ha de ser soldado tiene que utilizar un procedimiento adecuado al grado y el uso que va a ser destinado, Lincoln Electric recomienda realizar el proceso de soldadura con electrodos tipo 6010,6011,6013,7018, 7024, 308, 309, 312, 316.

5.4 CUCHILLAS

Con respecto a las cuchillas, nuestro requerimiento principal es que tengan cierta dureza para que realice el corte de caucho y alambres del neumático, para determinar el tipo de acero a usar se recurre a las recomendaciones de fabricantes de máquinas y la disponibilidad del tipo de acero en el mercado.

5.4.1 ACERO T-21

Este tipo de acero tiene la particularidad de tener un mayor rendimiento al desgaste y resistencia al impacto comparado con las planchas convencionales, es un acero aleado con precipitaciones de carburo de titanio la cual le da un mayor rendimiento al desgaste, tiene una dureza aproximada de 400 - 500 brinell; estos aceros pueden ser rolados, mecanizados, perforados y soldados.

Los usos que se le da a estos aceros son variados tales como en elementos de desgaste de movimiento de tierra, tolvas de los camiones de acarreo de mineral, revestimiento de cucharones en las excavadoras y cargadores frontales, elementos de máquinas trituradoras, chancadoras de mineral y todo tipo de soldadura que necesite alta resistencia y buena tenacidad.

Tabla 26. Propiedades mecánicas del acero T-21

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Límite de fluencia | 102kg/mm ² |
| Resistencia a la tracción | 132kg/mm ² |
| Alargamiento | 12% |

Nota: kg/mm²: kilogramos por milímetro cuadrado

Tabla 27. Composición química del acero T-21

| | |
|--------------|---------------|
| Carbono (C) | 0.20% máximo |
| Silicio (Si) | 0.50% máximo |
| Fósforo (P) | 0.025% máximo |
| Azufre (S) | 0.01% máximo |

| | |
|----------------|---------------|
| Manganeso (Mn) | 1.8% máximo |
| Molibdeno (Mo) | 0.5% máximo |
| Níquel (Ni) | 0.8% máximo |
| Cromo (Cr) | 1.00% máximo |
| Vanadio (V) | 0.08% máximo |
| Niobio (Nb) | 0.05% máximo |
| Boro (B) | 0.005% máximo |

Nota: el acero es una aleación de hierro con adición de diferentes componentes químicos tomado de <https://www.facmetalaceros.com/antiabrasivas.php>

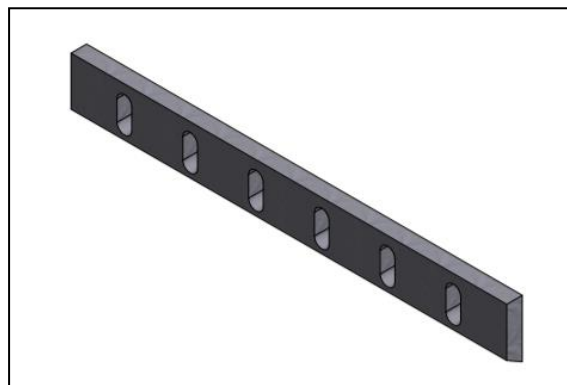


Figura 37. Diseño 3D de cuchillas de corte

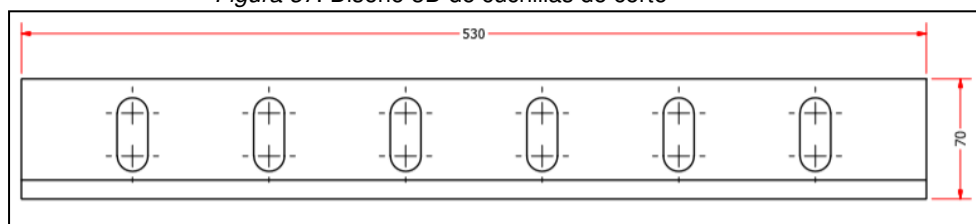


Figura 38. Dimensión de cuchillas de corte

$$Densidad = 7800Kg/m^3$$

$$Masa \text{ por una cuchilla} = 4.441kg$$

$$Cantidad \text{ de cuchillas} = 5 \text{ unidades}$$

$$Masa \text{ total de las cuchillas} = 4.441Kg \times 5 \text{ unidades} = 22.205kg.$$

$$Peso \text{ total de las cuchillas} = (22.205kg)(9.81m/s^2)$$

$$W = 271.83N$$

5.5 CONFIGURACIÓN DEL EJE PORTA CUCHILLAS

Evaluar todos los esfuerzos potencialmente críticos y realizar un análisis de fuerzas de cuerpo libre; posteriormente obtener el diagrama de momento cortante, considerando si en el eje va soldado el cuerpo de soporte de cuchillas, adicionalmente considerar las 5 cuchillas y pernos insertados.

- Las cuchillas van a realizar cortes en diferentes posiciones y a diferentes tamaños.
- La porta cuchillas va a soportar 5 cuchillas rotativas que realizarán cortes en forma de tijera con las 2 cuchillas fijas.

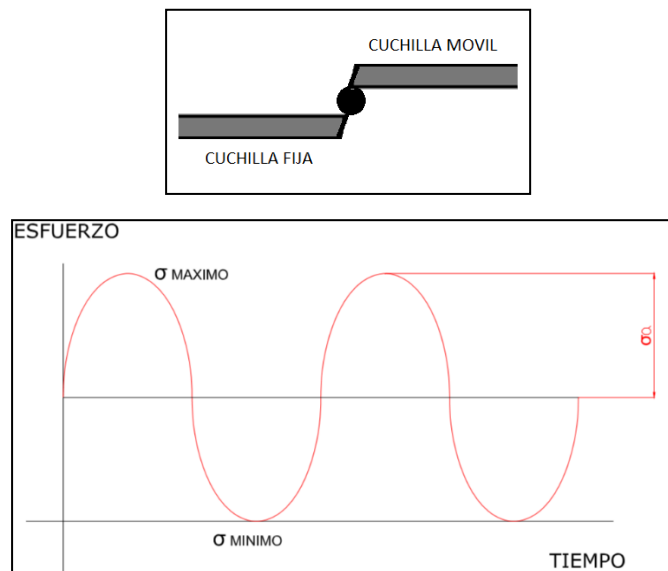


Figura 39. Esfuerzo ejercido alternante en eje porta cuchillas

5.5.1 Condiciones de diseño de eje giratorio

Para el diseño del eje porta cuchillas se debe tomar las siguientes consideraciones:

- El eje debe transmitir potencia (par torsor) o movimiento.
- Debe tener una sección circular normalizada para el acoplamiento del rodamiento.
- Usar en lo posible solo 2 rodamientos.
- Debe poseer diseño de viga en fatiga.
- Las poleas y rodamientos deben montarse por fuera facilitando la instalación de la banda de transmisión.
- Considerar puntos de lubricación.
- Fácil ensamble y desensamble.
- Un modelado que sea simplificado.

5.6 DISEÑO DE EJE PRINCIPAL

Para un diseño correcto de eje se debe considerar los elementos que va a soportar el eje, tales como las cuchillas, polea, pernos de sujeción, contrapeso, como se observa en la figura.

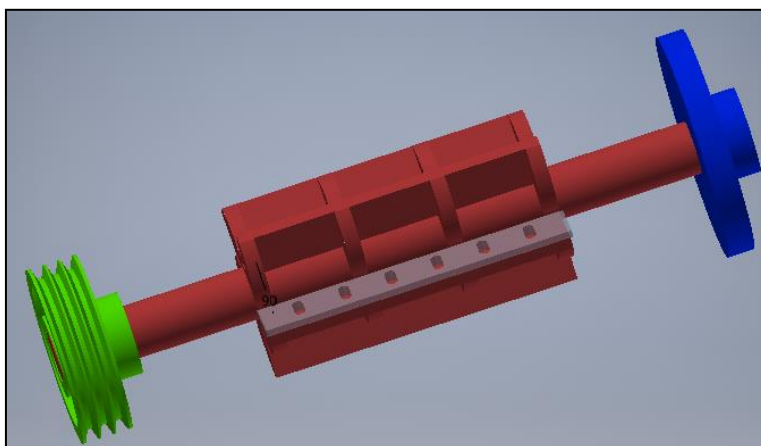


Figura 40. Boceto de componentes que soporta el eje principal

El material a usarse es el acero AISI 4340, de baja aleación al cromo, níquel, molibdeno. Que tiene alta resistencia a la tracción y torsión, el maquinado es regular y fácilmente soldable además es recomendado por fabricantes de ejes y máquinas, en la siguiente tabla indican los datos técnicos:

Tabla 28. Propiedades químicas del acero AISI 4340

| Carbono (c) % | Silicio (Si) % | Manganeso (Mn) | Fósforo (P) | Azufre (S) |
|---------------|----------------|----------------|-------------|------------|
| 0.34 | 0.1-0.35 | 0.60-0.80 | 0.04-0.03 | 0.002-0.03 |

Nota: AISI: instituto americano del hierro y el acero. Tomado de <https://www.facmetalaceros.com/antiabrasivas.php>

Tabla 29. Propiedades mecánicas del acero AISI 4340

| Díámetro (mm) | Resistencia Mecánica (N/mm ²) | Punto de Fluencia (N/mm ²) | Elongación % Min | Dureza Rockwell B |
|------------------|---|---|---------------------|----------------------|
| 16 o menos | 1200 -1400 | 1000 | 9 | 240 - 380 |
| 16 – 40 | 1100-1300 | 900 | 10 | 240 - 380 |
| 41 – 100 | 1000-1200 | 800 | 11 | 240 - 380 |

Nota: AISI: instituto americano del hierro y el acero; mm: milímetro; N/mm²: newton por milímetro cuadrado; Min: mínimo tomado de <https://www.facmetalaceros.com/antiabrasivas.php>

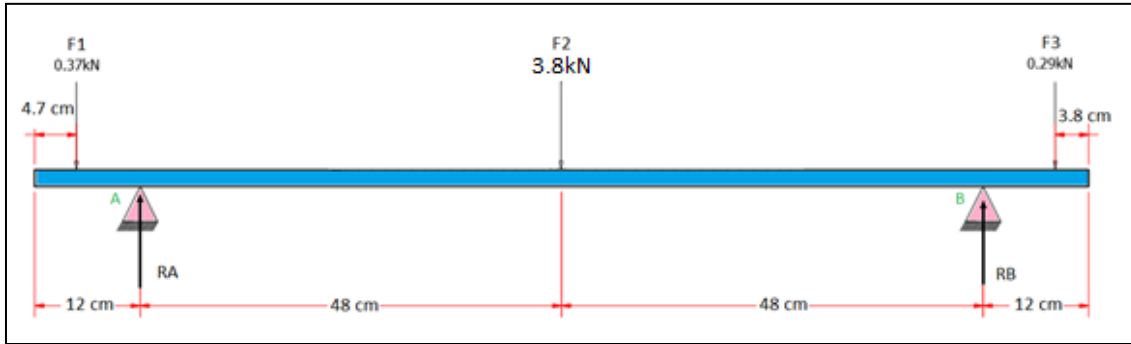


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre eje

Los diagramas de fuerza cortante, diagrama de momentos y las reacciones en los soportes A y B, y el momento máximo se obtiene por

| | |
|---|-------------|
| Fuerza ejercida por eje y porta cuchilla | = 1038.8 N |
| Fuerza ejercida por las 5 cuchillas | = 217.83 N |
| Fuerza ejercida por pernos de sujeción (30 unidades) | = 88.2 N |
| Total, de carga ejercida por soporte de cuchillas y cuchillas | = 1344.83 N |
| Fuerza ejercida por la Polea | = 291.35 N |
| Fuerza ejercida por el contrapeso | = 371.79 N |
| Fuerza de corte del neumático | = 2455.17 N |

5.6.1 Diagrama de carga concentrada

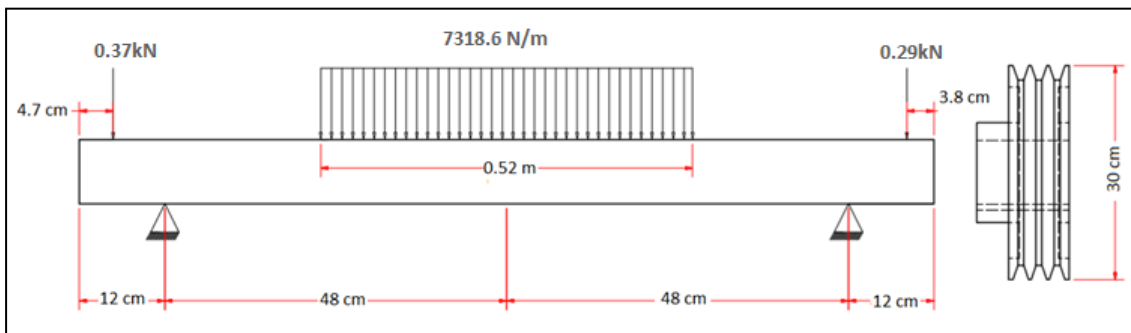


Figura 42. Diagrama de carga concentrada

$$W = \frac{7318.76N}{m}$$

$$W = \frac{13315.33N}{m} * \frac{1m}{100cm} * \frac{1kN}{1000N}$$

$$W = \frac{0.0731kN}{cm}$$

5.6.2 Cálculo de la carga concentrada

$$P = wl$$

$$P = \frac{7318.76N}{m} * 0.52m$$

$$P = 3805.75N$$

$$P = 3.8kN$$

Cálculo de reacciones Rf y Rc

$$\sum M_c = 0$$

$$Rf(96) - 3.8(48) - 0.29(104.2) + 0.37(7.3) = 0$$

$$Rf(96) - 209.917 = 0$$

$$Rf = \frac{209.917}{96}$$

$$Rf = 2.186kN$$

$$\sum fy = 0$$

$$Rc + Rf = 0.37 + 0.29 + 3.8$$

$$Rc + 2.186 = 0.37 + 0.29 + 3.8$$

$$Rc = 2.27kN$$

Tramos B-C

$$V_{BC} = -0.37kN$$

$$M_{BC} = -0.37(x - 4.7)$$

Tramos C-D

$$V_{CD} = -0.37 + 2.27$$

$$V_{CD} = 1.9kN$$

$$M_{CD} = -0.37(x - 4.7) + 2.27(x - 12)$$

Tramos D-E

$$V_{DE} = -0.37 + 2.27 - 0.0731(x - 34)$$

$$M_{DE} = -0.37(x - 4.7) + 3.83(x - 12) - 0.0731(x - 34) \left(\frac{x - 34}{2} \right)$$

Tramos E-F

$$V_{EF} = -0.37 + 2.27 - 3.8$$

$$V_{EF} = 1.9kN$$

$$M_{EF} = -0.37(x - 4.7) + 2.27(x - 12) - 3.8(x - 60)$$

Tramos F-G

$$V_{FG} = -0.37 + 2.27 - 3.8 + 2.186$$

$$V_{FG} = 0.286kN$$

$$M_{FG} = -0.37(x - 4.7) + 2.27(x - 12) - 3.8(x - 60) + 2.186(x - 108)$$

En el tramo DE, la fuerza cortante es $V_{DE}=0$ y el momento es el máximo

$$V_{DE} = -0.37 + 2.27 - 0.0731(x - 34)$$

$$0 = -0.37 + 2.27 - 0.0731(x - 34)$$

$$x = 60.61$$

$$M_{DE} = -0.37(x - 4.7) + 2.27(x - 12) - 3.8(x - 34) \left(\frac{x - 34}{2} \right)$$

Reemplazando $x=60.61$

$$M_{DE} = -0.37(60.61 - 4.7) + 2.27(60.61 - 12) - 0.073(60.61 - 34) \left(\frac{60.61 - 34}{2} \right)$$

$$M_{DE} = 6381N.m$$

El cálculo de diámetro se puede realizar en función a varios criterios:

- Fórmula para el cálculo de diámetro de eje según criterio ASME

$$d = \left\{ \frac{32 \cdot n}{\pi} \left[\left(\frac{kf \cdot Ma}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

- Fórmula para el cálculo de diámetro de eje según la expresión de fatiga por criterio de máxima tensión de corte, donde momentos flectores y momento alternante (), momento tensor medio y alternante ().

$$\frac{S_y}{n_s} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y K_f}{S_e} M_a \right)^2 + \left(T_m + \frac{S_y K_{fs}}{S_e} \right)^2}$$

- También el diámetro de eje se puede obtener por la teoría de máxima energía de deformación, se obtiene por la expresión de fatiga por criterio de máxima energía de deformación:

$$\frac{S_y}{n_s} = \frac{32}{\pi d^3} \sqrt{\left(M_m + \frac{S_y K_f}{S_e} M_a\right)^2 + \frac{3}{4} \left(T_m + \frac{S_y K_{fs}}{S_e}\right)^2}$$

- Teniendo en cuenta los momentos flectores y torsores se tiene la siguiente expresión de fatiga por criterio de máxima tensión normal posteriormente se puede despejar d o el coeficiente de seguridad o la tensión de fluencia dependiendo el cálculo que se requiera:

$$\frac{S_u}{n_s} = \frac{16}{\pi d^3} \left[K_c \left(M_m + \frac{S_u}{S_e} M_a \right) + \sqrt{K_c^2 \left(M_m + \frac{S_u}{S_e} M_a \right)^2 + K_{CS}^2 \left(T_m + \frac{S_u}{S_e} T_a \right)^2} \right]$$

- Se utiliza procedimientos para el cálculo de componentes de Von Mises de los esfuerzos alternantes y medio, todo eje giratorio sufre flexión y torsión en forma combinada la que posteriormente permite el uso del Criterio de Goodman modificado criterio de Von Mises.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(K_f M_a)^2 + \frac{3}{4} (K_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(K_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4} (K_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right]}$$

Cada factor K se calcula en función a las condiciones de trabajo del eje, materiales a usar y otras condiciones de operación.

Cálculo de factores de corrección

Cálculo de $S_f = S_e$

$$S_f = k_{carga} * k_{tamaño} * k_{superficie} * k_{temp.} * k_{confi.} * S_e'$$

Para el acero AISI 4340 resistencia a la tensión mínima

$$= S_{ut} = 965 \text{Mpa (145 Kpsi)}$$

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

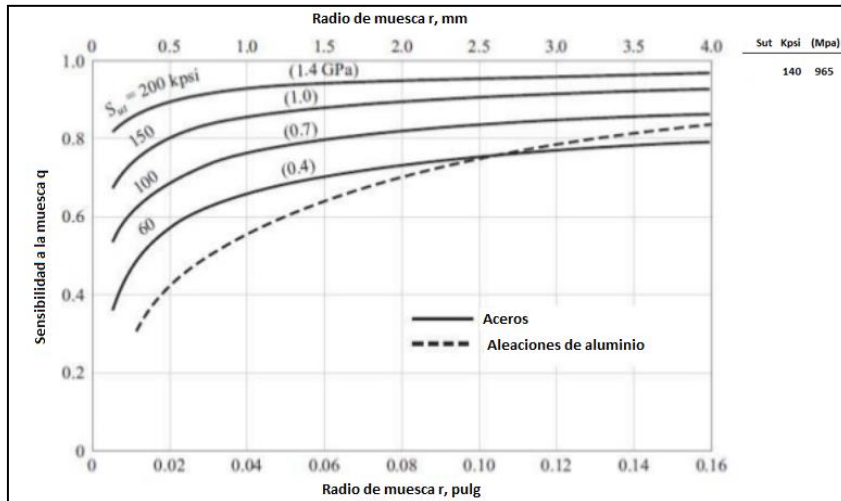


Figura 43. Sensibilidad a la muesca para aceros y aleaciones de aluminio, tomado de «Metal fatigue» por Sines y Waisman. 1959, p. 296.

$$S'_e = 0.5(965\text{Mpa})$$

$$S'_e = 482.5 \text{ Mpa}$$

Cálculo del factor de carga k_{carga} el eje está sometido a fatiga, la resistencia a la fluencia y la resistencia a la rotura de cada material son diferentes, los esfuerzos cortantes, normales y la resistencia a la fatiga.

para todo eje sometido a flexión $\alpha = 1, \beta = 0$,

$$k_c = \alpha(S_{ut})^\beta$$

$$k_c = 1(145 \text{ kpsi})^0$$

$$k_c = 1$$

Cálculo de factor de superficie $k_{superficie}$ El acabado superficial del eje tiene efecto directo en la resistencia a la fatiga, si el eje tiene rugosidad menor será la resistencia, todas las irregularidades actúan como pequeños concentradores de esfuerzos que con el transcurso del trabajo puede generar una grieta de manera prematura.

$$k_{superficie} = 0.72 \text{ (Mecanizado)}$$

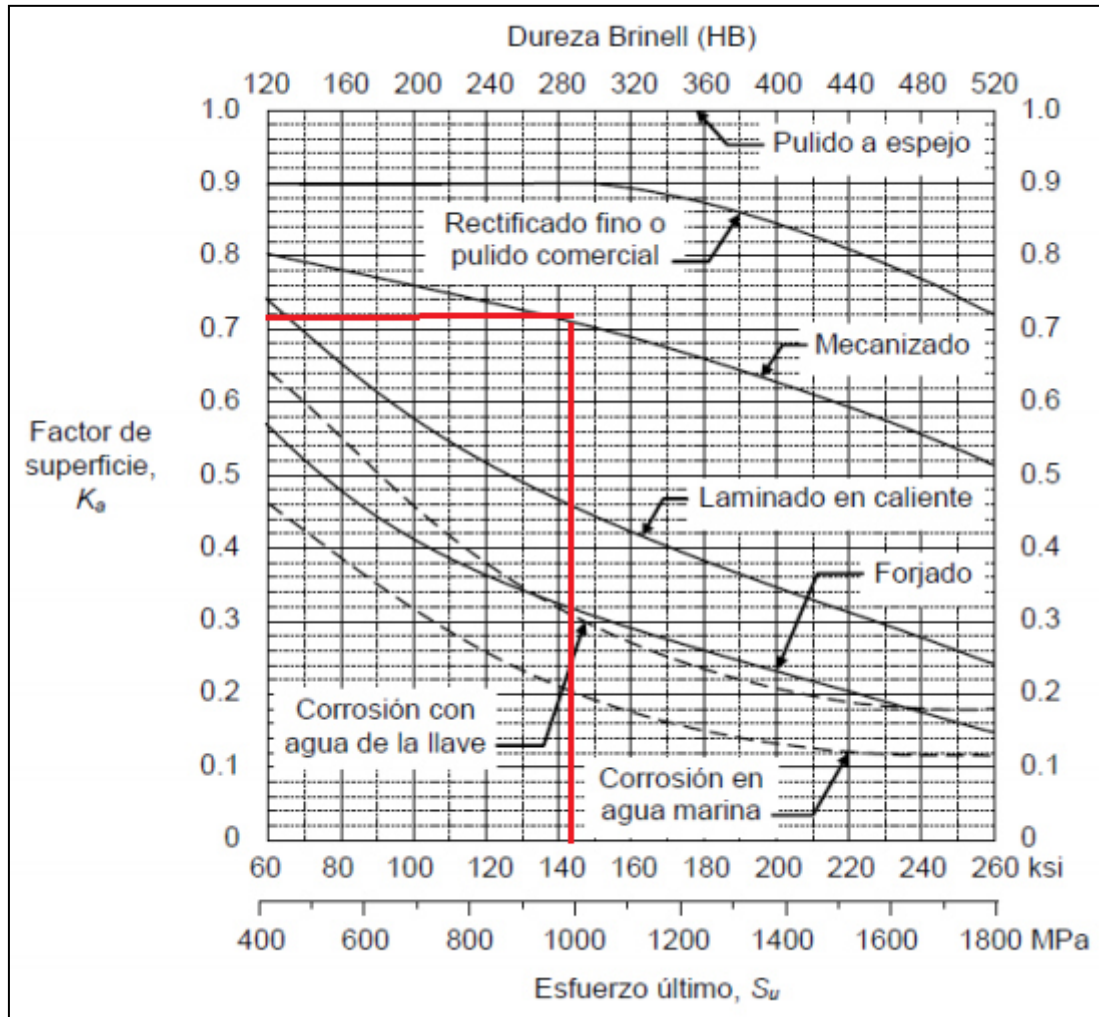


Figura 44. Factores Superficiales para el acero en diferentes acabados, tomado de <https://docplayer.es/8113493-Apendice-a-velocidades-tipicas-para-transportadores-de-cadena-catálogo-webster-chain-data-14.html>

Cálculo de factor de tamaño $k_{\text{tamaño}}$ El tamaño del eje tiene efectos en la resistencia si mayor es la dimensión del eje menor es su resistencia, la carga axial no tiene efecto.

La fórmula para el cálculo de factor de tamaño si $8\text{mm} < d < 250\text{mm}$

$$k_{\text{tamaño}} = 1.189d^{-0.097}$$

$d = \text{diámetro en mm}$

Estimación de diámetro aproximado

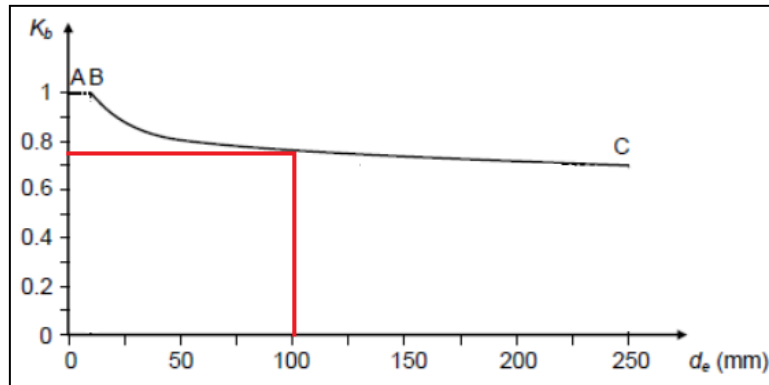


Figura 45. Variación del factor de tamaño versus diámetro, tomada de «Diseño en ingeniería mecánica», por Budynas y Keith. 2008, p. 647.

$$k_{\text{tamaño}} = 1.189(100)^{-0.097}$$

$$k_{\text{tamaño}} = 0.76$$

Cálculo de factor de temperatura $k_{\text{temperatura}}$ no es necesario considerar el factor de temperatura si no excede los 450 °C de trabajo, para los aceros dúctiles no varía su resistencia a la fatiga por tanto:

$$k_{\text{temperatura}} = 1 (T \leq 450^{\circ}C)$$

Cálculo de factor de confiabilidad, los factores de confiabilidad corresponden a 8 desviaciones teniendo un porcentaje de límite de resistencia a la fatiga.

| para $S_d = 0.08 \mu$ | |
|-----------------------|-------------------|
| % de confiabilidad | C_{conf} |
| 50 | 1.000 |
| 90 | 0.897 |
| 95 | 0.868 |
| 99 | 0.814 |
| 99.9 | 0.753 |
| 99.99 | 0.702 |
| 99.999 | 0.659 |
| 99.9999 | 0.620 |

Figura 46. Factores de confiabilidad. Tomada de «Diseño de máquinas» por Norton, 2011, p.265.

$$k_{\text{confiabilidad}} = 0.753 \text{ (confiabilidad de 99.99\%)}$$

Selección de factor de confiabilidad como un valor intermedio y conservador

$$S_f = k_{carga} * k_{tamaño} * k_{superficie} * k_{temp.} * k_{confi.} * S_e'$$

$$S_f = (1)(0.76)(0.72)(1)(0.753)(482.5)$$

$$S_f = 288.342 \text{ Mpa}$$

Factor de concentración de tensiones k_t este factor es teórico es el encargado de poseer los efectos locales, valores que se obtienen de gráficas para diferentes cargas, áreas y discontinuidades.

Por el tipo de eje a diseñar asumimos $D = 120 \text{ mm}$, $d = 90 \text{ mm}$, para $r = 10 \text{ mm}$ de la tabla de factor de concentración el eje sometido a esfuerzo de flexión:

$$k_t = 1.5$$

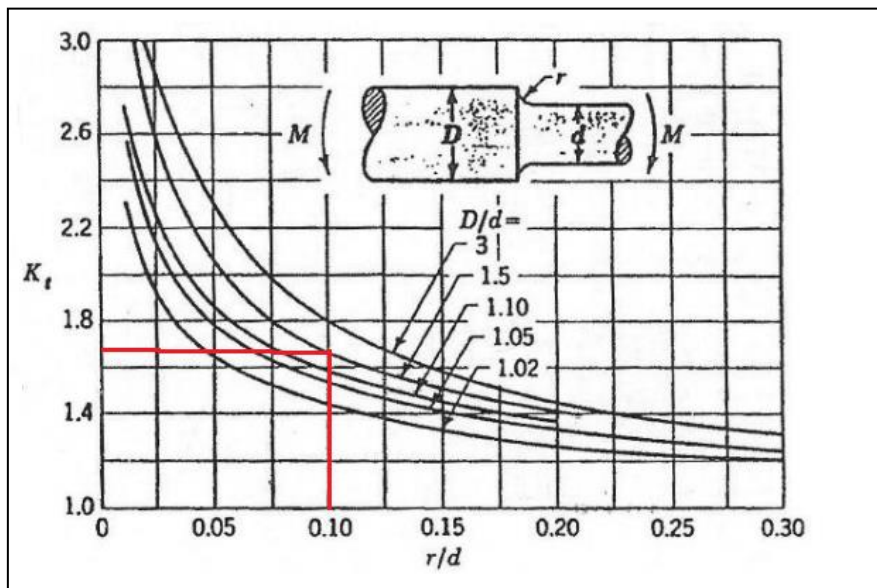


Figura 47. Factor de concentración de esfuerzo para eje a flexión, tomado de «Diseño de máquinas» por Norton. 2011, p. 268

Factor de concentración de tensiones reducido a fatiga k_f este factor se utiliza para cálculos clásicos de fatiga, se calcula en función a la siguiente fórmula:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

q es la sensibilidad a la entalla, depende del material del eje a diseñar y se obtiene por la siguiente figura.

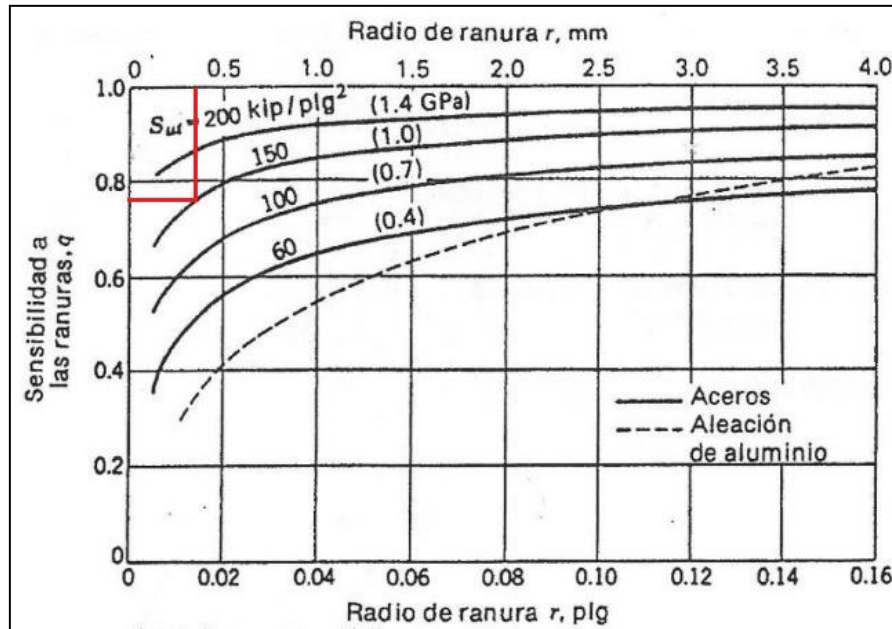


Figura 48. Sensibilidad a la entalla para cargas axiales y de flexión, tomado de «Diseño de máquinas» por Norton. 2011, p. 270

$$q = 0.78$$

$$k_f = 1 + 0.78(1.5 - 1) \quad k_f = 1.39$$

$$\text{asumimos} \quad K_s = 1.2$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_s - 1) \quad K_{fs} = 1 + 0.78(1.2 - 1)$$

$$K_{fsm} = K_{fs} = 1.156$$

5.6.3 Cálculo de diámetro de eje

El cálculo óptimo de diámetro de eje, está dado por el criterio de Goodman Modificado ya que considera los momentos flectores y momentos torsores.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(K_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(K_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(K_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4}(K_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right]}$$

N_f = Factor de seguridad por fatiga

M_a = Momento alternante

S_f = Limite de resistencia a la fatiga para un vida infinita

$K_f = K_{fm}$ = Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga

$M_m = \text{Momento medio}$

$S_{ut} = \text{Resistencia última}$

$d = \text{diametro del eje}$

$K_{fsm} = K_{fs} = \text{Factor de concentración de esfuerzos a la torsión}$

$T_m = \text{Torque medio}$

$$= \sqrt[3]{\frac{32(2)}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(1.39 * 6381)^2 + \frac{3}{4}(1.156 * 121)^2}}{288.342 * 10^6} + \frac{\sqrt{(1.39 * 6381)^2 + \frac{3}{4}(1.56 * 121)^2}}{965 * 10^6} \right]}$$

$$d = 0.0931m$$

$$d = 93mm$$

Para el diseño alternativo de diámetro de eje principal, se toma en cuenta el esfuerzo torsional que el eje debe soportar, en el estudio de la torsión en los ejes de sección circular los esfuerzos no son distribuidos uniformemente, los procedimientos de los casos de distribución no uniformes de esfuerzos se resumen en lo siguiente:

- Todas las secciones en forma circular permanecerán circular después de ejercer torsión al eje.
- Todas las secciones planas permanecerán planas y no se alabea después de ejercer torsión al eje.

En aplicaciones prácticas los ejes se utilizan para transmitir potencia, de ahí en el estudio de dinámica se conoce que la potencia (P) transmitida por un par torsor constante (T) que rota a una velocidad angular constante (ω) y está determinado por:

$$P = T\omega$$

La empresa GRISAND posee un motor eléctrico de 30hp que gira a 1765 rpm, a continuación, se calcula el momento torsionante a que estará sometido el eje.

$$T = \frac{P}{2\pi f}$$

$$T = \frac{22371 \text{ watts}}{2\pi \left(185 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}$$

$$T = 19.24Nm$$



Figura 49. Datos técnicos de motor eléctrico

El acero recomendado por fabricantes de máquinas AISI 4340, el factor de seguridad que se va a elegir es 2.

$$\sigma_y (\text{acero 4340}) = 723.82 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{0.5\sigma_y}{F.S} = \frac{0.5(723.82 \text{ Mpa})}{2} = 181 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{T * C}{j}$$

T = torque del eje

C = distancia del punto medio (radio)

J = momento polar de inercia

$$J = \frac{\pi * D^4}{32}$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{T * \frac{D}{2}}{\frac{\pi * D^4}{32}}$$

despejando D

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 * T}{\pi * \tau_{\text{max}}}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 19 \text{ N.m}}{\pi * 181 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}}$$

$$D = 0.0811 \text{ m} = 81.1 \text{ mm}$$

Tabla 30. Comparación de resultado del cálculo de diámetro

| | |
|--|--|
| Cálculo de diámetro de eje utilizando el libro de Robert L. Norton, Machine Design, 3ra edición, 2006. | Cálculo de diámetro de eje utilizando el libro de Robert L. Mott, Resistencia de materiales 5ta edición, 2009. |
| D=81.1 mm | D=93.1 mm |

Considerando el cálculo por ambos métodos y disposición de material para maquinado de eje en el mercado local y optimizar el diseño del diámetro se llega a la conclusión de utilizar diámetro de eje 90 milímetros por promedio de ambos métodos.

5.6.4 Análisis estructural

Es muy importante validar nuestros resultados de diseño de eje porta cuchillas, en esta ocasión usaremos la herramienta software autodesk inventor 2018 que nos permitirá ver posibles errores de rendimiento antes de iniciar la fabricación de la máquina, esta herramienta permite el desarrollo de simulaciones pudiendo darle valores de fuerzas, reacciones, calor, vibraciones etc. para posteriormente validar el desenvolvimiento del prototipo si esta trabajará en condiciones reales; a continuación algunos detalles del reporte de simulación:

☐ **Resumen de los resultados**

| Nombre | Mínimo | Máximo |
|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Volumen | 14621300 mm ³ | |
| Masa | 104,542 kg | |
| Von Mises Stress | 0.0000000494732 MPa | 0.957844 MPa |
| 1er estrés principal | -0.161275 MPa | 1.04522 MPa |
| Tercer estrés principal | -1.03719 MPa | 0.250756 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 0.00167861 mm |
| Factor de seguridad | 15 ul | 15 ul |
| Estrés XX | -0.435632 MPa | 0.386006 MPa |
| Estrés XY | -0.273892 MPa | 0.237253 MPa |
| Estrés XZ | -0.337684 MPa | 0.340186 MPa |
| Estrés YY | -0.494419 MPa | 0.592189 MPa |
| Estrés YZ | -0.482198 MPa | 0.49747 MPa |
| Estrés ZZ | -1.00127 MPa | 1.03909 MPa |
| X desplazamiento | -0.000886526 mm | 0.0000938288 mm |
| Desplazamiento | -0,00145209 mm | 0.0000400762 mm |
| Desplazamiento Z | -0.000588475 mm | 0,000588556 mm |
| Cepa equivalente | 0.000000000000275331 ul | 0.00000510857 ul |
| 1ra cepa principal | -0.00000000226089 ul | 0.00000590803 ul |
| Tercera cepa principal | -0.00000582348 ul | 0.000000625239 ul |
| Cepa XX | -0.00000209333 ul | 0.00000214884 ul |
| Cepa XY | -0.0000021031 ul | 0.00000182176 ul |
| Strain XZ | -0.00000259293 ul | 0.00000261214 ul |
| Colar YY | -0.00000274608 ul | 0.00000298602 ul |
| Cepa YZ | -0.00000370259 ul | 0.00000381986 ul |
| Strain ZZ | -0.00000550211 ul | 0.00000587587 ul |

Figura 50. Resultado de análisis estructural

Todas las tensiones y las deformaciones tridimensionales se llegan a desarrollar en varias direcciones, las formas de expresar las tensiones multidireccionales se resumen en una sola tensión equivalente llamada tensión de Von – Mises, el resultado nos sirve para analizar si el eje va a sufrir una fractura con las fuerzas ejercidas sobre el eje, al final se compara la tensión de Von Mises con la tensión máxima admisible soportado por el material del eje.

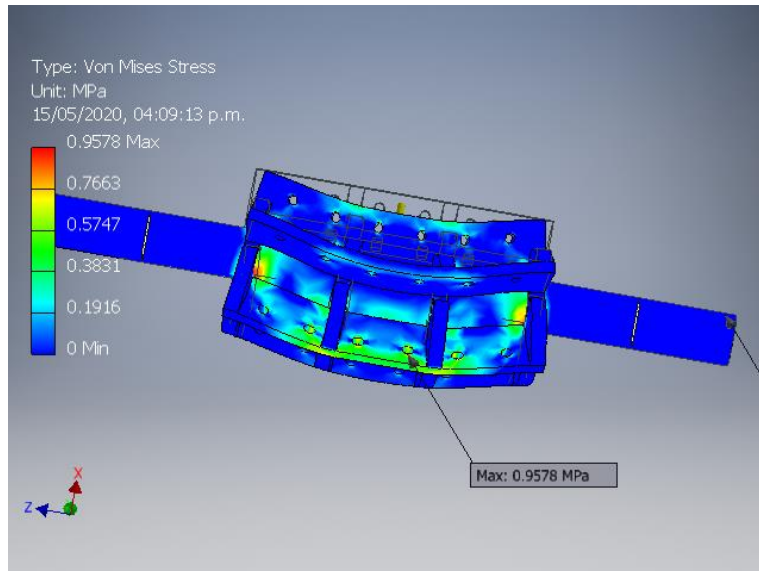


Figura 51. Análisis de tensiones Von Mises

Todos los materiales tienen un límite de tensión que se conoce como elasticidad del material o resistencia máxima, para el cálculo del coeficiente de seguridad se utiliza la tensión máxima del material y la tensión calculada de Von Mises. Debe ser mayor que 1 para que el diseño sea óptimo, un valor menor a 1 indica que existirá una deformación permanente, en el análisis los puntos rojos equivalen tensiones máximas que sufre el eje; cabe mencionar que la mayoría de los diseñadores buscan obtener entre 2 y 4. En funcionamiento de la máquina es posible que una carga alternante se repita con frecuencia y produzca una rotura por fatiga.

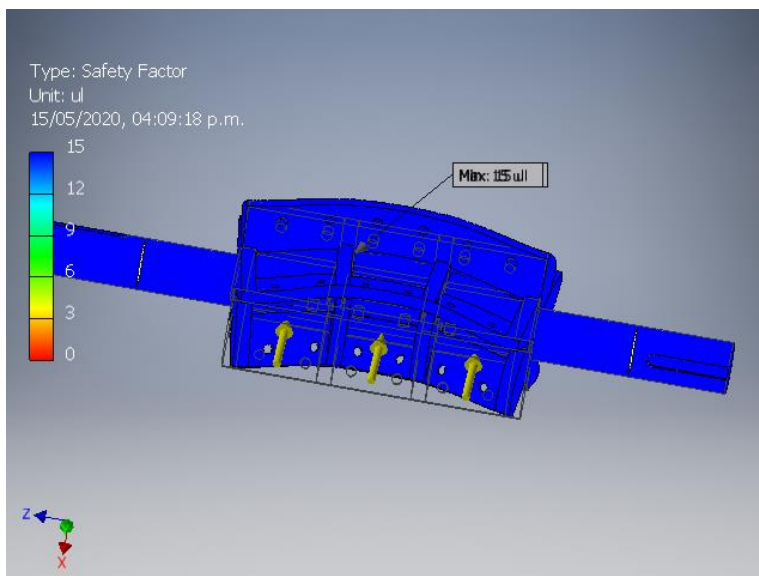


Figura 52. Factor de seguridad

La deformación que sufre el eje diseñado es la cantidad de desplazamiento debido a las cargas sometidas, este dato se utiliza para determinar cómo y cuándo se curva nuestro eje porta cuchillas.

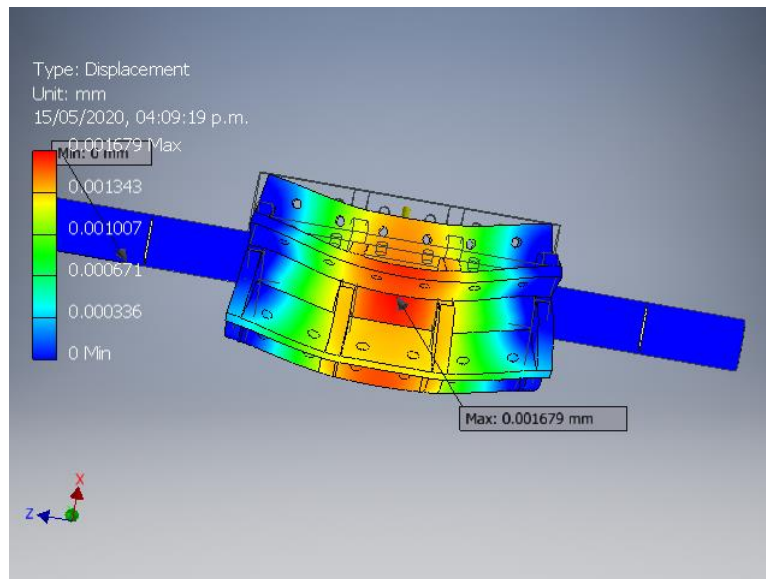


Figura 53. Desplazamiento de eje

5.7 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE RODAMIENTO

Los rodamientos son seleccionados considerando a los diseñadores y especialistas, estos recomiendan considerar la carga de fatiga, fricción, temperatura de trabajo, resistencia a la corrosión, lubricación, ensamble, costos, la velocidad de rotación, la viscosidad del lubricante; estas características hacen que el rodamiento trabaje en condiciones óptimas y así poder alargar la vida útil.

El efecto de la distribución Weibull según Roberth L. Mott, considera la confiabilidad y vida del rodamiento estos combinan relaciones de estadística y estudios de tal manera se calcula en función a las ecuaciones:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{m_k} \quad Ec. 1$$

$$(L_{10})_{horas} = \frac{10^6 L_{10}}{60 N_b} \quad Ec. 2$$

$$L_{aR} = C_R L_{10} \quad Ec. 3$$

Tabla 31. Factores de ajuste de duración por confiabilidad, CR

| Confiabilidad (%) | C _R | Nomenclatura de la duración |
|-------------------|----------------|-----------------------------|
| 90 | 1 | L ₁₀ |
| 95 | 0.62 | L₅ |
| 96 | 0.53 | L ₄ |
| 97 | 0.44 | L ₃ |
| 98 | 0.33 | L ₂ |
| 99 | 0.21 | L ₁ |

Nota: Datos extraídos de catálogo de rodamientos SKF www.skf.com

Datos para la selección de rodamiento:

Nb=Velocidad de rotacional, **rpm=550 rpm=550rev/min**

(L₁₀) horas=Vida del cojinete, **horas=21900 horas** (6 horas diarias equivale a 10 años)

Tabla 32. Duración de rodamientos en horas

| Aplicación | Duración de diseño en hr. |
|---|---------------------------|
| Electrodomésticos | 1 000 - 2 000 |
| Motores de aviación | 1 000 - 4 000 |
| Automotores | 1 500 - 5 000 |
| Equipos agrícolas | 3 000 - 6 000 |
| Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples. | 8 000 - 15 000 |
| Motores eléctricos, sopladores industriales máquinas industriales en general | 20 000 - 30 000 |
| Bombas y compresores | 40 000 - 60 000 |
| Equipo crítico en funcionamiento durante 24h | 100 000 - 200 000 |

Nota: hr: horas tomado de Resistencia de materiales., 2009 Robert L. p. 612

Confiabilidad = 95% **CR= 0.62**

C=capacidad de carga dinámica básica

P= carga equivalente en el cojinete

Mk = exponente carga-vida; 3 para contacto elíptico y 10/3 para contacto rectangular

$$Mk = \frac{10}{3}$$

Utilizaremos la ecuación 2

$$(L_{10})_{horas} = \frac{10^6 L_{10}}{60 N_b}$$

$$L_{10} = \frac{(L_{10})_{horas} (60) (N_b)}{10^6}$$

$$L_{10} = \frac{(15000) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}\right) (550 \frac{rev}{min})}{10^6 rev}$$

$$L_{10} = 495$$

Ahora utilizaremos la ecuación 3

$$L_{aR} = C_R L_{10}$$

$$L_{aR} = C_R L_5$$

$$L_5 = \frac{L_{aR}}{C_R} = \frac{495}{0.62} = 798.38$$

Aplicaremos la ecuación 1

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{m_k}$$

$${}^{m_k}\sqrt{L_5} = \sqrt[{}]{\left(\frac{C}{P}\right)^{m_k}}$$

$$(L_{10})^{\frac{1}{m_k}} = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{m_k}{m_k}-1} = \frac{C}{P}$$

$$C = P \cdot (L_5)^{\frac{1}{m_k}} = (2.27 \text{ KN})(798.38)^{\frac{3}{10}} = 21.05 \text{ KN}$$

Con los cálculos obtenidos y el diámetro de eje disponible seleccionamos un rodamiento rígido de bolas de una hilera según estándares de dimensiones ISO 15, ya que pueden soportar cargas axiales, se recurre al catálogo de rodamientos SKF PUB BU/P1 10000/2 ES – octubre 2015.

Rodamiento de bolas 61918 que puede soportar cargas dinámicas de hasta 33.2 kN, podemos comprobar que excede a la carga dinámica calculada.

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designación | |
|-------------------------|-----|-----|---------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------|-------------|-------|
| d | D | B | C | C ₀ | P _u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - | |
| 80 | 100 | 10 | 13 | 15 | 0,64 | 13 000 | 8 000 | 0,15 | 61816 | |
| | 110 | 16 | 25,1 | 20,4 | 1,02 | 12 000 | 7 500 | 0,38 | 61916 | |
| | 125 | 14 | 35,1 | 31,5 | 1,32 | 11 000 | 7 000 | 0,61 | 16016 | |
| | 125 | 22 | 49,4 | 40 | 1,66 | 11 000 | 7 000 | 0,87 | 6016 | |
| | 140 | 26 | 72,8 | 55 | 2,2 | 9 500 | 6 000 | 1,45 | 6216 | |
| | 170 | 39 | 130 | 86,5 | 3,25 | 8 500 | 5 300 | 3,65 | 6316 | |
| | 200 | 48 | 163 | 125 | 4,5 | 7 500 | 4 800 | 6,85 | 6416 | |
| | 85 | 110 | 13 | 19,5 | 20,8 | 0,88 | 12 000 | 7 500 | 0,27 | 61817 |
| 120 | | 18 | 31,9 | 30 | 1,25 | 11 000 | 7 000 | 0,55 | 61917 | |
| 130 | | 14 | 35,8 | 33,5 | 1,37 | 11 000 | 6 700 | 0,64 | 16017 | |
| 130 | | 22 | 52 | 43 | 1,76 | 11 000 | 6 700 | 0,92 | 6017 | |
| 150 | | 28 | 87,1 | 64 | 2,5 | 9 000 | 5 600 | 1,8 | 6217 | |
| 180 | | 41 | 140 | 96,5 | 3,55 | 8 000 | 5 000 | 4,25 | 6317 | |
| 210 | | 52 | 174 | 137 | 4,75 | 7 000 | 4 500 | 8,05 | 6417 | |
| 90 | | 115 | 13 | 19,5 | 22 | 0,915 | 11 000 | 7 000 | 0,28 | 61818 |
| | 125 | 18 | 33,2 | 31,5 | 1,29 | 11 000 | 6 700 | 0,59 | 61918 | |
| | 140 | 26 | 72,8 | 55 | 2,2 | 9 500 | 6 000 | 1,45 | 6218 | |
| | 160 | 30 | 101 | 73,5 | 2,8 | 8 500 | 5 300 | 2,2 | 6218 | |
| | 190 | 43 | 151 | 108 | 3,8 | 7 500 | 4 800 | 4,95 | 6318 | |
| | 225 | 54 | 186 | 150 | 5 | 6 700 | 4 300 | 9,8 | 6418 | |
| | 95 | 120 | 13 | 19,9 | 22,8 | 0,93 | 11 000 | 6 700 | 0,3 | 61819 |
| | | 130 | 18 | 33,8 | 33,5 | 1,34 | 10 000 | 6 300 | 0,61 | 61919 |
| 145 | | 16 | 44,9 | 41,5 | 1,63 | 9 500 | 6 000 | 0,89 | 16019 | |
| 145 | | 24 | 63,7 | 54 | 2,08 | 9 500 | 6 000 | 1,1 | 6019 | |
| 170 | | 32 | 114 | 81,5 | 3 | 8 000 | 5 000 | 2,65 | 6219 | |
| 200 | | 45 | 159 | 118 | 4,15 | 7 000 | 4 500 | 5,75 | 6319 | |
| 100 | 125 | 13 | 17,8 | 18,3 | 0,95 | 10 000 | 6 300 | 0,31 | 61820 | |
| | 140 | 20 | 42,3 | 41,5 | 1,63 | 9 500 | 6 000 | 0,83 | 61920 | |
| | 150 | 16 | 46,2 | 44 | 1,7 | 9 500 | 5 600 | 0,94 | 16020 | |
| | 150 | 24 | 63,7 | 54 | 2,04 | 9 500 | 5 600 | 1,25 | 6020 | |
| | 180 | 34 | 127 | 93 | 3,35 | 7 500 | 4 800 | 3,15 | 6220 | |
| | 215 | 47 | 174 | 140 | 4,75 | 6 700 | 4 300 | 7,1 | 6320 | |

* Rodamiento SKF Explorer

Figura 54. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas, tomada de «Rodamientos» de Grupo SKF. 2015, p. 332.

5.8 ESTRUCTURA Y ANÁLISIS DE MÁQUINA

El diseño, análisis y cálculo de estructura se realizará considerando factores críticos como la ubicación de los componentes, pesos correspondientes, caja de trituración bandeja de alimentación, bandeja de descarga.

Masa total de eje y porta cuchilla = 105.89kg.

Masa total de las 5 cuchillas = 22.2kg.

Masa total de pernos de sujeción (30 unidades) = 9kg.

Masa de caja inferior = 55kg.

Masa de caja superior = 43kg.

Masa de tolva de alimentación = 22kg.

Masa de 2 porta rodamientos y rodamientos = 18kg.

Masa de polea = 48kg.

Masa de contrapeso = 42kg.

La cantidad de componentes instalados sobre la estructura principal determinará el correcto diseño, la correcta elección de material a fabricar y los datos obtenidos y el apoyo de software INVENTOR se podrá realizar el diseño 3D y análisis de carga a soportar.

$$Masa\ total = 105.8 + 89 + 22.2 + 9 + 55 + 43 + 22 + 18 = 275kg.$$

Fuerza ejercida sobre la estructura principal=masa*gravedad

$$fuerza = 275kg * \frac{9.81m}{s^2}$$

$$fuerza = 2697.75N = 2.69kN$$

Calculo de perímetro de estructura principal que soporta la fuerza

$$perimetro\ de\ la\ estructura = (0.8m * 2) + (0.6 * 2)$$

$$perimetro\ de\ la\ estructura = 2.8m$$

Cálculo de la carga distribuida

$$carga\ distribuida = \frac{fuerza}{perimetro\ de\ estructura}$$

$$carga\ distribuida = \frac{2.69kN}{2.8m}$$

$$carga\ distribuida = 0.96 \frac{kN}{m}$$

Von Mises Stress

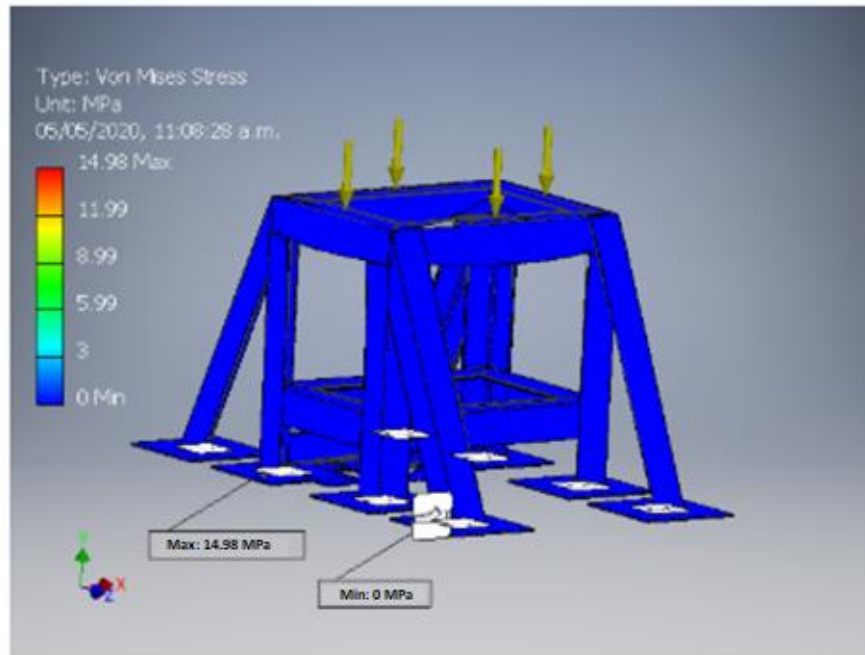


Figura 55. Distribución de fuerzas sobre la estructura principal

En la figura se nota que la viga A es de mayor dimensión por consecuencia es la que tiende a flecharse, esta viga será la que se analizará.

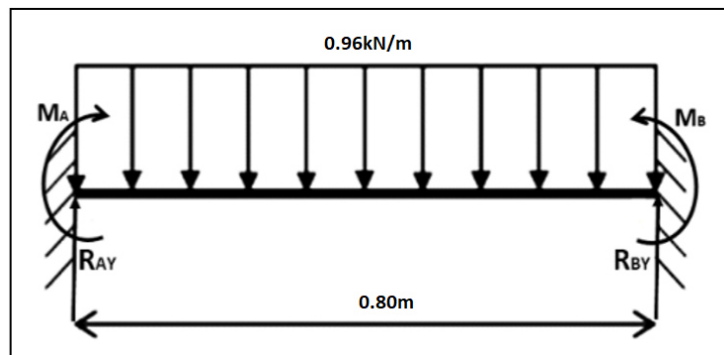


Figura 56. Carga distribuida sobre estructura principal

0.96kN/m carga distribuida debe convertirse en carga puntual.

$$\frac{0.96kN}{m} * 0.80m = 0.768kN$$

Cálculo de MA y MB

$$M_A = \frac{1}{12} * \frac{0.96kN}{m} * (0.80m)^2 = 0.05kNm$$

$$M_B = \frac{1}{12} * \frac{0.96kN}{m} * (0.80m)^2 = 0.05kNm$$

$$\sum M_A = 0$$

$$0 = -0.05kNm + 0.05kNm + R_{BY} * 0.80 - 0.768kN * 0.4m$$

$$R_{BY} = \left(\frac{0.768kN * 0.4m}{0.8m} \right) = 0.384kN$$

$$\sum M_Y = 0$$

$$0 = R_{AY} + R_{BY} - 0.768kN$$

$$R_{AY} = 0.768kN - 0.384kN = 0.384kN$$

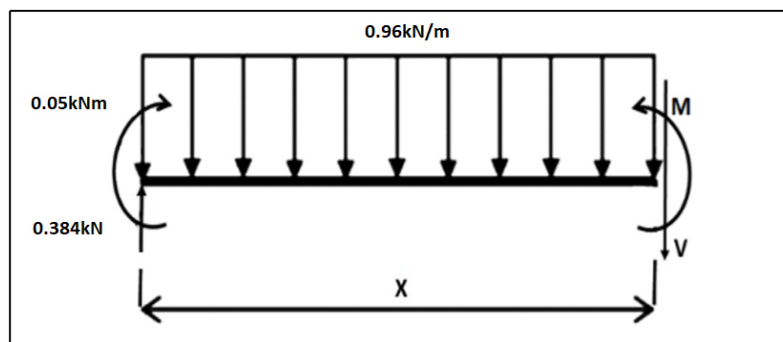


Figura 57. Distribución de fuerzas cortantes y momento flector

Fuerzas cortantes

$$\sum F_y = 0$$

$$0 = -V + 0.384kN - \left(\frac{0.96kN}{m} * x \right)$$

$$V = 0.384kN - \left(\frac{0.96kN}{m} * x \right)$$

Tabla 33. Datos fuerzas cortantes

| x (m) | V(kN) |
|-------|----------|
| 0 | 0.384kN |
| 0.4 | 0 |
| 0.8 | -0.384kN |

Nota: m: metros; kN: kilonewton

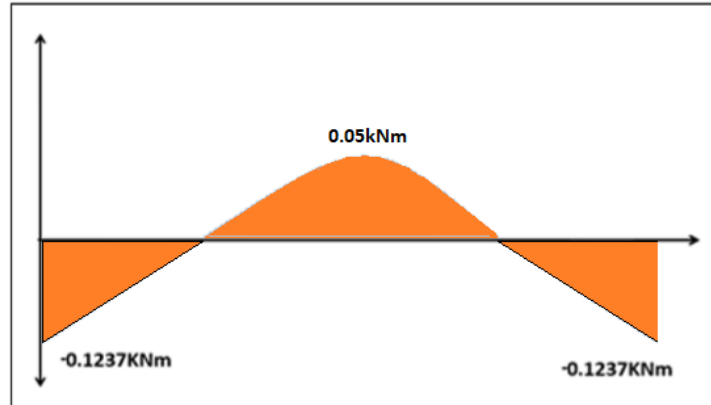


Figura 58. Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Desde el análisis de fuerza cortante y momento flexionante de la viga, el momento máximo flexionante es:

$$M_{max} = 50Nm$$

El esfuerzo ejercido a tensión de la Viga A está definido por:

$$\sigma = \frac{M_c}{I}$$

Para el tipo de viga a usar en la estructura se utilizará según Robert Mott. (2006)

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Donde:

$$S = \frac{I}{c}$$

M = magnitud del momento de flexión en la sección

I = momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro

C = Distancia del eje neutro a la fila más alejada la sección transversal de la viga

S = módulo de sección

Para la construcción de la estructura principal se utilizará el acero estructural A36, este tipo de acero es el más común en el mercado nacional, tiene muchas aplicaciones en construcciones industriales.

$$\sigma_y \text{ acero A36} = 250MPa$$

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{F.S.} = \frac{250MPa}{2} = 125MPa$$

$$S = \frac{M}{\sigma_d} = \frac{50Nm}{125MPa} = 4 \times 10^{-7} m^3$$

$$4 \times 10^{-7} m^3 * \frac{(39.3701)^3}{(1m)^3} = 0.024 pulg^3$$

El perfil seleccionado y adecuado lo elegimos de la tabla de diseño de elementos de máquinas y herramientas de Robert Mott, cuarta edición 2006. El perfil óptimo para la fabricación de la base principal es L4x4x1/2, según la tabla el módulo de sección S en el eje X-X.

Tabla propiedades de perfil tipo L

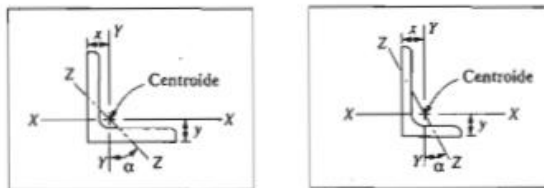


TABLA A16-1 Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales y lados desiguales*

| Designación | Área (pulg ²) | Peso por pie (lb) | Eje X-X | | | Eje Y-Y | | | Eje Z-Z | |
|--------------|---------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|----------|------------------------|------------------------|----------|----------|---------|
| | | | I (pulg ⁴) | S (pulg ³) | y (pulg) | I (pulg ⁴) | S (pulg ³) | x (pulg) | r (pulg) | α (deg) |
| L8 × 8 × 1 | 15.0 | 51.0 | 89.0 | 15.8 | 2.37 | 89.0 | 15.8 | 2.37 | 1.56 | 45.0 |
| L8 × 8 × 1/2 | 7.75 | 26.4 | 48.6 | 8.36 | 2.19 | 48.6 | 8.36 | 2.19 | 1.59 | 45.0 |
| L8 × 4 × 1 | 11.0 | 37.4 | 69.6 | 14.1 | 3.05 | 11.6 | 3.94 | 1.05 | 0.846 | 13.9 |
| L8 × 4 × 1/2 | 5.75 | 19.6 | 38.5 | 7.49 | 2.86 | 6.74 | 2.15 | 0.859 | 0.865 | 14.9 |
| L6 × 6 × 3/4 | 8.44 | 28.7 | 28.2 | 6.66 | 1.78 | 28.2 | 6.66 | 1.78 | 1.17 | 45.0 |
| L6 × 6 × 3/8 | 4.36 | 14.9 | 15.4 | 3.53 | 1.64 | 15.4 | 3.53 | 1.64 | 1.19 | 45.0 |
| L6 × 4 × 3/4 | 6.94 | 23.6 | 24.5 | 6.25 | 2.08 | 8.68 | 2.97 | 1.08 | 0.860 | 23.2 |
| L6 × 4 × 3/8 | 3.61 | 12.3 | 13.5 | 3.32 | 1.94 | 4.90 | 1.60 | 0.941 | 0.877 | 24.0 |
| L4 × 4 × 1/2 | 3.75 | 12.8 | 5.56 | 1.97 | 1.18 | 5.56 | 1.97 | 1.18 | 0.782 | 45.0 |
| L4 × 4 × 1/4 | 1.94 | 6.6 | 3.04 | 1.05 | 1.09 | 3.04 | 1.05 | 1.09 | 0.795 | 45.0 |
| L4 × 3 × 1/2 | 3.25 | 11.1 | 5.05 | 1.89 | 1.33 | 2.42 | 1.12 | 0.827 | 0.639 | 28.5 |
| L4 × 3 × 1/4 | 1.69 | 5.8 | 2.77 | 1.00 | 1.24 | 1.36 | 0.599 | 0.896 | 0.651 | 29.2 |
| L3 × 3 × 1/2 | 2.75 | 9.4 | 2.22 | 1.07 | 0.932 | 2.22 | 1.07 | 0.932 | 0.584 | 45.0 |
| L3 × 3 × 1/4 | 1.44 | 4.9 | 1.24 | 0.577 | 0.842 | 1.24 | 0.577 | 0.842 | 0.592 | 45.0 |
| L2 × 2 × 3/8 | 1.36 | 4.7 | 0.479 | 0.351 | 0.636 | 0.479 | 0.351 | 0.636 | 0.389 | 45.0 |
| L2 × 2 × 1/4 | 0.938 | 3.19 | 0.348 | 0.247 | 0.592 | 0.348 | 0.247 | 0.592 | 0.391 | 45.0 |
| L2 × 2 × 1/8 | 0.484 | 1.65 | 0.190 | 0.131 | 0.546 | 0.190 | 0.131 | 0.546 | 0.398 | 45.0 |

*Los datos se tomaron de varias fuentes. Los tamaños mencionados representan una muestra pequeña de los tamaños disponibles.

Notas: Designación de ejemplo: L4 × 3 × 1/2.

4 = longitud del lado mayor (pulg); 3 = longitud del lado menor (pulg); 1/2 = espesor de los lados (pulg).

El eje Z-Z es el eje de momento de inercia (I) y radio de giro (r) mínimos.

I = momento de inercia; S = módulo de sección; r = radio de giro.

Figura 59. Propiedades de los ángulos de acero de lados iguales L, tomado de Diseño de elementos de máquinas por Mott. 2006. p.163.

Con los datos obtenidos de la tabla anterior el módulo de sección S=1.97 pulg³ se calcula el factor de seguridad.

$$1.97 pulg^3 * \frac{(1m)^3}{(39.3701 pulg)^3} = 3.23 * 10^{-5} m^3$$

$$\sigma_d = \frac{M}{S} = \frac{50Nm}{3.23 * 10^{-5}m^3} = 1.54798Mpa$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_d} = \frac{250Mpa}{1.54798Mpa} = 161.50$$

El factor de seguridad que se obtuvo mediante cálculos es de 161.50, este dato significa que la estructura a fabricar no tendrá un fallo por las cargas sometidas a la estructura.

5.9 ANÁLISIS DE ESTRUCTURA PRINCIPAL.

A continuación, se analizará la columna L que soporta el conjunto de trituración (eje, cuchillas, rodamientos, poleas, tolva de alimentación, etc.) esta columna es la más larga de la estructura y por ende es la más crítica.

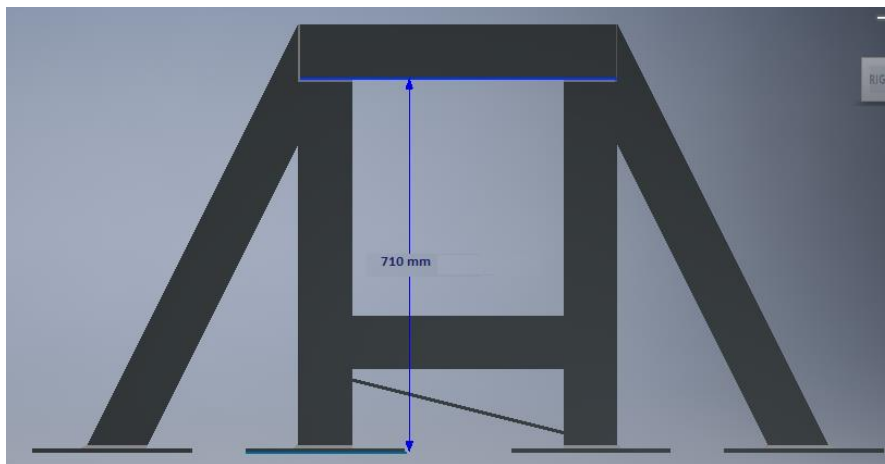


Figura 60. Distancia de viga

El procedimiento de cálculo de la columna se encuentra en el libro de diseño de Mott. R., Diseño de elementos de máquinas.

Fuerza ejercida por los componentes sobre la estructura

$$f = 275kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 2695N = 2.695kN$$

$$f_{real\ de\ la\ columna} = 2.695N \div 4 = 0.673kN$$

Fuerza ejercida por el motor eléctrico

$$f_{ejercida\ por\ el\ motor} = 220kg * 9.8 \frac{m}{s^2} = 2156N = 2.156kN$$

$$f_{ejercida\ en\ 1\ columna} = 2.156 \div 4 = 0.539kN$$

Para el cálculo de radio de giro se utiliza el momento de inercia del perfil en L considerar el eje Y-Y, ya que este eje se considera como pandeo crítico.

$$I = \text{momento de inercia} = 5.56 \text{ pulg}^3$$

$$I = 5.56 \text{ pulg}^3 * \frac{(1\text{m})^3}{(39.3701 \text{ pulg})^3} = 9.11 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$A = 3.75 \text{ pulg}^2 * \frac{(1\text{m})^2}{(39.3701)^2} = 2.42 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{9.11 * 10^{-5} \text{ m}^3}{2.42 * 10^{-3} \text{ m}^2}}$$

$$r = 0.194 \text{ m}$$

Con el dato obtenido se puede calcular la longitud efectiva este dato es obtenido con la siguiente fórmula.

$$L_e = K * L$$

$K =$ constante de los extremos fijados.

$L =$ longitud real de la columna.

Tipos de pandeo en columnas

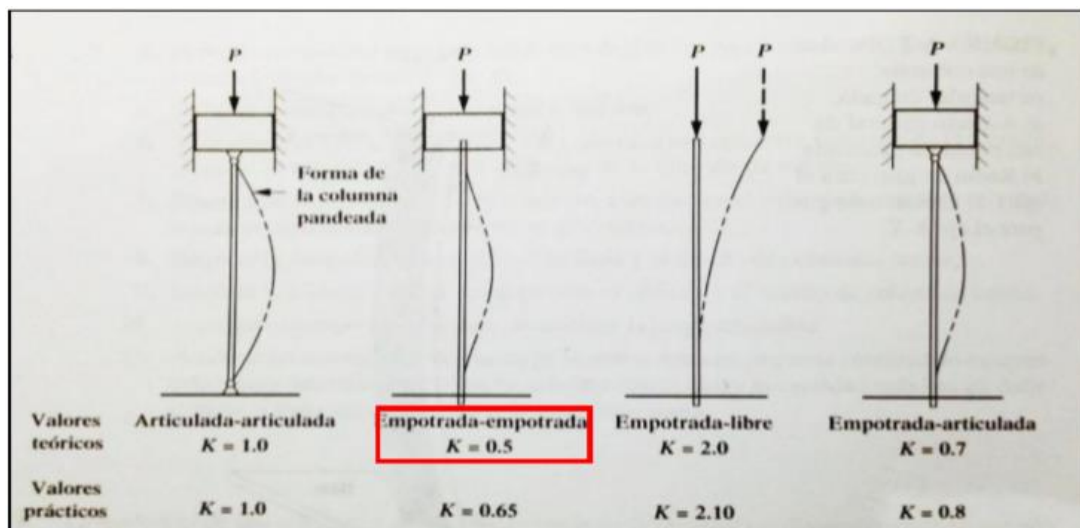


Figura 61. Valores de K para obtener la longitud efectiva tomada de «Diseño de elementos de máquinas» de Mott. 2006. p. 234.

Con la ayuda de la figura y en la columna empotrada-empotrada se procede a calcular la longitud efectiva.

$$L_e = 0.5 * 0.8 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$$

La esbeltez real está dada por la siguiente fórmula.

$$R_E = \frac{L_e}{r} = \frac{0.4m}{0.194m} = 2.062$$

Para determinar la relación de esbeltez de transición se debe considerar cuando una columna es relativamente larga.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

$E =$ módulo de elasticidad del material de la columna

$S_y =$ resistencia a la fluencia de material

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200MPa}{250MPa}} = 3.9738$$

Para considerar si una columna es larga o corta se aplican las siguientes reglas.

- La relación de esbeltez efectiva real $\frac{L_e}{r}$ es mayor que C_c , entonces la columna es considerada larga y para analizarla debe utilizar la fórmula de Euler.
- La relación real $\frac{L_e}{r}$ es menor que C_c , la columna es considerada corta, en este caso se debe utilizar la fórmula de J.B. Johnson.

Se compara la relación de esbeltez transición con la relación de esbeltez real.

$$R_E = 2.062 < C_c = 3.9738$$

La relación de esbeltez real es mayor que la constante de columna, por tanto, se asume como columna corta, dado las reglas se emplea la fórmula de J.B. Johnson.

$$P_{cr} = A * S_y * \left[1 - \frac{S_y \left(\frac{K * L}{r} \right)^2}{4\pi^2 * E} \right]$$

$P_{cr} =$ carga crítica de pandeo

$A =$ área transversal

$E =$ módulo de elasticidad del material de la columna

$$R_E = \frac{L_e}{r} = \text{relación de esbeltez} = \frac{K * L}{r}$$

Reemplazando en la fórmula

$$P_{cr} = 2.42 * 10^{-3} m^2 * 250MPa * \left[1 - \frac{250MPa(2.062)^2}{4\pi^2 * 200MPa} \right]$$

$$P_{cr} = 523.55N$$

$$F.S. = \frac{P_{cr}}{P_{real}} = \frac{523.55N}{1176N} = 0.4451 * 100 = 44.51$$

Después del cálculo el factor de seguridad es de 44.51 lo que indica que la columna no sufrirá pandeo, no tendrá ninguna falla por cargas sometidas en la estructura principal.

☐ Factor de seguridad

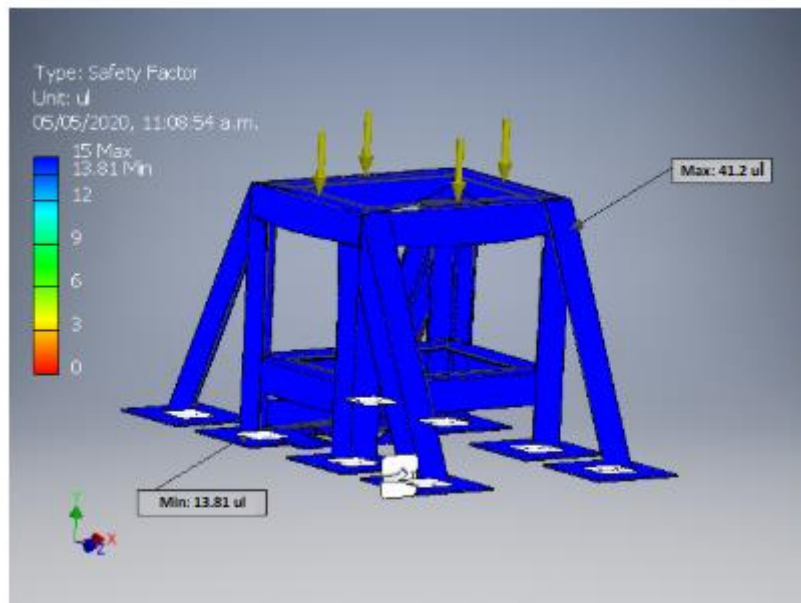


Figura 62. Análisis de factor de seguridad con software Inventor 2018

5.10 ANÁLISIS DE CORDÓN DE SOLDADURA

El análisis del proceso de soldadura, implica la selección correcta del material de aporte a usarse como comprobar la calidad de cordones estas determinarán si son capaces de soportar las fuerzas afectadas en la estructura; para realizar el análisis se considera algunos parámetros que posteriormente servirán para la comprobación de la calidad de soldeo.

Los requerimientos de calidad de soldadura están recogidos de las normas y códigos de soldadura internacional. Estos requerimientos mínimos también llamados niveles de aceptación varían en función al objetivo que tenga la soldadura.

Imagen N° 56 factores geométricos para el análisis de soldadura

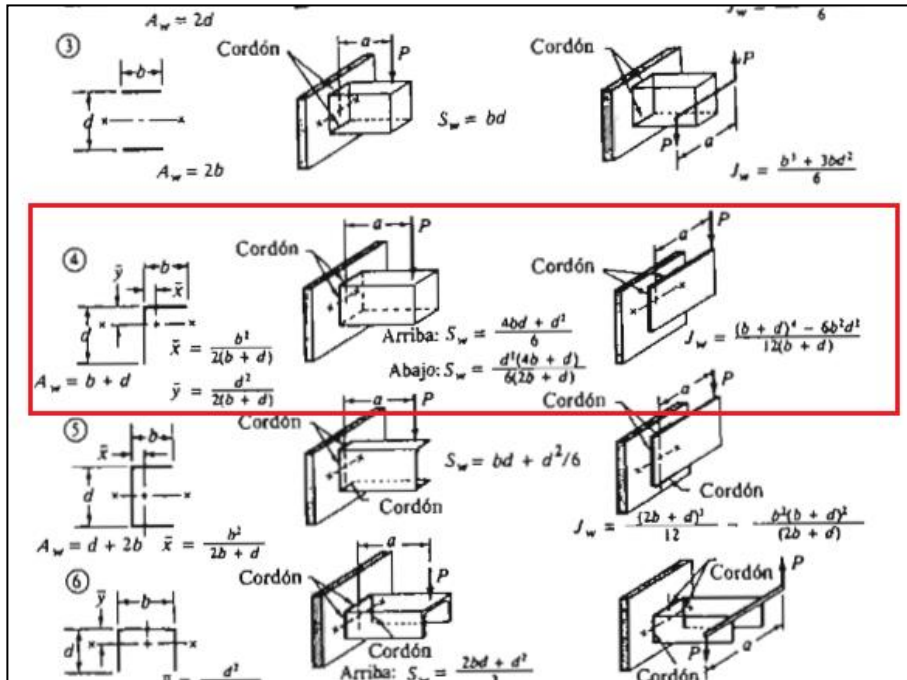


Figura 63. Factores geométricos para el análisis de soldaduras, tomada de «Diseño de elementos de máquinas» por Mott. 2006. p. 786

El procedimiento indica la selección correcta del factor geométrico y el tipo de carga al que está sometido, el tipo de perfil de diseño L, según la figura anterior seleccionamos el ítem 4 para los cálculos siguientes.

El perfil soldado L soportará la carga del motor eléctrico, esta carga genera una flexión como se muestra en la figura posterior.

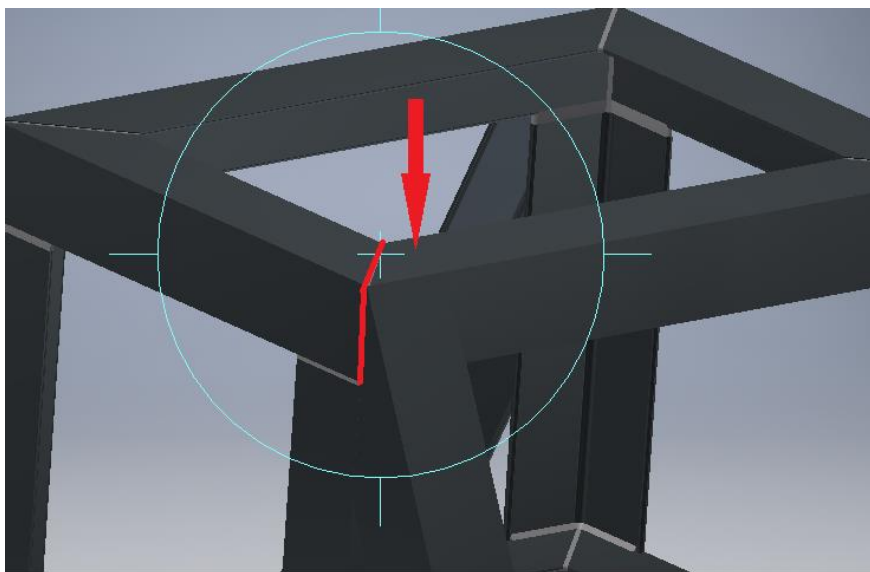


Figura 64. Flexión ejercida por el motor

5.10.1 Cálculo factores geométricos

$$S_w = \frac{4bd + d^2}{6}$$

b = altura de perfil L = 4pulg.

d = ancho de perfil L = 4pulg.

$$S_w = \frac{4(4\text{pulg})(4\text{pulg}) + 4^2}{6} = 13.3\text{pulg}^2$$

Momento flector ejercido por el motor

Datos de motor eléctrico

$$rpm = 1765$$

$$Potencia = 30hp * \frac{746w}{1hp} = 22380w = 22.38Kw$$

$$T = \frac{9550 * P}{rpm}$$

$$T = \frac{9550 * 22.38}{rpm1765} = 0.121kNm$$

$$M = V(\text{carga}) * a \text{ (distancia soldadura a la carga)}$$

Fuerza generada por los componentes de la trituradora=0.96kNm

Fuerza generada por corte de neumático=2.455kNm

$$M_{generada \text{ por el motor}} = 0.121kNm$$

$$M_{total} = 0.121kNm + 0.96kNm + 2.455kNm$$

$$3.536kN * \frac{224.809\text{lb}f}{1kN} * \frac{39.3701\text{pulg}}{1m} = 31296.18\text{lbpulg}$$

Fuerza ejercida por la flexión.

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{8921.55\text{lbpulg}}{13.3\text{pulg}^2} = 2353.09 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}}$$

Con los cálculos obtenidos se selecciona el material de aporte adecuado para la soldadura según el grado de material base A36, A441, la selección del electrodo E60.

Tabla 34. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldadura

| Tipos de estructura | Grado ASTM del metal base | Electrodo | Esfuerzo cortante admisible | Fuerza admisibles por pulgada de lado |
|--------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Estructuras de edificios | A36, A441 | E60 | 13 600 psi | 9 600 lb/pulg |
| Estructuras de edificios | A36, A441 | E70 | 15 800 psi | 11 200lb/pulg |
| Estructuras de puentes | A36 | E60 | 12 400 psi | 8 800 lb/pulg |
| Estructuras de puentes | A441, A242 | E70 | 14 700 psi | 10 400 lb/pulg |

Nota: ASTM: asociación americana de ensayo de materiales; E: electrodo; psi: libras por pulgada cuadrada; lb/pulg: libras por pulgada; tomado de Mott R. Diseño de elementos de máquinas., 2006 P. 785.

Desplazamiento

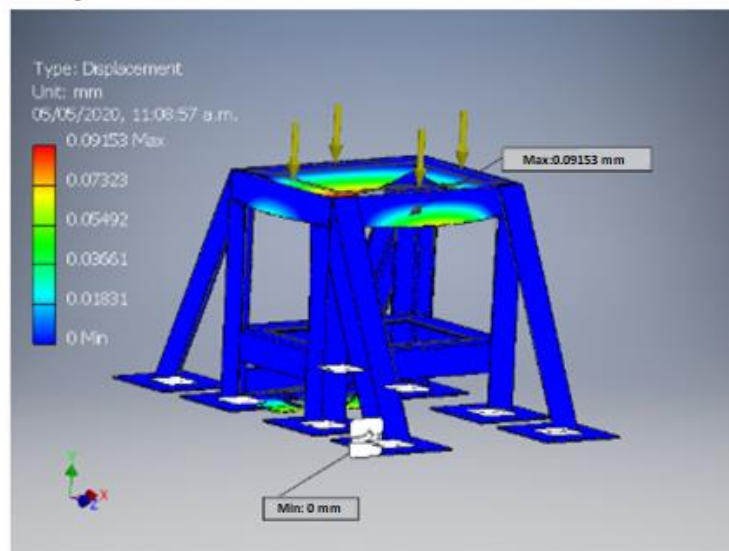


Figura 65. Desplazamiento máximo análisis software inventor 2018

5.10.2 Longitud de cordón mínimo de soldadura.

$$w = \frac{f_b}{\text{fuerza admisible por pulgada de lado}}$$

$$w = \frac{\text{lb/pulg}}{9600 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}} \text{ por pulgada de lado}} = 0.25 \text{ pulg}$$

$$w = 0.07 \text{ pulg} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}} = 6.22 \text{ mm}$$

Este dato se aproxima a un hilo normalizado

$$w = 6.22 \text{ mm} \cong \frac{1}{4} \text{ pulg}$$

5.11 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE CUÑA

Diametro de eje = 90mm = 3 1/2"

Longitud de eje = 1200mm

Tipo de acero = 4140

El diámetro de eje diseñado es de 3 1/2" por tanto se utiliza de la fila 3 1/4" a 3 3/4"

TABLA 11-1 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

| Tamaño nominal del eje | | Tamaño nominal de la cuña | | |
|------------------------|---------------|---------------------------|-----------|-------------|
| Más de | Hasta (incl.) | Ancho, W | Altura, H | |
| | | | Cuadrada | Rectangular |
| 5/16 | 7/16 | 3/32 | 3/32 | |
| 7/16 | 9/16 | 1/8 | 1/8 | 3/32 |
| 9/16 | 7/8 | 3/16 | 3/16 | 1/8 |
| 7/8 | 1 | 1/4 | 1/4 | 3/16 |
| 1 1/8 | 1 1/8 | 5/16 | 5/16 | 1/4 |
| 1 1/8 | 1 1/4 | 3/8 | 3/8 | 1/4 |
| 1 1/4 | 2 1/4 | 1/2 | 1/2 | 3/8 |
| 2 1/4 | 2 1/2 | 5/8 | 5/8 | 7/16 |
| 2 1/2 | 3 1/4 | 3/4 | 3/4 | 1/2 |
| 3 1/4 | 3 1/2 | 7/8 | 7/8 | 5/8 |
| 3 1/2 | 4 1/2 | 1 | 1 | 3/4 |
| 4 1/2 | 5 1/2 | 1 1/4 | 1 1/4 | 7/8 |
| 5 1/2 | 6 1/2 | 1 1/2 | 1 1/2 | 1 |
| 6 1/2 | 7 1/2 | 1 3/4 | 1 3/4 | 1 1/8 |
| 7 1/2 | 9 | 2 | 2 | 1 1/2 |
| 9 | 11 | 2 1/2 | 2 1/2 | 1 3/4 |
| 11 | 13 | 3 | 3 | 2 |
| 13 | 15 | 3 1/2 | 3 1/2 | 2 1/2 |
| 15 | 18 | 4 | | 3 |
| 18 | 22 | 5 | | 3 1/2 |
| 22 | 26 | 6 | | 4 |
| 26 | 30 | 7 | | 5 |

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Figura 66. Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje, tomado de «Diseño de elementos de máquinas» por Mott, 2006. p. 495

Según la figura anterior el tamaño nominal de cuña seleccionado tiene un ancho de ($W = \frac{7}{8}$ de pulgada), y una altura normalizada de $H = W$, cuña cuadrada.

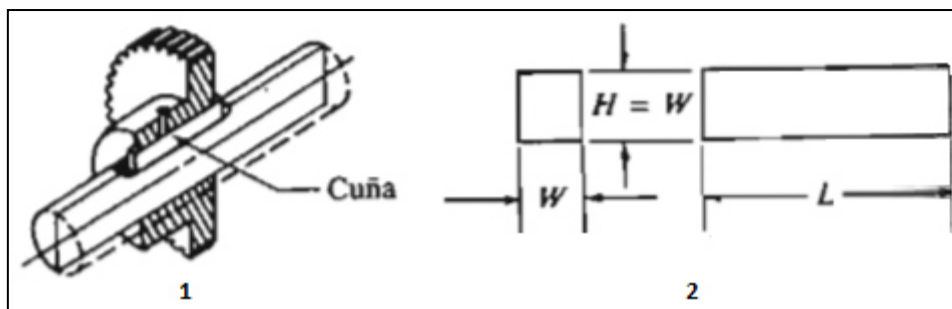


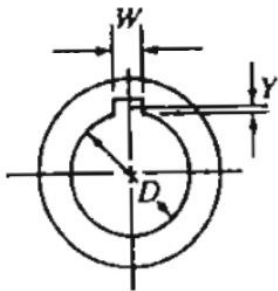
Figura 67. Cuña (1), cuña cuadrada (2), «Diseño de elementos de máquinas» por Mott, 2006. p. 460

$$W = \frac{7}{8} \text{ pulg.} = 22.22 \text{ mm}$$

Con los datos calculados de ancho y altura de la cuña, procedemos a calcular la altura de cuerda (Y), profundidad de cuñero en el eje (S), Profundidad de cuñero en el cubo (T).

x|

5.11.1 Altura de la cuerda (Y)



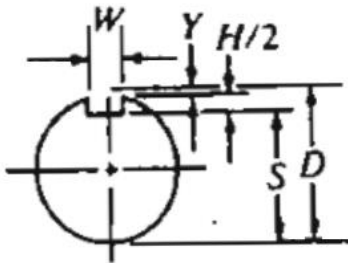
$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$

D = Diámetro nominal de eje o de barreno en pulg.

W = Ancho nominal de la cuña, pulg.

$$Y = \frac{90 \text{ mm} - \sqrt{(90 \text{ mm})^2 - (22.22 \text{ mm})^2}}{2} = 1.39 \text{ mm}$$

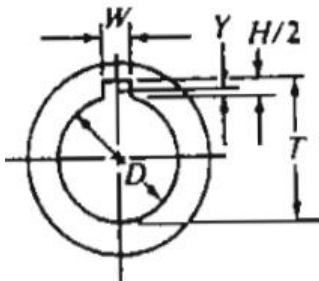
5.11.2 Profundidad del cuñero en el eje (S)



$$S = D - Y - \frac{H}{2} = \frac{D - H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$

$$S = 90 \text{ mm} - 1.39 - \frac{22.22}{2} = 77.5 \text{ mm}$$

5.11.3 Profundidad de cuñero de cubo (T)



$$T = D - Y + \frac{H}{2} + C = \frac{D + H + \sqrt{D^2 + W^2}}{2} + C$$

C = Margen

+ holgura de 0.005 pulgadas para cuñas paralelas

- interferencia de 0.0020 pulg. Para cuñas inclinadas

$$T = 90 \text{ mm} - 1.39 \text{ mm} + \frac{22.22 \text{ mm}}{2} + 0.127 \text{ mm} = 99.847 \text{ mm}$$

5.12 ANÁLISIS DE CAJA DE TRITURACIÓN

Uno de los componentes críticos de la máquina trituradora es la caja de trituración que soporta los componentes (eje porta – cuchillas, cuchillas, rodamientos, chumaceras, polea, contrapeso, caja superior de trituración) en consecuencia se realiza el análisis de resultados.

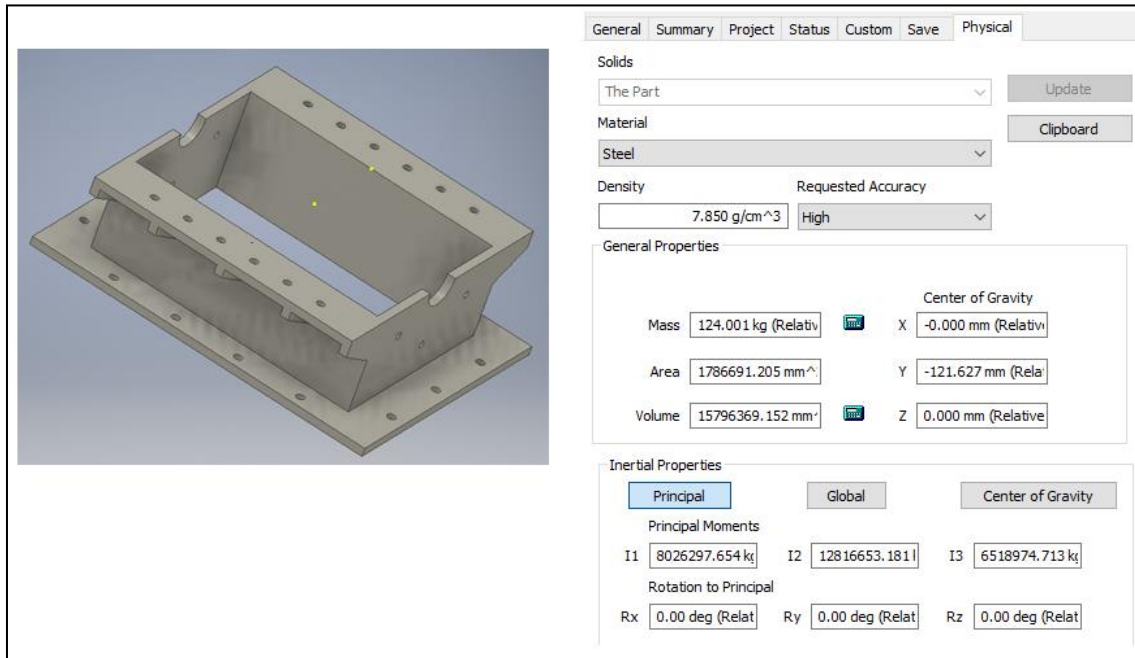


Figura 68. Caja de trituración inferior propiedades del tipo de acero

La caja está fabricada de acero semidulce, a continuación, se detallan algunas características

Tabla 35. Características del acero semidulce

| % de Carbono | 0.35% |
|---------------------------|--------------------------|
| Resistencia mecánica | 55-62 kg/mm ² |
| Dureza | 150 – 170 HB |
| Resistencia a la tensión | 46-55 kg/mm ² |
| Resistencia a la fluencia | 28-32 kg/mm ² |

Nota: kg/mm²: kilogramos por milímetro cuadrado; HB: dureza brinell tomado de <https://www.caracteristicas.co/acero/>

Alguna aplicación de este tipo de acero se usa en ejes, elementos de máquinas, piezas resistentes y tenaces, pernos, tornillos, herrajes.

Fuerzas ejercidas sobre la caja:

| | |
|--|------------|
| Fuerza ejercida por eje y porta cuchilla | = 1038.8 N |
| Fuerza ejercida por las 5 cuchillas | = 217.83 N |
| Fuerza ejercida por pernos de sujeción (30 unidades) | = 88.2 N |
| Fuerza ejercida por la Polea | = 291.35 N |
| Fuerza ejercida por el contrapeso | = 371.79 N |
| Fuerza ejercida por efecto de corte de caucho | = 2455.17N |
| Total, carga ejercida sobre caja inferior porta rodamiento | = 4463.14N |
| Fuerza ejercida por caja superior | = 547.44N |
| Fuerza ejercida por la tolva de alimentación | = 215.6N |
| Total, de carga ejercida sobre la caja inferior | = 763.04N |

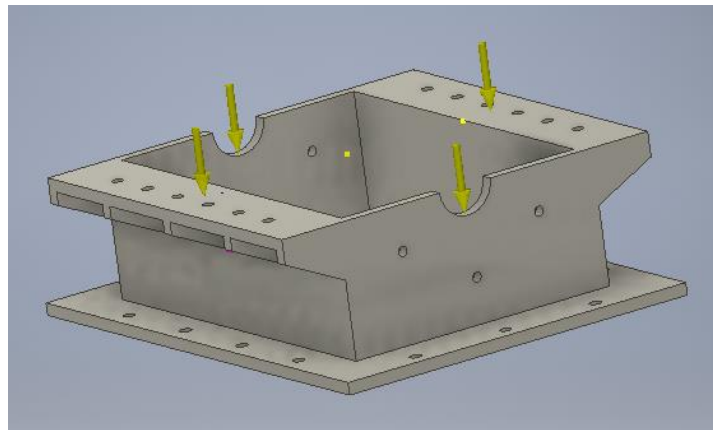


Figura 69. Fuerzas aplicadas sobre la caja inferior

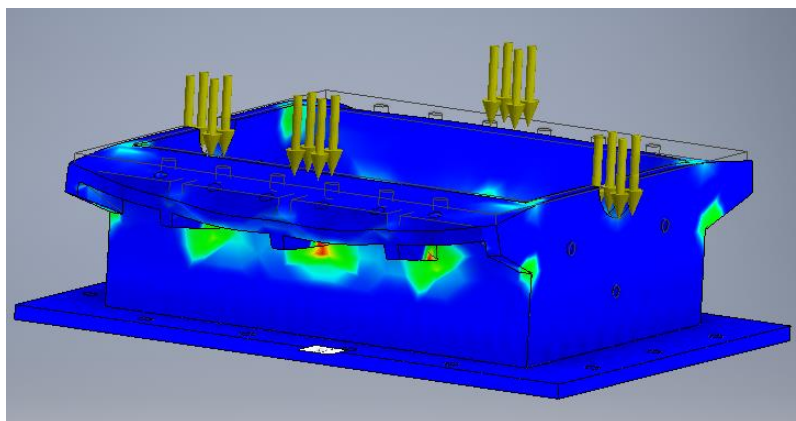


Figura 70. Esfuerzos ejercidos sobre caja principal

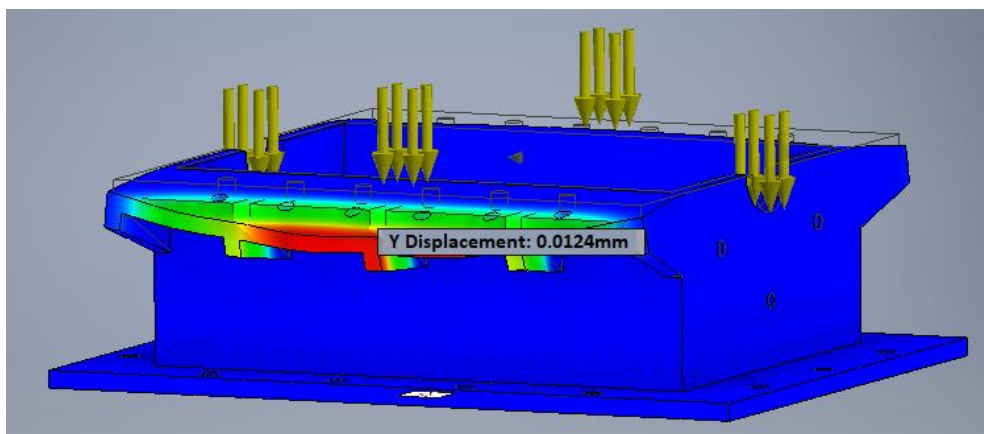


Figura 71. Desplazamiento ejercido sobre la caja principal

El resultado del análisis de deformación máxima en la caja inferior es de 0.0124 mm. este punto está deformado por efectos de corte de cuchillas; en conclusión, la fuerza ejercida sobre la caja inferior no afecta la operación continua de la máquina por lo tanto es un valor aceptable, el soporte de rodamiento en ambos lados soportan el eje – porta cuchillas obteniendo un máximo de esfuerzo de 32.12Mpa alrededor de los agujeros que soportan los porta rodamientos. El valor de esfuerzo a la fluencia del material es de 193.053MPa, con este valor se calcula el factor de seguridad.

El factor de seguridad obtenido es relativamente alto porque se están usando planchas de acero en forma triangular que sirve de soporte de base y resistencia al momento de corte del caucho.

5.13 DISEÑO DE TOLVA

La tolva de alimentación solo cumple la función de alimentación del gránulo de caucho alimentado en forma manual proveniente de la segunda trituradora, debido a que es un componente que no está ejercido por fuerzas externas no se realizará el cálculo de análisis de estructura.

Las dimensiones de la tolva se acondicionarán a medidas de la base superior de la caja de trituración cabe mencionar que tendrá que respetar espesores suficientes para soportar la estabilidad y posibles vibraciones generadas por el funcionamiento de la trituradora.

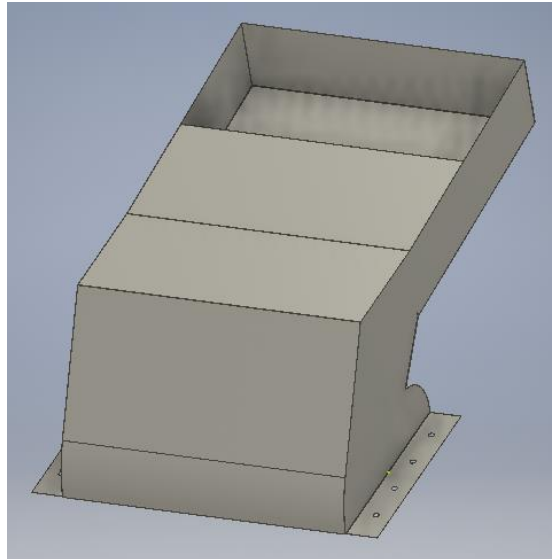


Figura 72. Tolva de alimentación

5.14 SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE MOTOR ELÉCTRICO

La configuración de la trituradora hace que se requiera un motor eléctrico trifásico controlado por arranque secuencial para poder reducir el costo de energía eléctrica, el sistema de transmisión de potencia se realiza a través de 3 faja en V.

Por cálculos realizados anteriormente se cumplirá los requerimientos que se detallan a continuación:

Tabla 36. Requerimiento de máquina trituradora

| | |
|--|--|
| Potencia requerida eje porta cuchillas | 26.4 HP |
| Velocidad de motor | 1765rpm |
| Torque requerido | 120 KN |
| Condiciones de trabajo | Tipo de motor: Eléctrico trifásico con alimentación de 440 V. Potencia de motor: 30HP Trabajo continuo: 4 horas/día Temperatura de trabajo: 15-40°C |

5.15 SEGURIDAD Y PRECAUCIONES ANTES Y DURANTE EL ARMADO

El montaje de partes de la máquina puede provocar lesiones personales y daños materiales lea las recomendaciones antes de iniciar el armado:

- Utilice los implementos de seguridad básicos (zapatos de seguridad, lentes de seguridad, guantes de cuero)
- No trabaje solo, los componentes a instalar sobrepasan los 20 kg. solicite ayuda para el proceso de montaje.
- Para levantar componentes pesados utilice un dispositivo de elevación.
- Mantenga una distancia prudente al tener carga suspendida.
- Instale todas las guardas de protección para evitar daños por arranques repentinos.
- Las instalaciones eléctricas deben ser realizadas por electricistas especializados con reglamentaciones locales, nacionales e internacionales.
- Todas las instalaciones eléctricas deben tener una conexión a tierra para evitar descargas imprevistas.
- Se recomienda que durante el proceso de mecanizado, soldadura y armado de la máquina sea supervisado para evitar daños personales y al equipo.

5.16 MANUAL DE MECANIZADO Y MONTAJE

Este manual corresponde al procedimiento de montaje de componentes de la máquina trituradora de neumáticos, el procedimiento de armado de componentes dura aproximadamente 24 horas, con apoyo de planos y documentación técnica para el funcionamiento correcto de la máquina trituradora.

Debido a la infinidad de procedimientos y herramientas, se utilizan normalmente combinaciones de técnicas de armado, es indispensable poseer cierta experiencia y conocimiento de mecánica, máquinas herramientas, ajustes. En cuanto a la electricidad y control de mando, se desestima su explicación pues no constituye parte del proyecto de diseño de la máquina trituradora de caucho y neumáticos en desuso.

Esta máquina posee un conjunto de componentes que interrelacionados entre sí tienen la finalidad de triturar caucho con granulometría entre 2 a 5 mm; posee un mecanismo de transformación de energía y movimiento entre sus componentes.

Para la optimización del procedimiento de armado se requiere que los componentes tengan los ajustes indicados en los capítulos anteriores, y que las piezas tengan que ser acoplados correctamente se exige todas las tolerancias en el proceso de fabricación de los componentes de la trituradora.

Para el mecanizado y ajuste se proporciona una combinación de tolerancia respecto a las cotas nominales descritos en los planos, para cada componente existe un valor determinado.

Se hace referencia que el eje soportará cargas variables o alternantes con picos de cargas repentinas por la presencia de hilos de alambre contenidos en los neumáticos en desuso, estas cargas producen vibraciones en aplicaciones con altas velocidades, por lo tanto los diseñadores de máquinas recomiendan interferencia en ambos aros interior y exterior, no obstante, un ajuste flojo puede ocasionar un desgaste prematuro o un agarrotamiento entre las piezas por generar un deslizamiento entre ambas piezas.

Condiciones de giro de rodamientos

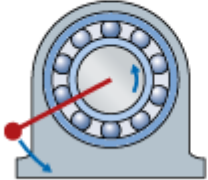
| Condiciones de funcionamiento | Ilustración esquemática | Condición de carga | Ajustes recomendados |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Aro interior giratorio |  | Carga fija sobre el aro interior | Ajuste de interferencia para el aro exterior |
| Aro exterior fijo | | Carga giratoria sobre el aro exterior | Ajuste de interferencia para el aro exterior |

Figura 73. Configuración de rodamiento, tomada de «Rodamientos» por Grupo SKF. 2015, p. 325.

El aro del rodamiento se deforma de manera proporcional a la carga, las cargas sometidas en el aro interior pueden aflojar el ajuste de interferencia entre el aro interior y el eje por tanto se genera un deslizamiento axial sobre el eje, mientras más carga se ejerce sobre el eje debe tener un ajuste de interferencia mayor. Para este caso se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta = 2.5 * \sqrt{F_r \frac{d}{B}}$$

$$\Delta = \text{interferencia requerida } [\mu\text{m}]$$

$$d = \text{diámetro del agujero del rodamiento } [\text{mm}]$$

$$B = \text{ancho del rodamiento} [\text{mm}]$$

$$F_r = \text{carga radial } [\text{kN}]$$

$$\Delta = 2.5 \sqrt{21.05kN \frac{90mm}{125mm}}$$

$$\Delta = 9.7\mu m$$

Después de haber obtenido la tolerancia en micras se recomienda maquinar el eje con una tolerancia de 90m6, según calidad de tolerancias de fabricantes de máquinas.

Tabla 37. Ajustes y tolerancias en procesos mecanizados

| Calidades de la tolerancia | 0 1 2 3 4 | | | | 5 6 7 8 9 10 11 | | | | | | 12 13 14 15 16 | | | |
|----------------------------|--------------|---|--|--|-----------------|---|--|--|--|--|----------------|---|--|--|
| | Aplicaciones | Calidades y piezas de gran precisión Elementos de control para procesos de fabricación (calibres y galgas) | | | | Piezas mecanizadas y ajustadas para construcción de máquinas industriales | | | | | | Tolerancias de acabado para piezas no ajustadas. Piezas en bruto, laminadas, estiradas, forjadas o fundidas | | |

Nota: En todo proceso de fabricación mecánica es necesario el uso de planos y gráficas para su fabricación.
Tomado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn19.html>

5.17 MONTAJE DE MOTOR ELÉCTRICO SOBRE BASE

- Ubicar la base principal en un lugar plano utilice niveles, las tolerancias de nivelado deberán estar en el rango de 1.5mm al ancho y 2.5mm a lo largo de la estructura.
- Limpie las partes en contacto de los componentes a instalar.
- Instale cuidadosamente el motor eléctrico sobre la base del motor.
 - o Instale los cuatro pernos de anclaje del motor.
 - o Ajuste moderadamente los pernos y asegúrese el deslizamiento del motor para el posterior templado de las bandas en forma V.

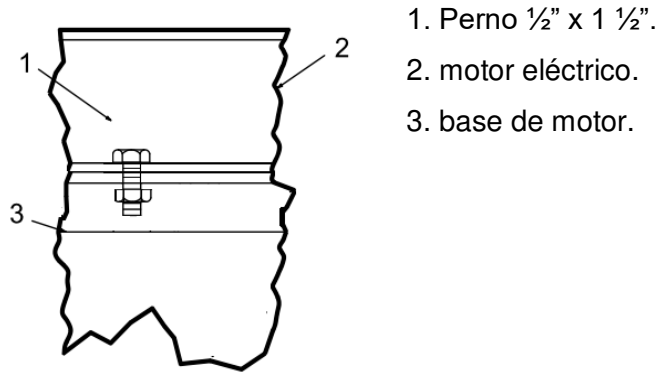


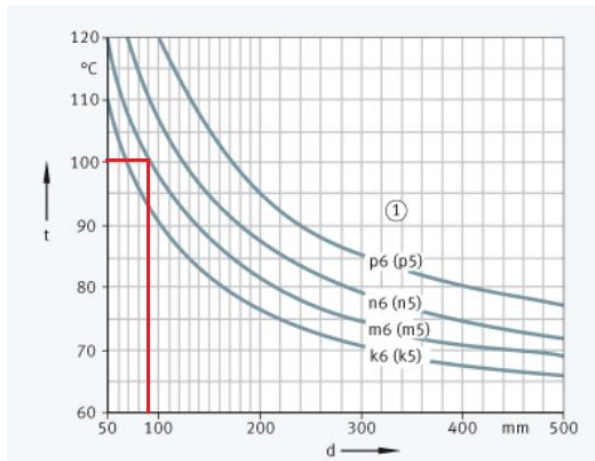
Figura 74. Ajuste de perno base de motor - estructura principal

- Coloque la caja inferior de la máquina trituradora sobre la base principal, utilice un dispositivo de elevación (peso de la caja inferior 124 kg.)
- Instale los 14 pernos de sujeción.
- Coloque un nivel a largo de la caja superior, asegúrese de obtener el nivel correcto, utilice platinas para el correcto nivel.
- Ajusté los pernos de 5/8" (grado 6) a un torque de 167lb/pie

5.18 MONTAJE DEL CONJUNTO PORTACUCHILLA Y RODAMIENTOS

Los rodamientos son elementos de alta calidad que necesita una manipulación cuidadosa, debido a que su instalación requiere ciertas tolerancias, lubricación y precisión al momento de la instalación, a continuación, se detalla el procedimiento de montaje de rodamiento:

- Compruebe la medida de alojamiento utilizando un instrumento de precisión (micrómetro).
- Asegúrese que el eje y el alojamiento de rodamiento tengan un chaflán de 10° hasta 15°.
- Antes del montaje caliente los rodamientos según la figura indicada con tolerancia m6



$d =$ diámetro del rodamiento
 $t =$ temperatura de calentamiento

Figura 75. Selección de tolerancia, tomada de «Rodamientos» por Grupo SKF. 2015, p. 149.

- Coloque una película de aceite de montaje LHM 300 en el eje porta –cuchillas.
- Instale el rodamiento deslice suavemente hasta la distancia correcta indicado en los planos anexados.
- Proceda a instalar la brida porta rodamiento en eje en ambos lados del eje porta cuchillas.

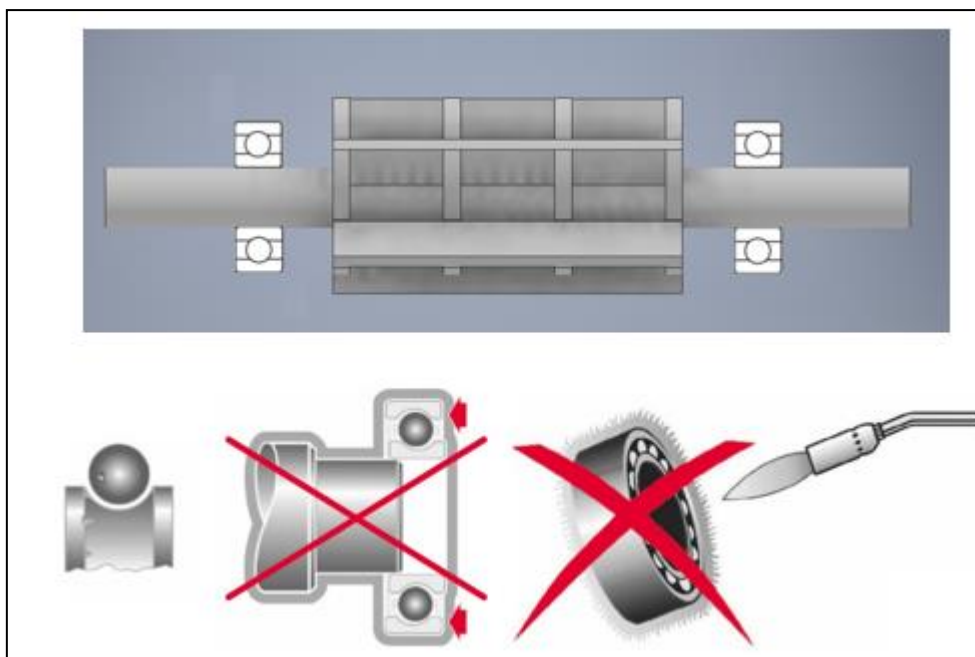


Figura 76. Procedimientos incorrectos de instalación de rodamientos adaptado de https://www.rodunion.es/media/imagenes/Catalogos/Rodamientos%20y%20accesorios/FAG/Montaje_rodamientos_WL801003_SB_0603%20.pdf

5.19 MONTAJE SOBRE PORTACUCHILLA POLEA Y CONTRAPESO

Para generar movimiento en el eje porta – cuchillas, se requiere de un mecanismo de articulación como la polea, esta rueda esta conectada a través de una correa en forma V; a continuación, se detalla el procedimiento de montaje de polea y contrapeso.

- Compruebe la medida de alojamiento utilizando un instrumento de precisión (micrómetro).
- Limpie y desengrase las superficies de las caras internas de la polea.
- 3. Coloque el eje porta cuchillas sobre una prensa (utilice un mecanismo de levantamiento de carga peso del eje porta cuchilla 116kg.)
- Instale la chaveta sobre la canaleta del eje entre ambos deberá haber juego.
- Coloque la polea sobre el eje y proceda con ejercer presión hidráulica con la prensa sobre la polea, revise el correcto alineamiento.



Figura 77. Prensa hidráulica, tomado de <https://www.pinterest.com/pin/573364596292586524/>

- Apriete uniformemente con la ayuda de una llave hexagonal los espárragos hasta obtener 60 lb/pulg.
- Repita el procedimiento de instalación de polea para instalar el contrapeso sobre el eje porta cuchillas.

5.20 MONTAJE DEL MECANISMO DE CORTE EN CAJA INFERIOR

La base montada sobre la estructura principal requiere de elevación de componentes pesados, este procedimiento genera el peligro de aplastamiento. Asegúrese de utilizar un equipo de izamiento, (275 kg). la manipulación requiere el equipo de protección personal adecuado (zapatos de seguridad, guantes, etc.) solicite ayuda de ser necesario.

- Limpie la carcasa inferior.
- Instale las cuchillas sobre la base porta cuchillas coloque y sujete con tornillos y tuercas (6 unds.) 7/8" x 11/2" ajuste los pernos con un torque de 167lb/pulg. Asegúrese que la distancia de eje y filo tenga la misma distancia en todas las cuchillas uniformemente.
- Instale el conjunto de corte (eje porta cuchillas, rodamientos, brida porta rodamiento, polea, contrapeso).
- Coloque la caja superior por sobre la caja inferior
- Alinee los agujeros de brida porta rodamiento sobre la caja inferior y superior.
- coloque y ajuste los pernos (6 unds.) de sujeción de brida porta rodamiento sobre la caja inferior y superior. (7/8" x 1 1/2" torque de ajuste 167lb/pie)
- Gire suavemente con la mano todo el mecanismo de corte, asegúrese de que gire libremente.

5.21 INSTALACIÓN Y TEMPLADO DE CORREA EN FORMA DE V

Antes de iniciar los procedimientos de instalación de las correas, es imprescindible asegurarse que todos los componentes de la máquina se encuentren en posición fija. Este procedimiento genera el peligro de atrapamiento de dedos asegúrese de utilizar un equipo de protección personal adecuado.

- Verifique la alineación correcta de polea en el eje del motor y el eje de porta cuchilla. (diferencia máxima del eje 0.5 ")

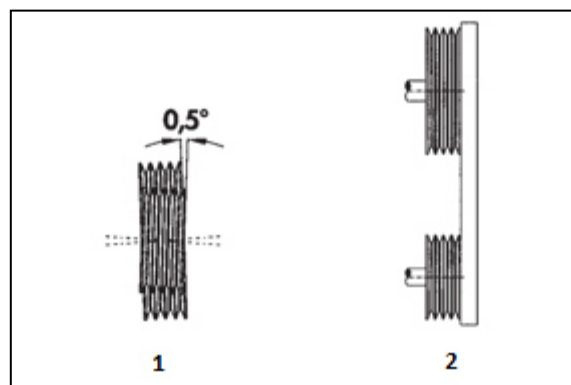


Figura 78. Alineamiento de polea (1), verificación de alineamiento de poleas (2), tomado de <https://www.sedisa.com.pe>

- Instale las correas sin forzarlas, no utilice destornilladores o barras ya que provoca daños externos e internos.
- Verifique el correcto alineamiento de las poleas.

- Aplique la tensión de la correa según las recomendaciones indicados en los anexos.
- Ajuste los pernos de anclaje del motor (1/2" x 1 1/2" x 4 unds.) paralelamente hasta obtener la tensión correcta de la correa. (Torque 60lb/pulg.)
- Verifique el correcto alineamiento después del primer tensado con ayuda de una regla metálica mida las distancias X1, X2 entre las poleas d1 y d2, este dato deberá estar por debajo de los valores permisibles según tabla 71.

| Diámetro de la polea d_{d1}, d_{d2} | Distancia máx. entre centros X_1, X_2 |
|---------------------------------------|---|
| 112 mm | 0,5 mm |
| 224 mm | 1,0 mm |
| 450 mm | 2,0 mm |
| 630 mm | 3,0 mm |
| 900 mm | 4,0 mm |
| 1100 mm | 5,0 mm |
| 1400 mm | 6,0 mm |
| 1600 mm | 7,0 mm |

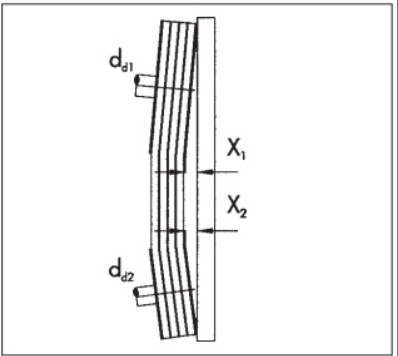


Figura 79. Límites permisibles de desalineación, tomado de <https://www.sedisa.com.pe>

5.22 FLUJO DE PROCESO DE FABRICACIÓN:

Recepción de materia prima: En esta primera etapa, los insumos básicos (perfiles de acero en L, planchas de acero, láminas de acero, motor eléctrico, insumos eléctricos, electrodos) serán recibidos y entregados por los proveedores en el almacén para ser revisados por un supervisor.

Distribución del material por áreas: según la disposición del proceso se divide los materiales para dos grupos distintos, por un lado dedicado a trabajos mecanizados (mecanizado y acabado del eje porta cuchillas) y por el otro trabajo de soldadura en el metal para cortes según diseño y planos.

Selección de diseños, medidas y tamaños: en este sub – proceso se utiliza la materia prima (perfiles de acero, planchas de acero, láminas de acero) para ser pasados por sierra y empezar darle forma a los componentes que posteriormente serán soldados, en esta etapa se utilizará herramientas de medición como reglas metálicas, flexómetro, nivel, medidor de ángulos; es necesario el conocimiento de uso de máquinas herramientas como el esmeril de banco, esmeril de mano, arco y sierra y tener experiencia en cálculos de dimensiones.

Trabajos de Soldadura: este proceso consiste en unir los perfiles previamente cortados a las dimensiones indicadas en planos, establecer la unión soldada entre perfiles para conseguir la base principal, caja inferior, caja superior, bandeja de entrada, bandeja de salida, soporte de motor eléctrico. Es importante realizar una inspección visual y técnica con líquidos penetrantes para verificar el correcto soldeo de todos los materiales.

Taladrado y roscado de agujeros: Los agujeros y roscas internas se consiguen utilizando técnicas de mecanizado, estos procedimientos requieren requisitos de conocimiento de máquinas herramientas como el taladro. Antes de realizar la rosca necesariamente tiene que crearse el agujero a la medida correspondiente, los técnicos tienen que tener un amplio y surtido conocimiento de herramientas de taladrado para poder garantizar la calidad de trabajo.

Acabados: son operaciones que requieren las superficies de los componentes con la finalidad eliminar las imperfecciones dejadas por la soldadura utilizando esmeril de mano para mejorar o modificar el aspecto final de los componentes de la máquina trituradora.

Pulido y pintado: utilizar la técnica del lijado que permite pulir la superficie para eliminar la capa delgada de óxido que se encuentra alrededor de la soldadura y posteriormente la limpieza con un desengrasante y ejecutar el pintado de las superficies utilizando una pintura esmaltado.

Trabajos mecanizados: el equipo de trabajo debe ser adecuado ya que en esta etapa se realizarán trabajos con máquinas herramientas como el torno, taladro tomando en cuenta las dimensiones indicadas en los planos.

Diseño y desbaste de eje porta cuchilla: el torneado es un proceso comúnmente utilizado para darle forma deseada al eje porta cuchillas, por tanto, requiere personal calificado y con experiencia; este proceso lo encargaremos a un taller que cumpla las condiciones de maquinabilidad y tolerancias exigidas por el plano anexado.

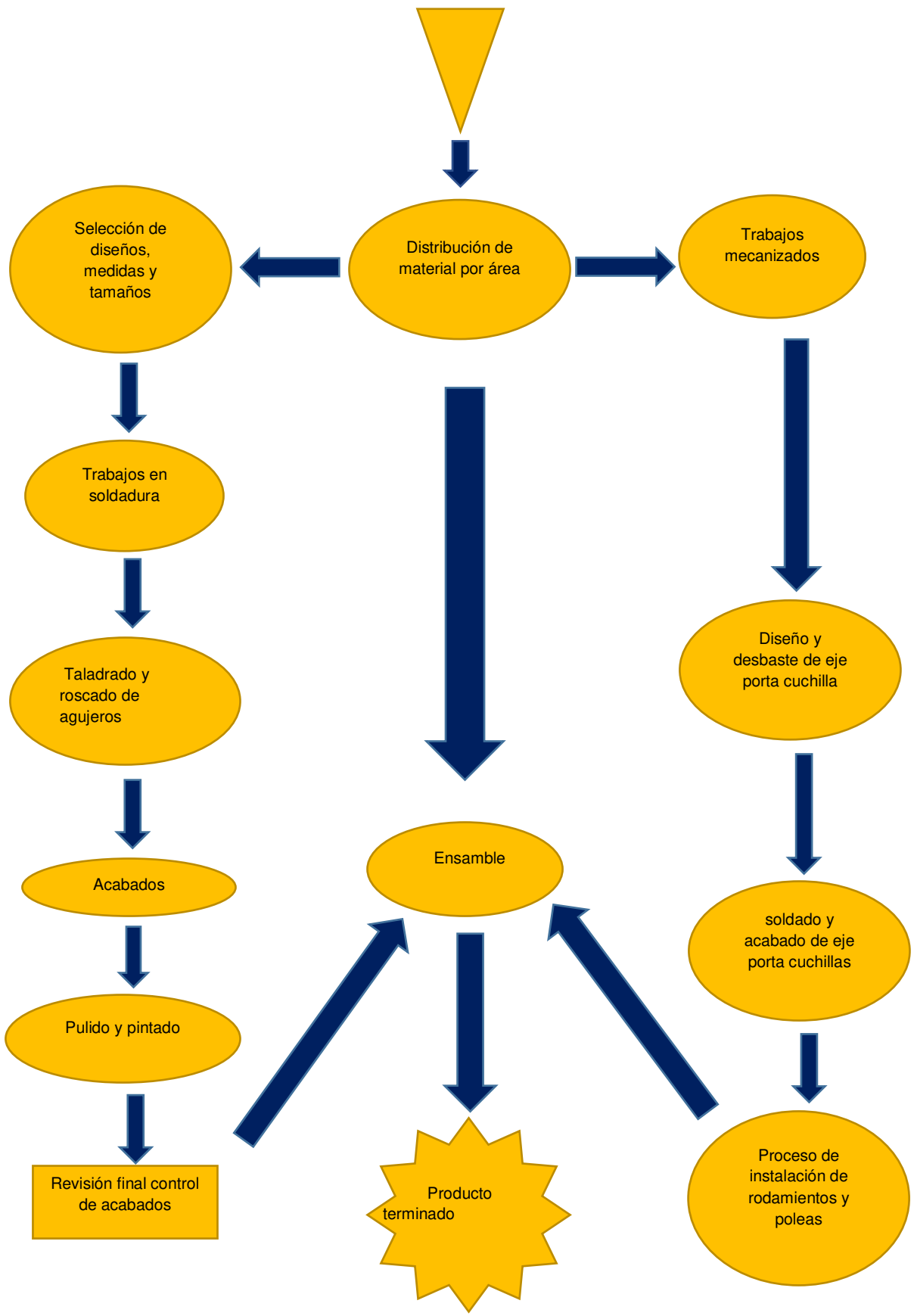
Soldado y acabado de eje porta cuchillas: Antes de iniciar el proceso de soldado de los soportes de cuchillas debe limpiarse para eliminar cualquier

imperfección; posteriormente soldados los soportes de cuchillas se procede con limpiar con un disco de esmeril para rectificar la junta hasta obtener superficies lisas y su posterior inspección visual.

Proceso de instalación de rodamientos y poleas: En esta de instalación de rodamientos y poleas se utiliza prensa hidráulica que también se asignará a un taller con experiencia, en los ítems posteriores indicamos las tolerancias de ajuste para la instalación de rodamientos y poleas.

Ensamble: La etapa final consiste en unir todas las partes con tornillos y pernos de forma secuencial utilizando técnicas de ajuste, el ensamble se realizará con personal técnico mecánico para su posterior lijado y pintado.

Recepción de Materia Prima

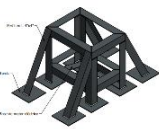

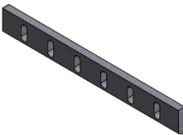



El proceso de manufactura se desarrolla utilizando técnicas de maquinado utilizando personal calificado en uso de máquinas herramientas.

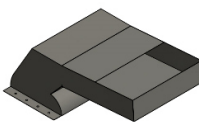
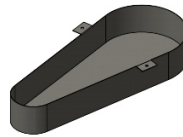

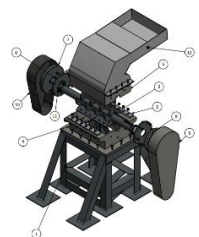
| Elemento | Proceso de manufactura | Material | Observaciones |
|--|---|--|---|
| <p>Base principal</p>  | <p>Corte dimensionado Soldadura Limpieza Pintado</p> | <p>Acero dulce con 0.15% - 0.25% de carbono</p> | <p>Soldadura con electrodo E6011 de 1/8" con amperaje entre 60 y 80 Limpieza con lijar Nro 80 Utilizar pintura acrilica</p> |
| <p>Eje porta cuchillas</p>  | <p>Torneado Soldadura Tratamiento termico superficial</p> | <p>Acero AISI 4340 con baja aleación al cromo, niquel y</p> | <p>Tratamiento termico superficial a 300 °C dureza de 240 - 380 rockwell B</p> |
| <p>Cuchillas</p>  | <p>Corte dimensionado Fresado Taladrado</p> | <p>Acero T-21</p> | <p>Corte utilizando oxicorte Fresado de angulo de corte a 60 ° Tratamiento termico superficial dureza entre 400 - 500 brinell Taladrado de 6 agujeros de 5/8" de diámetro</p> |
| <p>Portarodamiento</p>  | <p>Fundición Taladrado</p> | <p>Hierro fundición gris 100 Cr6 con densidad menor a 6920 kg/m3 y de 2% - 4.5% de carbono</p> | <p>Hierro fundido calentado a 940 °C mantenido entre 3 y 20 h, proceso de enfriamiento a razón de 3 °C a 11 °C por hora</p> |
| <p>Polea Conducida</p>  | <p>Fundición Fresado Torneado Pintado</p> | <p>Hierro fundido ASTM A48 clase 25 a 30, moldeado con arena pre-recubierto</p> | <p>Torneado de canales de polea acabado superficial N6, Proceso de tratamiento superficial: Dureza 170-229 Brinell Fresado de canal chavetero revestimiento de pintura</p> |

| | | | |
|--|---|--|---|
| <p>Contrapeso</p>  | <p>Fundición Fresado Torneado Pintado</p> | <p>Hierro fundido ASTM A48 clase 25 a 30, moldeado con arena pre- recubierto</p> | <p>Torneado con acabado superficial N6, Proceso de tratamiento superficial: Dureza 170-229 Brinell Fresado de canal chavetero revestimiento de pintura</p> |
| <p>Caja Inferior</p>  | <p>Corte dimensionado Fresado Taladrado Soldado Pintado</p> | <p>Acero semi - dulce con espesor de 3/4" con 0.35% de carbono</p> | <p>corte con gas oxiacetilénica, fresado de lados con acabado N8, taladrado de agujeros 5/8", proceso de soldadura con electrodo E6011 de 1/8", pintado acrílico.</p> |
| <p>Caja superior</p>  | <p>Corte dimensionado Fresado Taladrado Soldado Pintado</p> | <p>Acero semi - dulce con espesor de 3/4" con 0.35% de carbono</p> | <p>corte con gas oxiacetilénica, fresado de lados con acabado N8, taladrado de agujeros 5/8", proceso de soldadura con electrodo E6011 de 1/8", pintado acrílico.</p> |
| <p>Tolva de alimentación</p>  | <p>Corte dimensionado Taladrado Soldado Pintado</p> | <p>Plancha metálica ASTM 36 de 3 mm de espesor</p> | <p>Corte con disco, taladrado de agujeros de 13 mm, proceso de soldadura con electrodo E6011 de 1/8", pintado acrílico</p> |
| <p>Protector de polea</p>  | <p>Corte dimensionado Rolado Soldado Pintado</p> | <p>Plancha metálica ASTM 36 de 3 mm de espesor</p> | <p>Corte con disco, rolado, taladrado de agujeros de 13 mm, proceso de soldadura con electrodo E6011 de 1/8", pintado acrílico</p> |
| <p>Protector de contrapeso</p>  | <p>Corte dimensionado Rolado Soldado Pintado</p> | <p>Plancha metálica ASTM 36 de 3 mm de espesor</p> | <p>Corte con disco, rolado, taladrado de agujeros de 13 mm, proceso de soldadura con electrodo E6011 de 1/8", pintado acrílico</p> |

Flujograma de fabricación de componentes de la máquina

| Item | Actividad | Descripción | Tipo de actividad | | | | t (min) |
|------|---|---|-------------------|---|---|----|---------|
| | | | ○ | ➡ | ◇ | ▽ | |
| 1 |  <p>Base principal</p> | Transporte de Material | | X | | | 20 |
| 2 | | Corte de perfiles según medida | X | | | | 120 |
| 3 | | Corte de placas base | X | | | | 30 |
| 4 | | Eliminación de virutas de corte | X | | | | 20 |
| 5 | | Soldar perfiles en L, y bases | X | | | | 180 |
| 6 | | Limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 20 |
| 7 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 10 |
| 8 | | lijado de toda la estructura | X | | | | 20 |
| 9 | | Pintado acrílico | X | | | | 60 |
| 10 |  <p>Eje Portacuchillas</p> | Inspección de acabado | | | | X | 10 |
| 11 | | Transporte de eje | | X | | | 20 |
| 12 | | Torneado al diámetro según plano | X | | | | 120 |
| 13 | | Fresado de alojamiento de chaveta | X | | | | 60 |
| 14 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 20 |
| 15 | | Corte de bases de cuchillas | X | | | | 120 |
| 16 | | Taladrado de agujeros 5/8" | X | | | | 60 |
| 17 | | Eliminación de virutas de corte | X | | | | 10 |
| 18 | | Soldar base de cuchillas a eje | X | | | | 120 |
| 19 | | Tratamiento térmico | | | | X | 600 |
| 20 | | Limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 20 |
| 21 | inspección de acabado | | | | X | 10 | |
| 22 |  <p>Cuchillas</p> | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 23 | | Corte de planchas de acero | X | | | | 120 |
| 24 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 10 |
| 25 | | Taladrado de agujeros ojo chino 5/8" | X | | | | 360 |
| 26 | | Fresado de filo de cuchilla a 60° | X | | | | 480 |
| 27 | | Tratamiento térmico | X | | | X | 600 |
| 28 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 20 |
| 29 | | inspección de acabado | | | | X | 10 |
| 30 |  <p>Porta Rodamiento</p> | Transporte de material a fundir | | X | | | 20 |
| 31 | | Incorporar patron de arena | X | | | | 40 |
| 32 | | Llenar la cavidad del molde con metal fundido | X | | | | 120 |
| 33 | | Dejar enfriar el metal | | | | X | 240 |
| 34 | | Eliminación de virutas de fundición | X | | | | 20 |
| 35 | | Tratamiento térmico | | | | X | 300 |
| 36 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 37 | | Pintado acrílico | X | | | | 60 |

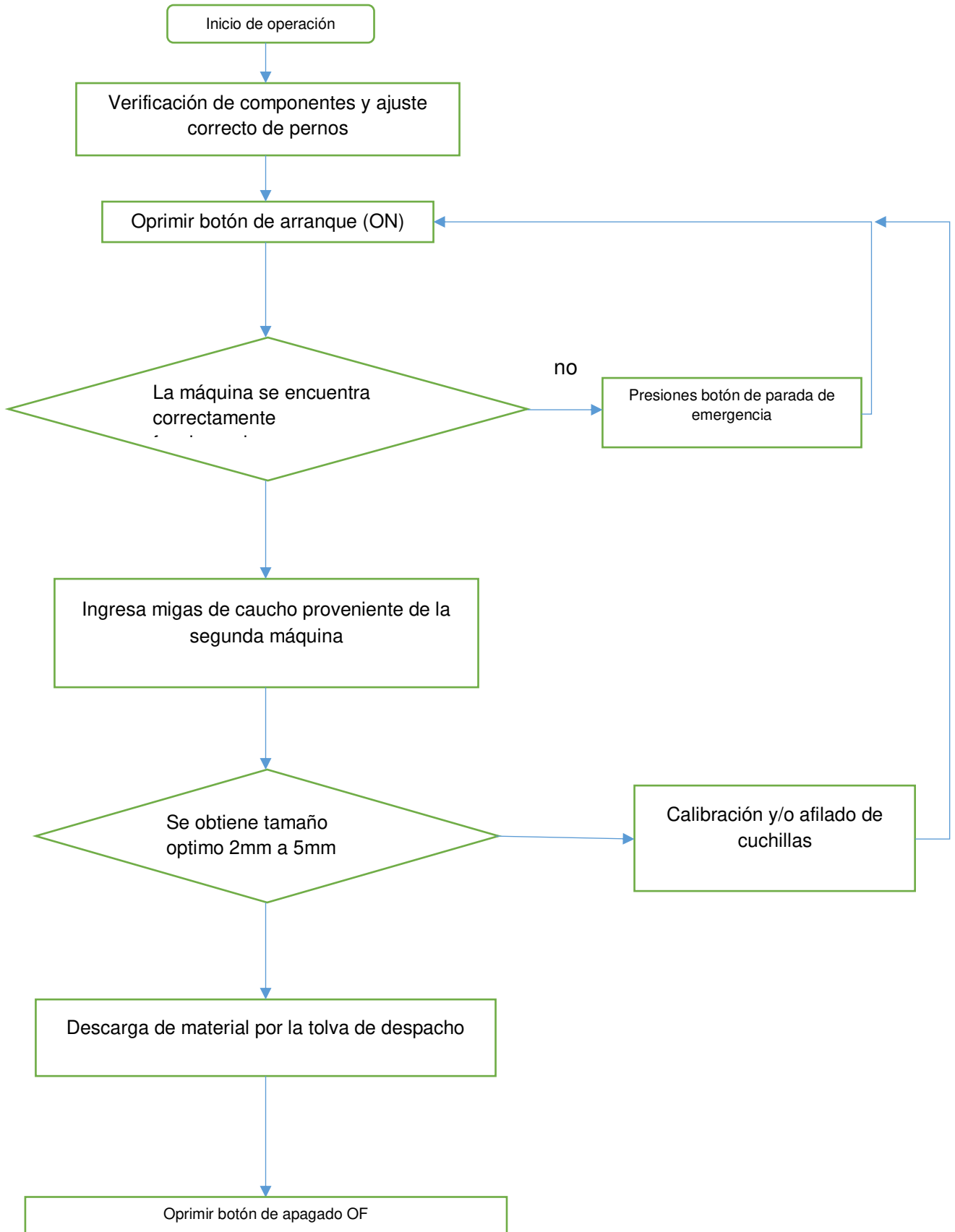
| Item | Actividad | Descripción | Tipo de actividad | | | | t (min) |
|------|---|---|-------------------|---|---|----|---------|
| | | | ○ | ➔ | ◇ | ▽ | |
| 39 |  | Transporte de Materia prima a fundir | | X | | | 20 |
| 40 | | Incorporar patron de arena | X | | | | 40 |
| 41 | | Llenar la cavidad del molde con metal fundido | X | | | | 120 |
| 42 | | | | | | | |
| 43 | | Dejar enfriar el metal | | | | X | 240 |
| 44 | | Eliminación de viruta de fundición | X | | | | 20 |
| 45 | | Torneado de canales de faja | X | | | | 120 |
| 46 | | Fresado de canal chavetero | X | | | | 180 |
| 47 | | Tratamiento térmico | | | | X | 300 |
| 48 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 49 | Pintado acrílico | X | | | | 60 | |
| 50 |  | Transporte de materia a fundir | | X | | | 20 |
| 51 | | Incorporar patron de arena | X | | | | 40 |
| 52 | | Llenar la cavidad del molde con metal fundido | X | | | | 120 |
| 53 | | | | | | | |
| 54 | | Dejar enfriar el metal | X | | | | 240 |
| 55 | | Eliminación de viruta de fundición | X | | | | 20 |
| 56 | | Torneado de acabado superficial | X | | | | 120 |
| 57 | | Tratamiento térmico | | | | X | 300 |
| 58 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 59 | Pintado acrílico | X | | | | 60 | |
| 60 |  | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 61 | | Corte de plancha de acero 3/4" | X | | | | 360 |
| 62 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 30 |
| 63 | | Fresado de canal de eje | X | | | | 60 |
| 64 | | Taladrado de agujeros Ø 5/8" | X | | | | 480 |
| 65 | | Soldado de segmentos | X | | | | 360 |
| 66 | | Limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 60 |
| 67 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 68 | | Pintado acrílico | X | | | | 60 |
| 69 | Inspección de acabado | | | | X | 20 | |
| 70 |  | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 71 | | Corte de plancha de acero 3/4" | X | | | | 240 |
| 72 | | Eliminación de aristas vivas | X | | | | 20 |
| 73 | | Fresado de canal de eje | X | | | | 60 |
| 74 | | Taladrado de agujeros Ø 5/8" | X | | | | 120 |
| 75 | | Soldado de segmentos | X | | | | 120 |
| 76 | | Limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 30 |
| 77 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 78 | | Pintado acrílico | X | | | | 60 |
| 79 | Inspección de acabado | | | | X | 20 | |

| Item | Actividad | Descripción | Tipo de actividad | | | | t (min) |
|------|---|--------------------------------------|-------------------|---|---|----|---------|
| | | | ○ | ➔ | ◇ | ▽ | |
| 80 |  | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 81 | | Corte de plancha metalica 3 mm | X | | | | 60 |
| 82 | | Eliminación de aristas de corte | X | | | | 20 |
| 83 | | Taladrado de agujeros 13 mm | X | | | | 60 |
| 84 | | Doblado de plancha metalica | X | | | | 60 |
| 85 | | soldado de segmentos | X | | | | 120 |
| 86 | | limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 30 |
| 87 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 88 | | Pintado acrílico | X | | | | 120 |
| 89 | | inspección de acabado | | | | X | 20 |
| 90 |  | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 91 | | Corte de plancha metalica 3 mm | X | | | | 60 |
| 92 | | Eliminación de aristas de corte | X | | | | 20 |
| 93 | | Taladrado de agujeros 13 mm | X | | | | 20 |
| 94 | | Rolado y doblado de plancha | X | | | | 60 |
| 95 | | soldado de segmentos | X | | | | 120 |
| 96 | | limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 30 |
| 97 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 98 | | Pintado acrílico | X | | | | 120 |
| 99 | | inspección de acabado | | | | X | 20 |
| 100 |  | Transporte de material | | X | | | 20 |
| 101 | | Corte de plancha metalica 3 mm | X | | | | 60 |
| 102 | | Eliminación de aristas de corte | X | | | | 20 |
| 103 | | Taladrado de agujeros 13 mm | X | | | | 20 |
| 104 | | Rolado y doblado de plancha | X | | | | 60 |
| 105 | | soldado de segmentos | X | | | | 120 |
| 106 | | limpieza de escoria de soldadura | X | | | | 30 |
| 107 | | Limpieza superficial | X | | | | 20 |
| 108 | | Pintado acrílico | X | | | | 120 |
| 109 | | inspección de acabado | | | | X | 20 |
| 110 |  | Transporte de componentes | | X | | | 60 |
| 111 | | Ubicación de base principal | X | | | | 20 |
| 112 | | Montaje de caja inferior | X | | | | 40 |
| 113 | | Montaje de cuchillas sobre eje | X | | | | 120 |
| 114 | | Instalación de rodamientos | X | | | | 120 |
| 115 | | Instalación de porta rodamiento | X | | | | 20 |
| 116 | | Montaje de polea | X | | | | 60 |
| 117 | | Montaje de contrapeso | X | | | | 60 |
| 118 | | Montaje de conjunto porta cuchilla | X | | | | 60 |
| 119 | | Montaje de caja superior | X | | | | 20 |
| 120 | | Instalación de tolva de alimentación | X | | | | 30 |
| 121 | | Instalación de protector de polea | X | | | | 10 |
| 122 | | instalación de protector de | | | | | |
| 123 | | contrapeso | X | | | | 10 |
| 124 | Inspección de montaje y acabado | X | | | X | 20 | |

5.23 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- Es preciso que el técnico operario tenga conocimiento de sistemas de movimiento de componentes y electricidad básica.
- Antes de iniciar el arranque de la maquina, es necesario comprobar el ajuste correcto de los pernos que sujetan las cuchillas y componentes de la máquina.
- Para realizar el proceso de operación utilice protectores auditivos, lentes de protección, ropa de trabajo adecuado, guantes de seguridad, máscara facial.
- No introducir la mano en la tolva de alimentación ya que hay componentes en movimiento y puede ocasionar daños personales.
- Por precaución personal que no está incluido dentro de la operación mantener una distancia mínima de 10 metros de la máquina trituradora.
- El mantenimiento, limpieza, ajustes, montaje y desmontaje de protectores de movimientos solo deberá llevarse a cabo con el motor apagado utilizando dispositivos de bloqueo de energía.
- Cuando lleve a cabo los trabajos de mantenimiento y afilado de cuchillas asegúrese de utilizar herramientas estandarizadas.
- A continuación, se detalla el diagrama de flujo.

5.23.1 Diagrama de proceso de trituración



5.24 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Todos los componentes de la máquina trituradora pueden presentar fallas, por tanto, se requiere un mantenimiento preventivo para el correcto funcionamiento de la máquina trituradora a continuación se detalla rutinas en diferentes tiempos.

Tabla 38. Rutina mantenimiento preventivo

| Frecuencia | Trabajos a realizar |
|---------------------------------|--|
| Cada 24 horas de funcionamiento | <ul style="list-style-type: none"> - Ejecutar inspección visual de fajas de transmisión, observe si tiene agrietamiento o desgaste prematuro. - Lubrique los puntos de engrase de rodamientos de eje porta cuchillas y motor eléctrico. - Limpie la máquina antes de iniciar el arranque de la máquina ya que partículas de caucho evitarían el correcto enfriamiento del motor eléctrico. |
| Una vez por semana | <ul style="list-style-type: none"> - Afile y calibre las cuchillas de corte según el ángulo correcto de corte - Revise el correcto templado de correas de transmisión. - Verifique el correcto ajuste de los pernos de sujeción de las cuchillas de corte si es necesario, corrija el ajuste al torque especificado - Verifique el correcto ajuste de los pernos de sujeción de brida soporte de rodamiento. |
| Cada tres meses | <ul style="list-style-type: none"> - Revise el correcto alineamiento de poleas de transmisión. - Inspeccione polea eje de motor y la polea eje porta cuchillas. - Revise si existe fisura en la estructura. - Revise el desgaste de las cuchillas de corte si es necesario cambie por unas nuevas. |
| Reparación por condición | <ul style="list-style-type: none"> - Estas tareas están acondicionadas en función a las inspecciones visuales. - Si existe fisura en alguna de las partes de la estructura proceder con la reparación con soldadura. - La faja de transmisión es la pieza más importante de la máquina trituradora, por el funcionamiento es normal el desgaste, proceda el cambio cada 12 meses de funcionamiento. |

5.25 MANUAL DE SEGURIDAD:

Las indicaciones de PELIGRO, ADVERTENCIAS, ATENCIÓN para resaltar ciertas instrucciones importantes y críticas. Estará mencionado en el siguiente manual de seguridad y pegados como etiquetas en la máquina.

Peligro: indica una situación inminentemente peligrosa la cual, si no se evita, ocasionará la muerte o una lesión grave. Esta indicación se utiliza para señalar los casos más extremos.

Advertencia: indica una situación potencialmente peligrosa la cual, si no se evita, podría ocasionar la muerte o una lesión grave.

Atención: indica una situación potencialmente peligrosa la cual, si no se evita, podría ocasionar lesiones leves o moderadas; también se usa para advertir en contra de prácticas poco seguras.

El manejo de la máquina solo debe remitirse a personal que cumpla las condiciones de seguridad y calificaciones siguientes:

- Operador calificado y designados que cumplan con los requisitos de pruebas de funcionamiento y de condiciones físicas y mentales.
- Personal de prueba y mantenimiento calificado, cuando sea necesario durante el cumplimiento de sus deberes.
- Supervisor calificado para la operación de la máquina.
- El operador de la máquina trituradora debe poseer buena capacidad auditiva, así como buena visión (con o sin gafas). También se requiere de una buena percepción de distancia segura de la máquina.
- El operador de la máquina no deberá sufrir una condición de salud o incapacidad que pudiera entorpecer inesperadamente su capacidad de reaccionar con rapidez.
- El operador de la máquina que esté tomando medicamentos prescritos por un médico deberá presentar un certificado médico que asegure que los mismos no afecten la capacidad de operación de la máquina.
- Bajo ninguna circunstancia deberá permitirse que un operador de quien se conozca o sospeche que está bajo la influencia del alcohol o las drogas haga funcionar la máquina.
- El operador de la máquina debe tener una buena actitud respecto a la seguridad en todo momento.

Para asegurar la seguridad del personal que trabaje alrededor de la máquina, el operador de la máquina debe detener los trabajos de trituración y apagar el motor a

través del control de arranque y apagado del motor, el no observar las precauciones podría resultar en el movimiento inesperado de la máquina o de sus accesorios, lo cual podría causar lesiones o la muerte del personal.

Para realizar cualquier inspección, mantenimiento o reparación de la máquina trituradora, seguir procedimientos de bloqueo o rotulación según procedimiento de la norma ANSI Z244.1 y según requieren las agencias OSHA (Administración de Seguridad y Salud Laboral de los EEUU). Los procedimientos de bloqueo y etiquetado tienen como propósito proteger al personal que labora alrededor de la máquina trituradora al prevenir el arranque accidental o la exposición a la liberación peligrosa de energía como los choques eléctricos.

El procedimiento requiere la colocación de bloqueo y etiqueta individual en la caja de control previamente dando corte de energía eléctrica que alimenta el motor, estos dispositivos son para prevenir el arranque intempestivo de la máquina, nunca intentar accionar el control de arranque cuando este bloqueado y etiquetado.

Los procedimientos de bloqueo y etiquetado requeridos por la OSHA describen:

- A. Notificar a todo el personal involucrado, incluido supervisores antes de efectuar el bloqueo y etiquetado.
- B. Apagar la máquina, equipo, sistema o función afectado.
- C. Desconectar, aislar o apagar el abastecimiento o fuente de energía.
- D. Aplicar bloqueos y/o etiquetas individuales a los controles, interruptores.
Etc.
- E. Probar la máquina, el equipo o el sistema para comprobar que se ha desconectado la energía antes de efectuar el servicio o mantenimiento.

Recomendaciones de seguridad para el operador de la máquina trituradora.

- Adiestrar a los operadores en cuanto al procedimiento de bloqueo y etiquetado utilizado en la máquina.
- Identificar y localizar de antemano los interruptores y controles de corte que aíslan la energía a niveles peligrosos en las instalaciones.



Figura 80. Etiqueta de advertencia peligro por voltaje

- Para realizar el proceso de operación utilice protectores auditivos, lentes de protección, ropa de trabajo adecuado, guantes de seguridad y máscara facial.
- No introducir la mano en la tolva de alimentación ya que hay componentes en movimiento y puede ocasionar daños personales.
- Por precaución personal que no está incluido dentro de la operación mantener una distancia mínima de 10 metros de la máquina trituradora.
- Después de terminar el mantenimiento y servicio y que la persona encargada haya retirado cada bloqueo notificar al personal involucrado para restablecer la energía o potencia suministrada al motor.
- La máquina poseerá diversas etiquetas para advertir al personal de los peligros potenciales, para identificar los controles, los avisos ayudarán al funcionamiento seguro de la máquina.

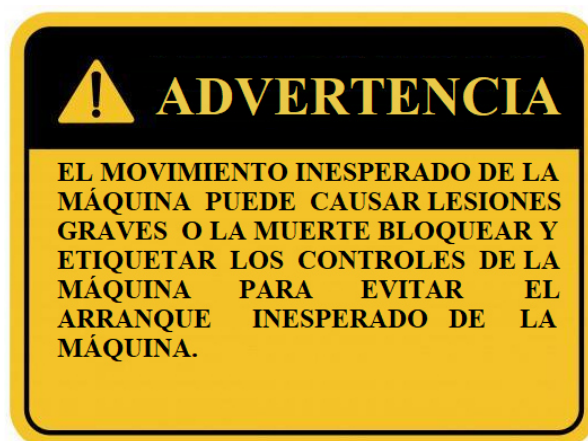


Figura 81. Etiqueta de advertencia movimiento inesperado

- Al realizar el montaje de componentes pesados utilice un sistema de elevación adecuada, utilizar aparejos adecuados para estabilizar y levantar objetos pesados.
- El mantenimiento y el servicio involucran el manejo de componentes pesados que podrían causar lesiones, utilice grúa o tecles de elevación conjuntamente bloques de sostenimiento para evitar daños a las piezas.
- Asegurarse de sostener de forma adecuada los componentes a suspender, nunca ubicarse debajo de la carga suspendida, podrían caerse si no les sostiene apropiadamente al sacar o insertar componentes pesados.



Figura 82. Etiqueta advertencia levantamiento de componentes pesados

- Todos los protectores, avisos, dispositivos de advertencia y dispositivos de protección deberán estar en su lugar y en condiciones óptimas antes de hacer funcionar la máquina.
- La tornillería, pernos o tuercas flojas o faltantes deben apretarse apropiadamente o sustituirla con tornillería especificada según el manual de montaje.
- La máquina debe de poseer un botón de parada de emergencia ubicada en el tablero de control de arranque, especificar que este interruptor es solo de detención de emergencia.
- La máquina tiene una placa de peligro de alto voltaje que está ubicada en la tapa de la caja de control, puede haber presencia de alto voltaje, solo personal autorizado debe tener acceso al sistema eléctrico, el alto voltaje puede provocar lesiones o la muerte, puede haber presencia de alto voltaje con el motor funcionando o apagado.

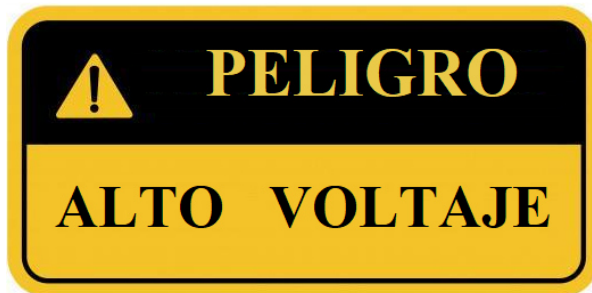


Figura 83. Etiqueta advertencia de peligro

- Asegúrese que todas las protecciones y cubiertas estén en su lugar y en posición apropiada. Haga reparar las protecciones y cubiertas dañadas.
- Aprenda el uso apropiado de los elementos de seguridad tales como pasadores, protectores de correa y componentes en movimiento (poleas de eje maquina, polea de motor)
- Evite usar ropa suelta, joyas o el pelo largo y suelto. Estos se pueden enredar en las partes móviles y causar graves lesiones o la muerte. Tampoco use ropas manchadas de aceite ya que son inflamables.
- Use casco, anteojos de seguridad, zapatos de seguridad, protector auditivo, máscara y guantes cuando opere o mantenga la máquina, utilice guantes adecuados y resistentes que involucren astillas metálicas o fragmentos de material caucho alambrado.



Figura 84. Etiqueta símbolos preventivos, tomado de <https://www.pinterest.com/pin/632403972653048744/>

- El polvo generado por el caucho triturado no debe ser inhalado porque es peligroso para la salud, no utilice aire comprimido para limpiar la máquina.
- Siempre que sea posible, opere la máquina o realice tareas trabajando de espaldas al viento.
- Nunca ponga alguna parte de su cuerpo entre las partes móviles como la tolva de alimentación, puede ocasionar graves lesiones.
- Asegúrese de contar con extintores y de saber utilizarlo.
- Mantenga un botiquín de primeros auxilios en un lugar apropiado.
- Sepa cómo actuar en caso de incendios.

5.26 MANUAL DE OPERACIÓN

- Es preciso que el técnico operario tenga conocimiento de sistemas de movimiento de componentes y electricidad básica.
- El operador debe verificar personalmente el área de trabajo, los caminos a usar y la existencia de obstáculos antes de iniciar las operaciones.
- Antes de arrancar el motor, revise cuidadosamente el área por si hay condiciones inusuales que podrían ser peligrosos
- Antes de iniciar el arranque de la máquina es necesario comprobar el ajuste correcto de los pernos que sujetan las cuchillas y componentes de la máquina.
- Inspecciones deterioro o desgaste en las cuchillas fijas y giratorias, realice la mantención y afilado de las cuchillas si es necesario.
- Nunca intente arrancar el motor haciendo contacto directo sin pasar por la caja de control, esto puede provocar un incendio o serias lesiones a cualquier persona involucrada en la operación de la máquina.
- Lea y comprenda los contenidos del documento, ponga especial atención al procedimiento de seguridad, revise los instrumentos y caja de control antes de intentar arrancar el motor.
- Familiarice con todos los controles de arranque, apagado, parada de emergencia y dispositivos de advertencia antes de arranque de la máquina trituradora.
- No permita a ninguna persona no autorizada en el área de operación de la máquina.
- Arranque el motor presionando el botón verde solo desde la caja de control de operador de la máquina.



Figura 85. Tablero eléctrico, tomado de https://es.123rf.com/photo_31125264_caja-de-control-el%C3%A9ctrico-con-pulsadores-e-interruptores.html

- Permita que trabaje el motor en vacío hasta que se mantenga una velocidad constante del motor sin carga.
- Una vez que verifique el correcto funcionamiento de la máquina alimente a la tolva con gránulos de caucho proveniente de la segunda máquina.
- Verifique el correcto flujo de alimentación de gránulos de caucho en la tolva para evitar atascamiento y parada intempestiva del motor.
- Informe inmediatamente cualquier situación adversa en la máquina.
- Se debe detener inmediatamente el motor cuando ocurra un atascamiento por exceso de material.
- Si llegase a la parada del motor cumpla el procedimiento de desatoro de la máquina.
- Revise constantemente la descarga de los gránulos triturados de 2 a 5 milímetros evite la acumulación de material, utilice una herramienta de limpieza para evitar la acumulación de material.
- Verifique constantemente el aumento de amperaje de la caja de control para controlar el atasco constante de la máquina.
- Para el procedimiento de detención de parada del motor, permita que el motor trabaje en vacío por un periodo de 2 minutos para evitar la sobrecarga al motor en un próximo arranque de la máquina.
- Presione el botón rojo de parada del motor, antes de retirarse de la máquina asegúrese la parada total del motor

- Coloque la palanca de termo magnético en posición OFF y verifique que no haya alimentación eléctrica al tablero de control.

5.27 MANUAL DE MANTENIMIENTO Y LUBRICACIÓN

5.27.1 Antes del mantenimiento

- Antes de efectuar el mantenimiento, asegúrese de tener los controles bloqueados y etiquetados, puede provocar serias lesiones o la muerte.
- Siempre coloque la etiqueta de advertencia en la caja de control de arranque de la máquina para advertir a las demás personas que ud. Está realizando el mantenimiento de la máquina.



Figura 86. Etiquetas de aviso de no operar equipo tomado de <http://andesseguridad.com/?product=tarjeta-de-bloqueo-no-operar-7010-abus>

- El mantenimiento, limpieza, ajustes, montaje y desmontaje de protectores de movimientos solo deberá llevarse a cabo con el motor apagado utilizando dispositivos de bloqueo de energía.
- Solo utilice herramientas adecuadas para el trabajo a realizar, usar herramientas de baja calidad, defectuosa o de reemplazo podría provocar lesiones personales. Al realizar trabajos de mantenimiento y afilado de cuchillas asegúrese de utilizar herramientas estandarizadas.

5.27.2 Durante el mantenimiento

Nota: solo personal autorizado puede dar servicio y repara la máquina.

- Mantenga limpia la máquina la grasa, herramientas dispersas, etc. pueden hacerlo tropezar o resbalar, mantenga siempre la máquina limpia y ordenada.

- Si entra agua al sistema eléctrico, hay peligro de que la máquina pueda moverse inesperadamente y/o dañar los componentes. No use agua ni vapor para limpiar los contactores eléctricos.
- Nunca rocíe agua en las cubiertas del motor eléctrico se puede producir daños a los inducidos del motor.
- Al realizar el desmontaje de la tolva de la máquina coloque en un lugar seguro para que no se caigan.



Figura 87. Etiqueta prevención de atrapamiento

- Siempre baje todo el componente al piso o su punto más bajo antes de dar servicio o efectuar reparaciones debajo de la máquina.
- Nunca trabaje debajo de componentes suspendidos.



Figura 88. Etiqueta de no ubicarse bajo carga suspendida

- Manténgase alejado de las partes en movimiento como las poleas de motor y eje porta cuchillas, si entra en contacto directo o indirecto con partes en movimiento puede sufrir serios daños.
- Siempre apriete los pernos de las cuchillas al torque recomendado ya que pueden aflojarse o sufrir una rotura por exceso de torque en los pernos de sujeción de las cuchillas.

- Después de ajustar o reparar, vuelva a colocar las protecciones y guardas de las partes en movimiento.
- Antes de soldar y/o reparar la máquina asegúrese que la puesta a tierra este cerca de la zona a soldar ya que puede dañar contactores. Proteja los cables eléctricos de salpicaduras por efecto del soldeo.
- La inspección visual es primordial al inicio de cada turno, camine alrededor de la máquina, realice una cuidadosa inspección visual, revise que todos los componentes se encuentren en condiciones óptimas, revise pernos, si existe fisuras o desgaste en las fajas.

5.28 EVALUACIÓN FINANCIERA

En el presente capítulo desarrollamos el presupuesto de fabricación, montaje e instalación; este proceso considera cada fase de fabricación. También se estima el margen de utilidad y el costo promedio de venta al mercado del producto; finalmente, se realizará un análisis de comparación con máquina de venta en el mercado local e internacional.

La cantidad de caucho y neumáticos en desuso generan problemas de contaminación ambiental, y la falta de soluciones por parte de entidades públicas y empresas privadas que buscan construir la máquina y ejecutar la trituración para permitir el reciclado de neumáticos y posteriormente buscar alternativas de uso para los gránulos de caucho.

En el mercado local e internacional cabe la posibilidad de comprar una máquina trituradora que tenga la misma finalidad de trituración de caucho y neumáticos en desuso, en el presente proyecto se considera empresas de construcción de máquinas como:

- Empresa Colombiana Gercons.
- Empresa Española Forrec.
- Empresa Brasileira Fragmaq.
- Empresa China Suny Group.
- Empresa China Chengyue.

5.28.1 Costos de fabricación de la máquina

Este estudio pretende analizar los costos en función a la competencia en el mercado local y poder lograr el objetivo de fabricación de la máquina, maximizando la eficacia económica, la compra de componentes a bajo precio determinará el gasto final

de construcción de la máquina, y el precio de venta del producto final determinará los ingresos económicos de la empresa; a continuación, se detalla los diferentes gastos por etapa de fabricación.

5.28.2 Costos de diseño de ingeniería.

En cuanto a la determinación de costos de diseño de ingeniería varía en función a la oferta y demanda del mercado local, por tanto, esta metodología puede variar en la contratación del profesional de diseño.

Tabla 39. Costos de diseño

| COSTOS DE INGENIERÍA DE DISEÑO TIEMPO DE EJECUCIÓN 30 DÍAS | | | | |
|---|------------------|---------------|----------|---------------|
| Ítems | Unidad de medida | S/. Unidad | Cantidad | Total (soles) |
| PERSONAL NECESARIO | | | | |
| Ingeniero de diseño | 208 horas | 10 S/. Hora | 2 | 4160.00 |
| GASTOS DE EQUIPO Y ENERGÍA ELÉCTRICA | | | | |
| Computadora portátil | 208 horas | 2 S/. Hora | 2 | 832.00 |
| Suministro eléctrico | Kw/h | 0.43Kw/h | 120 | 51.6 |
| FUNGIBLES | | | | |
| Papel | 500 unds. | 0.02 S/. Hoja | 500 | 10.00 |
| Tinta | Cartucho | 40 S/. Und. | 2 | 80.00 |
| OTROS GASTOS | | | | |
| Transporte/combustible | día | 20 S/. Día | 2 | 1200.00 |
| | | | TOTAL | 6333.60 |
| | | | S/. | |

5.28.3 Costos de materiales para la construcción de la máquina trituradora

Los costos en referencia están debidamente cotizados en diferentes tiendas locales dedicados a los rubros de venta de accesorios mecánicos y ferreterías.

Tabla 40. Costo de materiales

| MATERIALES | UNIDA D DE MEDID A | CANTIDA D | VALOR UNITARI O (S/.) | VALOR TOTAL (S/.) |
|--|-----------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | | | 4500.0 |
| Motor eléctrico (30HP) | Und. | 1 | 4500.00 | 0 |
| Perfil en L de 4 pulg. | Mts | 8 | 22.00 | 176.00 |
| Plancha de acero espesor 3/4"AISI 4140 | m ² | 6 | 1800.50 | 1800.5 0 |
| Polea 300 mm | Und. | 1 | 480.00 | 480.00 |
| Mecanismo Contrapeso | Und. | 1 | 360.00 | 360.00 |
| Bridas porta rodamiento | Und. | 2 | 250.00 | 500.00 |
| Rodamiento SKF 61918 | Und. | 2 | 180.00 | 360.00 |
| | | | | 2400.0 |
| Eje solido AISI 4340 | Und. | 1 | 2400.00 | 0 |
| Malla con huecos 500mm*500mm*1/8" | Und. | 1 | 63.00 | 63.00 |
| | | | | 1680.0 |
| Cuchillas maquinadas con filo | Und. | 7 | 240.00 | 0 |
| Tornillos con tuercas 1/2"* 1 " | Und. | 12 | 1.20 | 14.40 |
| Tornillos con tuerca 5/8"*1 1/2" grado 5 | Und. | 56 | 3.20 | 179.20 |
| Tornillo cabeza hexagonal 5/8"*1" grado 5 | Und. | 6 | 4.80 | 28.80 |
| chavetas 7/8"*7/8" * 2" maquinados | Und. | 2 | 25.00 | 50.00 |
| Plancha de acero espesor 4 mm | m ² | 6 | 51.00 | 300.00 |
| Correa de transmisión B-93 | Und. | 3 | 18.00 | 54.00 |
| Pintura | Lts. | 4 | 18.00 | 72.00 |
| TOTAL SOLES 13017.9 | | | | |

5.28.4 Costos de fabricación y montaje

Estos costos refieren a la mano de obra de los especialistas soldadores y mecánicos de maestranza, cotizados en diferentes talleres dedicados al rubro de maquinado de componentes mecánicos.

Tabla 41. Costo de fabricación y montaje de máquina trituradora

| COSTOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE | |
|--|--------------|
| Concepto | Valor |
| Proceso de soldadura | 1500.00 |
| Taladrado de agujeros | 250.00 |
| Montaje incluye herramientas | 400.00 |
| Equipo de traslado e izaje | 520.00 |
| Instalación de rodamiento y poleas | 120.00 |
| Tablero eléctrico | 1200.00 |
| Instalación eléctrica | 400.00 |
| Total (soles) | 4390.00 |

Análisis de costo total de inversión para la fabricación de la máquina trituradora de neumáticos.

Tabla 42. Costo total de máquina trituradora

| COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA | |
|----------------------------------|--------------------|
| Costos | Valor total |
| Costo de diseño de ingeniería | 6333.60 |
| Costo de materiales | 13017.90 |
| Costo de fabricación y montaje | 4390.00 |
| Subtotal | 23741.50 |
| Imprevistos (4%) | 949.66 |
| Total (soles) | 24691.16 |

5.29 COMPARACIÓN DE MÁQUINAS DE SIMILAR FUNCIONALIDAD

En el siguiente análisis se realiza la comparación de máquinas disponibles en el mercado que tienen la misma finalidad dentro del proceso de trituración de caucho, se considera características similares como la capacidad de producción, potencia consumida, precio, etc.

5.29.1 Máquina A máquina propuesta

| CARACTERÍSTICAS DE TRITURADORA | |
|--------------------------------|---------------------|
| Motor Eléctrico | 22 Kw |
| Velocidad | 540 rpm |
| Nro de Cuchillas | 7 |
| Capacidad de corte | 700kg/h |
| Dimensiones mts | 2.5x1.8x2.8 |
| Aplicación | caucho desalambrado |
| Precio compra | \$ 7 264.00 |




Figura 89. Máquina trituradora propuesta

Esta máquina es de un sistema de trituración de tercera etapa que recibe el caucho en la tolva de triturado de aproximadamente de 25 a 30 mm. internamente posee 5 cuchillas giratorias con 2 cuchillas fijas con una zaranda de selección hacia la descarga con aproximadamente de 2.5 a 5 mm. está propuesta es diferente a la que existe en el mercado y los más resaltante de menor costo con producción similar a las que existen.

5.29.2 Máquina B, doble eje trituradora

| CARACTERÍSTICAS DE TRITURADORA | |
|--------------------------------|--------------------|
| Modelo | YMSC-13060D-2 |
| Potencia de motor | 22KW *2 |
| Velocidad de reductor | 15-20 rpm |
| Cantidad de cuchillas | 26 piezas |
| Capacidad de trituración | 1000kg/hora |
| Dimensiones mecánicas | 3600*2100*3300mm |
| Rango de precios | \$ 20 000 - 80 000 |




Figura 90. Máquina trituradora doble eje, tomado de Fuente: Recuperado de <http://www.gzbinyi.cn/en/contact.asp>

Empresa especializada en fabricar máquinas trituradoras Guangzhou Binyi plásticos maquinaria CO. LTD, la máquina trituradora de neumáticos adecuada para objetos de gran dimensión y relativamente gruesos usados para neumáticos de camiones, residuos sólidos etc., utiliza un sistema de trituración de doble eje instalados en ejes paralelos, poseen cuchillas desmontables con cuatro ángulos de corte, el sistema eléctrico posee un programa de PLC, con funciones de arranque, parada y marcha inversa con mecanismo de retorno cuando está sobrecargado.

5.29.3 Máquina C, con selección de tambor


| CARACTERISTICAS DE TRITURADORA | |  |
|--------------------------------|-------------------|--|
| Modelo | XKP-4-400 | |
| Potencia de motor | 75KW | |
| Velocidad de reductor | 20.5 rpm | |
| Cantidad de cuchillas | NO ESPECIFICA | |
| Capacidad de trituración | 500kg/hora | |
| Dimensiones mecánicas | 560*510*800mm | |
| Rango de precios | \$ 8 000 - 30 000 | |

Figura 91. Máquina trituradora neumáticos buny group, tomado de <https://www.sunygroup.cn/>

Empresa fabricante de productos certificados internacionalmente con alta vida útil de sus máquinas, utiliza anillos de corte en forma de cuchillas para el corte de los neumáticos, la ventaja de esta máquina tiene un tambor de selección, estas máquinas son usados para residuos de manguera de caucho, residuos de zapado de goma.

5.29.4 Máquina D trituradora de un eje

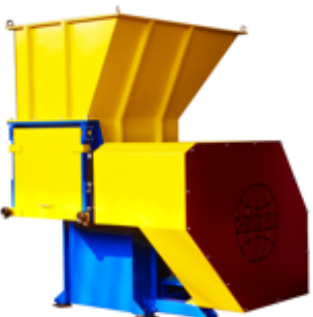
| CARACTERISTICAS DE TRITURADORA | |  |
|--------------------------------|--------------------|---|
| Modelo | S-6001 | |
| Potencia de motor | 22KW | |
| Velocidad de reductor | 82 rpm | |
| Cantidad de cuchillas | 28 | |
| Capacidad de trituración | 500kg/hora | |
| Dimensiones camara de corte | 760*610*253mm | |
| Rango de precios | \$ 10 000 - 25 000 | |

Figura 92. Máquina trituradora con doble reductor, tomado de <http://sp.pycy.net/show-96-8-1.html>

Esta máquina trituradora de un eje, posee un dispositivo de triturado con alto esfuerzo de torsión y con velocidad mediana, en la industria lo utilizan para el reciclado de plásticos duros, materiales sólidos duros etc., posee una caja reductora que absorbe tensiones, las cuchillas tienen varios filos de larga duración que se pueden ajustar según

el tamaño reguado, posee un sistema de refrigeración de aire integrado con un sistema de control PLC.

5.30 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

Los resultados técnicos para cada caso usan valoraciones de confiabilidad seguridad y producción de cada máquina a continuación se detalla aspectos técnicos de cada máquina.

Tabla 43. Comparación de características de máquinas

| | MÁQUINA TRITURADORA PROPUESTA | MÁQUINA B: DOBLE EJE TRITURADORA |
|--------------------------|---|---|
| Características técnicas | | |
| Modelo | Corte tijera | YMSC-13060D-2 |
| Motor eléctrico | 22Kw | 22Kw x 2 15-20 rpm con reductor de |
| Velocidad | 540 rpm | velocidad |
| Nro. de cuchillas | 7 cuchillas | 26 piezas |
| Capacidad de corte | 700kg/h | 1000kg/h |
| Dimensiones metros | 2.5x1.8x2.8 | 3.6x2.1x3.3 |
| Aplicación | caucho desalambrado | caucho desalambrado |
| | MÁQUINA C: CON TAMBOR SELECTOR | MÁQUINA D: TRITURADORA DE UN EJE |
| Características técnicas | | |
| Modelo | XKP-4-400 | S-6001 |
| Motor eléctrico | 75Kw | 22Kw |
| Velocidad | 20.5 rpm con reductor de velocidad | 82 rpm con reductor de velocidad |
| Nro. de cuchillas | NO ESPECIFICA | 28 piezas |
| Capacidad de corte | 500kg/h | 500kg/h |
| Dimensiones metros | 2.6x2.51x0.8 | 0.76x0.61x0.253 |
| Aplicación | caucho desalambrado | caucho desalambrado |

Al realizar los cuadros de características técnicas de cada máquina trituradora se llega a la conclusión que nuestra máquina propuesta tiene la ventaja de utilizar un motor eléctrico de menor consumo, no utiliza reductor de velocidad por tanto utiliza menos componentes mecánicos que las máquinas B, C, D, nuestra máquina propuesta tiene la ventaja de utilizar menor cantidad de cuchillas de corte y comparando las dimensiones el diseño propuesto está dentro de las necesidades de la empresa.

En el siguiente cuadro comparativo tiene la finalidad de realizar un análisis comparativo de precios de cada máquina.

| Diseño propuesto | Maquina A | Maquina B | Maquina C |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| \$ 7 264 00 | \$ 20 000 - 80 000 | \$ 8 000 - 30 000 | \$ 10 000 - 25 000 |

Figura 93. Comparación de costos

El diseño propuesto tiene características similares a las máquinas de puesta en venta en el mercado internacional, cabe resaltar que la producción es relativamente menor, sin embargo, los costos de producción tonelada / hora es menor a comparación de las máquinas a, b, c hay una gran ventaja con relación al costo de fabricación que se limita a los 7 264.00 dólares.

CONCLUSIONES

- Se seleccionó cada componente de la máquina especificando propiedades de acuerdo a su funcionalidad. Se tomaron en cuenta propiedades físicas mecánicas y finalmente sugerimos:

Base principal: construido con proceso de soldadura arco eléctrico utilizando acero dulce perfil en L4x4"x 1/2"

Caja inferior y caja superior: construido de acero semi - dulce de 3/4" de espesor, utilizar procesos de maquinado con taladro, fresa y soldadura por arco eléctrico.

Porta cuchillas: eje con diámetro 90 mm de acero AISI 4340 maquinar con torno y tratamiento térmico superficial para obtener dureza 380 – 415 Brinell, soportes de cuchilla ASTM 36 de 3/4" de espesor. Taladrado, fresado y soldado a eje.

Cuchilla: se recomienda utilizar acero anti abrasivo T-21 de 3/4" de espesor taladrado, fresado y tratamiento térmico para obtener dureza de 400 – 500 Brinell.

Rodamientos: rígido de bolas con designación 61918, tiene capacidad de carga dinámica de 33.2 KN, diámetro interno 90 mm, diámetro exterior 125 mm y espesor de 18 mm, ajuste de instalación normal P6.

Polea, porta rodamiento, contrapeso: construido de hierro fundido maquinado con torno, fresa y tratamiento térmico para obtener dureza de 170 – 229 Brinell.

- Se desarrolló procedimientos de manufactura por cada componente considerando material, tipo de maquinado, acabado superficial y montaje de componentes de la máquina, según cálculo de tiempos la máquina se construirá en 186 horas.
- A lo largo de este proceso de diseño se desarrolló manual de montaje, operación y mantenimiento que resultan indispensables para la construcción de la máquina trituradora, además podrá permitir documentar los procedimientos en los archivos de la empresa.

RECOMENDACIONES

- Como parte del diseño de la máquina trituradora considerar adicionar, un control de parada automática en caso de atascamiento por efecto de ingreso de material duro en la tolva de alimentación
- Una de las características más importantes del diseño de una máquina es la rigidez, es por esto que los componentes de las máquinas deben tener máxima rigidez con el mínimo peso posible.
- En las máquinas se efectúan cortes cíclicos debido a la trituración, estos cortes se inducen a vibraciones; para tal efecto se requiere un análisis de vibraciones y determinar si requiere el diseño de un componente, que reduzca la vibración y disminuya el desgaste prematuro de componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALONZO, J. Diseño de una máquina escarificadora de quinua para mejorar la producción de quinua en las comunidades campesinas de Sicaya. Tesis (título de Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. 215 pp. [fecha de consulta: 24 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3630>
- BELLO, F. La investigación tecnológica: o cuando la solución es el problema, [en línea]. Faces, Carabobo, Venezuela, 11 de noviembre de 2006 [fecha de consulta: 21 de febrero de 2020]. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>
- BLANCO, M. Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo. Tesis (Doctor en sostenibilidad). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2015. 65 pp. [fecha de consulta: 13 de abril de 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/121027/TMEBR1de1.pdf;jsessionid=2BF3D461848C4B37E54B37FE56D4B33E?sequence=1>
- BUENDÍA, L., COLAS, P. y HERNÁNDEZ, F. *Métodos de investigación en Psicopedagogía*. Editora Cristina Casado Lumbreras, 1998. ISBN: 84-481-12547
- BUDYNAS, R., NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 9na Edición. México: Mcgraw-hill/interamericana editores, 2012. ISBN:978-607-15-0771-6.
- BUSINESS PROCESS MANAGEMENT. *El libro del bpm 2010*. Madrid: Editado por Club BPM, 2010. pp. 124 – 140. ISBN 8461398289, 9788461398287.
- GRUPO SKF. Rodamientos, EE.UU., Editorial grupo skf, 2015, PUB BU/P1 10000/2 ES.
- Ley N° 1278. *Decreto Legislativo que aprueba la ley de Gestión integral de residuos Sólidos* [en línea]. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 21 de diciembre de 2017. [fecha de consulta: 8 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- LLANOS, J., LUJÁN, S. y PONCE, M. Viabilidad de la creación de una empresa recicladora y trituradora de llantas en desuso para su comercialización en el mercado peruano. Tesis (Título de licenciado en administración). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2016. 68 pp. [fecha de consulta 13 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/621510>
- MENDEZ, CH., SOLANO, F. Diseño de triturador de neumáticos usados; capacidad 1ton/h, para la empresa municipal de aseo de cuenca (emac). Tesis (título de

- ingeniero mecánico). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2010. 80 – 112 pp. [fecha de consulta 27 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1732>
- MURCIA, J. y ROMERO, A. Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Bogotá: Universidad de América, 2016. 45 – 60 pp. [fecha de consulta: 15 de enero 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/569/1/4101253-2016-2-IM.pdf>
- MOTT, R. Diseño de elementos de máquinas. 4ta Edición. Naucalpan de Juárez: Editorial Pearson Educación, 2006. ISBN: 970-26-0812-0
- NAVA, M., JIMÉNEZ, A. *ISO 9000:2000 Estrategias para implementar la norma de calidad para la mejora continua*. México. Editorial Limusa, 2005. 36 - 42 pp. ISBN: 9681863496, 9789681863494.
- NORTON, R. *Diseño de Maquinas: Un enfoque integrado*. 4ta edición, Naucalpan de Juárez: Editorial Pearson Educación, 2011. 124 pp. ISBN 9780136123705
- PÉREZ, J., CHOLCA, L. y MANTILLA, G. Diseño y fabricación de una máquina para desgranar maíz, *Ingenius revista de ciencia y tecnología*, Julio – diciembre, 2017, 18, 21-29. ISSN: 1390-650X. disponible en: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/18.2017.03>
- RUDAS, C. Diseño de un sistema mecatrónico para la selección de arándanos. Tesis (Magíster en Ingeniería Mecatrónica). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015 Lima, 85 pp. [fecha de consulta: 23 de abril de 2020]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6991>
- SERVICIOS Industriales s.a., Aceros sisa 4140T. 2013 [fecha de acceso: 25 de marzo del 2020]. Disponible en: www.sisa1.com.mx

ANEXO 1

TABLA N°1 : PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS ACEROS
 Modulo de Elasticidad $E = 2.109.000 \text{ Kgf/cm}^2$ ($30 \times 10^6 \text{ PSI}$); Modulo de elasticidad a torsión y corte $G = 808.500 \text{ Kgf/cm}^2$ ($11,5 \times 10^6 \text{ PSI}$); La resistencia a la Fluencia en corte o cizalladura esta comprendida entre $0,5S_y$ y $0.6S_y$; Coeficiente de Poisson $\mu = 0.3$; Densidad es aproximadamente 7.85 Kgf/dm^3

| N° AISI | ESTADO | Res. Máxima Su | | Res. Fluencia Sy | | Dureza |
|--------------|------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|--------|
| | | Kgf/Cm ² | Ksi | Kgf/Cm ² | Ksi | BHN |
| Hierro Dulce | Laminado simple | 3374 | 48 | 1757 | 25 | |
| C1010 | Estirado en Frío | 4710 | 67 | 3867 | 55 | 137 |
| C1015 | Estirado en Frío | 5413 | 77 | 4429 | 63 | 170 |
| C1020 | Laminado Simple | 4569 | 65 | 3374 | 48 | 143 |
| C1020 | Normalizado | 4499 | 64 | 3515 | 50 | 131 |
| C1020 | Recocido | 4007 | 57 | 2952 | 42 | 111 |
| C1020 | Estirado en Frío | 5483 | 78 | 4640 | 66 | 156 |
| C1022 | Laminado simple | 5062 | 72 | 3656 | 52 | 149 |
| C1030 | Laminado simple | 5621 | 80 | 3586 | 51 | 179 |
| C1035 | Laminado simple | 5976 | 85 | 3867 | 55 | 190 |
| C1045 | Laminado simple | 6749 | 96 | 4148 | 59 | 215 |
| C1095 | Normalizado | 9913 | 141 | 5624 | 80 | 285 |
| B1113 | Acabado en Frío | 5835 | 83 | 5062 | 72 | 170 |
| B1113 | Laminado Simple | 4921 | 70 | 3163 | 45 | 138 |
| C1118 | Laminado Simple | 5273 | 75 | 3234 | 46 | 149 |
| C1118 | Estirado en Frío | 5624 | 80 | 5273 | 75 | 180 |
| C1144 | OQT 1000 | 8296 | 118 | 5835 | 83 | 235 |
| 1340 | OQT 1200 | 7945 | 113 | 6468 | 92 | 229 |
| 1345 | OQT 800 | 13147 | 187 | 12303 | 175 | |
| 2317 | OQT 1000 | 5554 | 79 | 4991 | 71 | 220 |
| 2340 | OQT 1000 | 9632 | 137 | 8437 | 120 | 285 |
| 3150 | OQT 1000 | 10616 | 151 | 9140 | 130 | 300 |
| 3250 | OQT1000 | 11670 | 166 | 10264 | 146 | 340 |
| 4363 | OQT 1000 | 12655 | 180 | 11249 | 160 | 375 |
| 4130 | WQT 1100 | 8929 | 127 | 8015 | 114 | 260 |
| 4130 | Estirado en Frío | 8577 | 122 | 7381 | 105 | 248 |
| 4340 | Estirado en Frío | 8577 | 122 | 7381 | 105 | 248 |
| 4640 | OQT 1000 | 10686 | 152 | 9140 | 130 | 310 |
| 5140 | OQT 1000 | 10546 | 150 | 8999 | 128 | 300 |
| 5140 | Estirado en Frío | 7381 | 105 | 6187 | 88 | 212 |
| 8630 | Estirado en Frío | 8085 | 115 | 7030 | 100 | 222 |
| 8640 | OQT 1000 | 11249 | 160 | 10546 | 150 | 330 |
| 8760 | OQT 800 | 15468 | 220 | 14068 | 200 | 429 |
| 9255 | OQT 1000 | 12655 | 180 | 11249 | 160 | 352 |
| 9440 | OQT 1000 | 10686 | 152 | 9491 | 135 | 311 |
| 9850 | OQT 1100 | 12655 | 180 | 11108 | 158 | 360 |

ANEXO 2

*Propiedades típicas de los materiales mas comunes (Para fines de diseño
real consulte reglamentos y especificaciones pertinentes*

| MATERIAL | RESISTENCIA MÁXIMA | | RESISTENCIA A LA FLUENCIA | | MODULO DE ELASTICIDAD E | MODULO DE ELASTICIDAD G | α cm/cm. °C (x 10 ⁻⁶) |
|----------------------------|--------------------|------|---------------------------|------|-------------------------|-------------------------|--|
| | kg/cm ² | ksi | kg/cm ² | ksi | kg/cm ² | kg/cm ² | |
| ACEROS: | | | | | | | |
| NOM-1018 T.F | 4500 | 64 | 3800 | 54 | 2.1E6 | 0.808E6 | 11.8 |
| NOM- 1045 T.C | 6400 | 91 | 5400 | 77 | " | " | 11.8 |
| NOM-1060 T.C | 6900 | 98 | 3800 | 54 | " | " | 11.8 |
| NOM-1075 T.C | 7300 | 104 | 4100 | 58 | " | " | 11.8 |
| NOM-4140 T.T | 12000 | 170 | 11200 | 159 | " | " | 11.8 |
| NOM-4340 T.T | 12200 | 173 | 11500 | 163 | " | " | 11.8 |
| INOX 304 REC. | 5200 | 74 | 2100 | 30 | 1.96E6 | 0.735E6 | 16.0 |
| INOX. 316 REC. | 5200 | 74 | 2100 | 30 | 1.96E6 | 0.735E6 | 16.0 |
| ESTRUCTURAL ASTM A-36 | 4800 | 68 | 2250 | 36 | 2.1E6 | 0.808E6 | 11.8 |
| ALUMINIOS FORJADOS | | | | | | | |
| 2014 -T4 | 4362 | 62 | 2885 | 41 | 0.741E6 | 0.281E6 | 23.1 |
| 2024-T4 | 4785 | 68 | 3370 | 48 | " | " | 23.1 |
| 6061-T6 | 3166 | 45 | 2800 | 40 | " | " | 23.1 |
| ALEACIONES DE COBRE | | | | | | | |
| BRONCE T.F | 7030 | 100 | 5270 | 75 | 1.195E6 | 0.450E6 | 18.3 |
| MONEL T.C | 6330 | 90 | 3520 | 50 | 1.82E6 | 0.68E6 | 14.0 |
| LATON | 3860 | 54.8 | 1750 | 24.8 | 1.124 | 0.421E6 | 20.0 |
| OTROS: | | | | | | | |
| HIERRO GRIS ASTM-20 | 1470 | 20.9 | | | 1.05E6 | 0.422E6 | 10.8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

T.F.- Trabajado en frío

T.C.- Trabajado en caliente

T.T.- Tratado térmicamente

REC.- Recocido

ANEXO 3



BARRAS DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN AISI / SAE 4340

FT 02_002

Estado de suministro

Formas y color:

Laminado con tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013 (Negro)
 Laminado sin tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013 (Torneado - Calibrado)
 Forjado con tratamiento térmico de bonificado



Composición química (% en peso)

| %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Cr | %Mo | %Ni |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 0.38 | 0.15 | 0.60 | - | - | 0.80 | 0.20 | 1.65 |
| 0.43 | 0.35 | 0.80 | 0.035 | 0.040 | 1.10 | 0.30 | 2.00 |

Densidad: 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades mecánicas mínimas estimadas SAE J1397

| Tipo de proceso y acabado | Resistencia a la tracción | | Límite de Fluencia | | Alarga/ en 2" (%) | Reducción de área (%) | Dureza (HB) | Relación de maquinabilidad 1212 EF =100% |
|-----------------------------|---------------------------|--------|--------------------|--------|-------------------|-----------------------|-------------|--|
| | MPa | PSI | MPa | PSI | | | | |
| Caliente y maquinado | 1227 | 178000 | 689 | 100000 | 10 | 30 | 363 | 50 |
| Templado y revenido | 1200 | 174000 | 1124 | 163000 | 16 | 48 | 352 | |

ANEXO 4

PARQUE VEHICULAR NACIONAL ESTIMADO, SEGÚN CLASE DE VEHÍCULO: 2007-2018

(Unidades vehiculares)

| CLASE DE VEHÍCULO | 2007 ^R | 2008 ^R | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 ^R | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| TOTAL | 1 534 303 | 1 640 970 | 1 732 834 | 1 849 690 | 1 979 865 | 2 137 837 | 2 287 875 | 2 423 696 | 2 544 133 | 2 661 719 | 2 786 101 | 2 894 327 |
| Automóvil | 696 897 | 735 314 | 766 742 | 809 967 | 860 366 | 927 698 | 993 705 | 1 058 075 | 1 116 226 | 1 167 041 | 1 220 121 | 1 254 803 |
| Station Wagon | 250 979 | 261 441 | 274 566 | 285 300 | 289 649 | 292 840 | 318 022 | 340 009 | 369 554 | 403 193 | 436 923 | 472 955 |
| Camioneta Pick Up | 176 111 | 187 940 | 196 833 | 210 988 | 228 321 | 246 205 | 258 028 | 266 305 | 274 153 | 283 479 | 293 292 | 305 855 |
| Camioneta Rural | 159 829 | 184 328 | 207 067 | 235 889 | 272 596 | 318 484 | 330 472 | 342 645 | 354 858 | 365 316 | 379 895 | 391 591 |
| Camioneta Panel | 29 684 | 32 498 | 34 172 | 36 184 | 37 847 | 39 476 | 40 938 | 41 976 | 42 892 | 43 387 | 43 935 | 44 349 |
| Omnibus | 48 542 | 49 882 | 51 563 | 54 389 | 56 704 | 59 088 | 69 128 | 77 773 | 78 579 | 80 119 | 82 377 | 90 315 |
| Camión | 120 661 | 129 295 | 137 407 | 147 293 | 158 939 | 171 407 | 187 970 | 203 180 | 208 216 | 213 155 | 218 006 | 217 931 |
| Remolcador | 20 872 | 24 890 | 26 457 | 28 679 | 30 779 | 33 722 | 36 017 | 39 482 | 41 514 | 43 604 | 45 352 | 47 074 |
| Remolque y Semi-remolque | 30 728 | 35 382 | 38 027 | 41 001 | 44 664 | 48 917 | 53 595 | 54 251 | 58 141 | 62 425 | 66 200 | 69 454 |

R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

P/ : Estimación Preliminar.

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

ANEXO 5

PARQUE VEHICULAR ESTIMADO, SEGÚN DEPARTAMENTO: 2007-2018

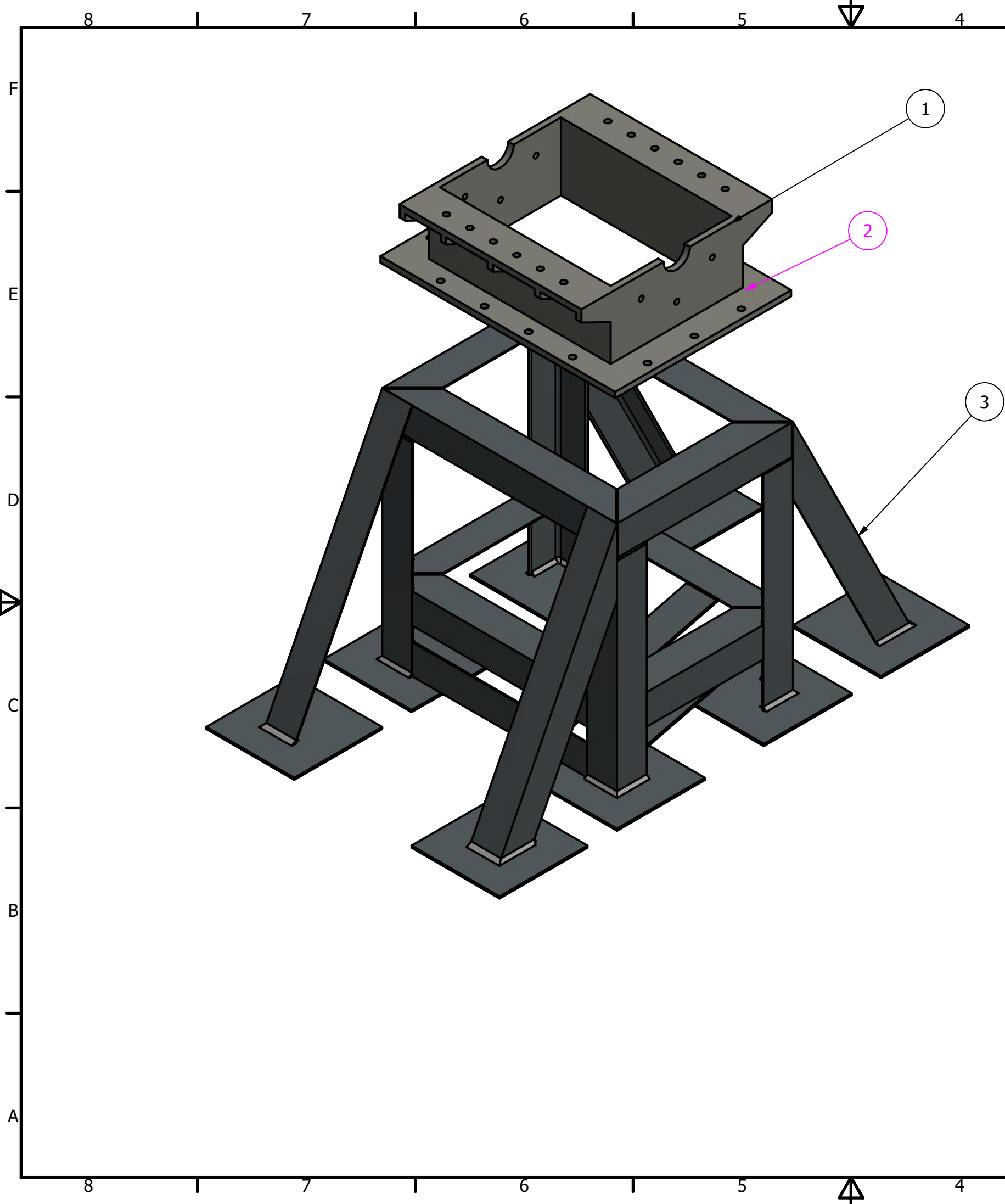
(Unidades vehiculares)

| DEPARTAMENTO | 2007 ^R | 2008 ^R | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 ^R | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| TOTAL | 1 534 303 | 1 640 970 | 1 732 834 | 1 849 690 | 1 979 865 | 2 137 837 | 2 287 875 | 2 423 696 | 2 544 133 | 2 661 719 | 2 786 101 | 2 894 327 |
| Amazonas | 2 168 | 2 218 | 2 292 | 2 390 | 2 407 | 2 400 | 2 351 | 2 314 | 2 275 | 2 273 | 2 227 | 2 182 |
| Ancash | 20 354 | 21 001 | 21 309 | 22 086 | 23 322 | 25 418 | 27 542 | 29 573 | 31 213 | 33 542 | 34 923 | 36 190 |
| Apurímac | 3 916 | 3 934 | 3 973 | 3 969 | 3 966 | 4 039 | 4 083 | 4 139 | 4 192 | 4 216 | 4 177 | 4 120 |
| Arequipa | 84 829 | 91 674 | 98 270 | 106 521 | 118 985 | 134 533 | 149 892 | 164 302 | 176 315 | 187 929 | 200 560 | 211 735 |
| Ayacucho | 4 153 | 5 404 | 5 572 | 5 716 | 5 784 | 5 941 | 5 968 | 6 021 | 6 022 | 6 041 | 6 015 | 5 918 |
| Cajamarca | 11 255 | 12 383 | 13 563 | 15 107 | 17 320 | 19 673 | 21 461 | 22 664 | 23 740 | 24 943 | 26 224 | 27 674 |
| Cusco | 37 592 | 39 688 | 42 175 | 45 090 | 48 491 | 53 675 | 59 459 | 64 820 | 69 213 | 73 997 | 79 874 | 84 942 |
| Huancavelica | 1 103 | 1 216 | 1 291 | 1 319 | 1 317 | 1 323 | 1 300 | 1 315 | 1 286 | 1 286 | 1 259 | 1 235 |
| Huánuco | 10 892 | 11 255 | 11 382 | 11 864 | 12 576 | 13 476 | 14 261 | 14 911 | 15 648 | 16 382 | 16 915 | 17 367 |
| Ica | 23 170 | 25 498 | 25 691 | 26 135 | 26 419 | 26 551 | 26 398 | 26 439 | 26 715 | 27 092 | 27 423 | 27 558 |
| Junín | 46 091 | 47 769 | 49 404 | 51 094 | 53 118 | 56 237 | 59 019 | 61 933 | 64 576 | 67 049 | 69 760 | 72 316 |
| La Libertad | 153 251 | 155 411 | 156 646 | 158 672 | 162 026 | 167 325 | 172 968 | 178 433 | 183 931 | 190 073 | 196 040 | 202 558 |
| Lambayeque | 39 930 | 41 920 | 43 689 | 45 881 | 49 440 | 53 902 | 58 142 | 61 896 | 65 160 | 68 261 | 71 328 | 74 092 |
| Lima y Callao | 957 368 | 1 036 850 | 1 106 444 | 1 195 353 | 1 287 454 | 1 395 576 | 1 498 037 | 1 590 755 | 1 674 145 | 1 752 919 | 1 837 347 | 1 908 672 |
| Loreto | 5 154 | 5 132 | 5 089 | 5 089 | 5 211 | 5 313 | 5 443 | 5 533 | 5 501 | 5 501 | 5 489 | 5 477 |
| Madre de Dios | 870 | 913 | 941 | 986 | 1 027 | 1 062 | 1 123 | 1 136 | 1 161 | 1 223 | 1 308 | 1 383 |
| Moquegua | 11 418 | 12 202 | 12 692 | 13 348 | 14 003 | 14 608 | 14 944 | 14 979 | 14 931 | 14 931 | 14 887 | 14 810 |
| Pasco | 6 075 | 6 807 | 7 187 | 7 351 | 7 292 | 7 238 | 7 108 | 6 956 | 6 804 | 6 804 | 6 660 | 6 545 |
| Piura | 32 314 | 33 497 | 34 650 | 36 367 | 39 099 | 42 404 | 46 029 | 49 576 | 52 390 | 55 060 | 57 740 | 60 006 |
| Puno | 28 062 | 29 889 | 31 645 | 34 169 | 37 074 | 40 543 | 43 477 | 45 056 | 46 200 | 47 696 | 49 387 | 51 041 |
| San Martín | 9 969 | 9 917 | 9 977 | 10 151 | 10 418 | 10 926 | 11 271 | 11 648 | 12 047 | 12 358 | 12 669 | 13 052 |
| Tacna | 33 944 | 35 911 | 38 457 | 40 465 | 42 318 | 44 430 | 45 960 | 47 180 | 48 201 | 49 382 | 50 858 | 52 161 |
| Tumbes | 3 042 | 3 040 | 3 054 | 3 086 | 3 119 | 3 257 | 3 320 | 3 372 | 3 415 | 3 451 | 3 423 | 3 375 |
| Ucayali | 7 383 | 7 441 | 7 441 | 7 481 | 7 679 | 7 987 | 8 319 | 8 745 | 9 052 | 9 310 | 9 608 | 9 918 |


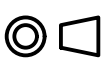
R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)

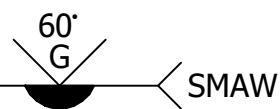
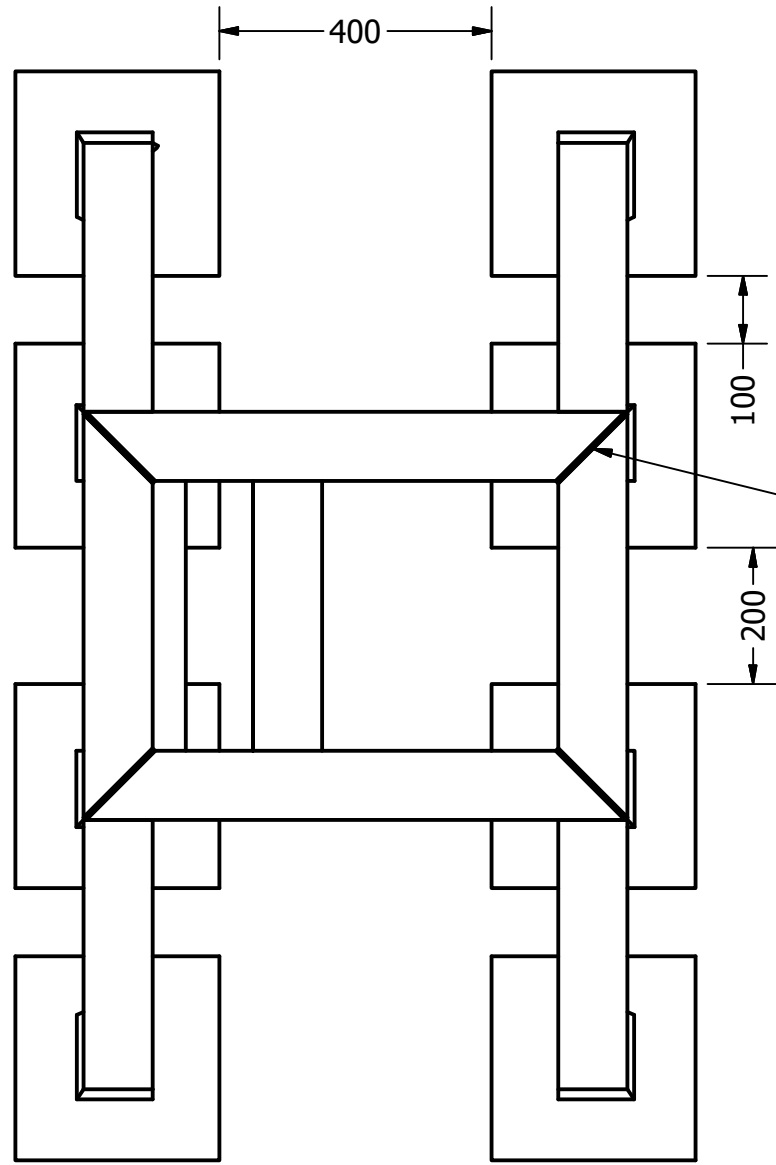
Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística



| LISTA DE PARTES | | | |
|-----------------|----------|---------------------------|-------------------------------------|
| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | MATERIAL Y DIMENSIONES |
| 1 | 1 | CUERPO PRINCIPAL INFERIOR | ACERO SEMI- DULCE 600x800x250 mm |
| 2 | 11 | PERNOS | 5/8" GRADO 8 |
| 3 | 1 | BASE PRINCIPAL | ACERO SEMI DULCE1390x800x800 mm |

| | | | |
|-------------------------|--|---|---|
| FECHA: 14/10/2020 | NOMBRE |  Universidad Continental |  |
| DIBUJADO | ROBERTH RAMOS | | |
| REVISADO | J. SANCHEZ | | |
| ESCALA: 0.1:1 | NOMBRE DEL PLANO PLANO DE CONJUNTO 1 | PLANO No: 1 de 3 | A4 |

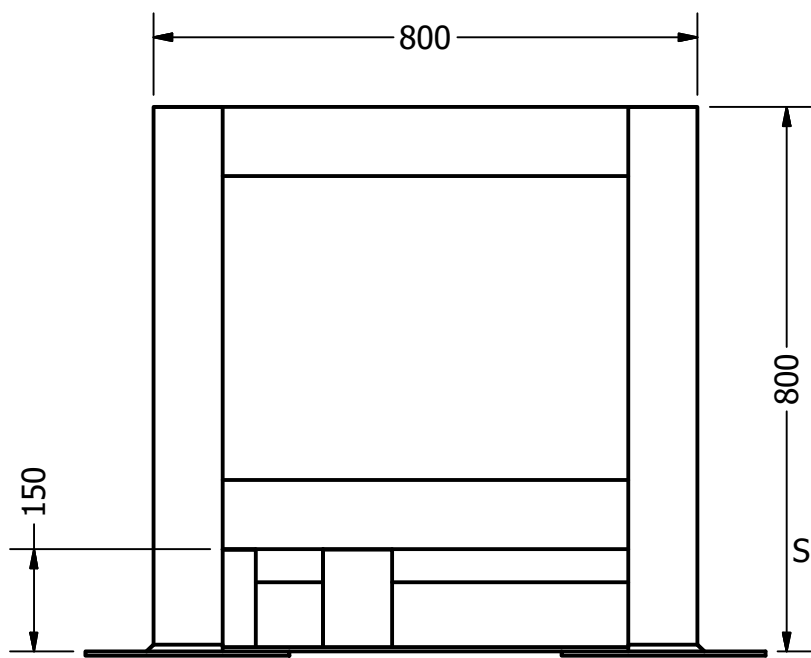
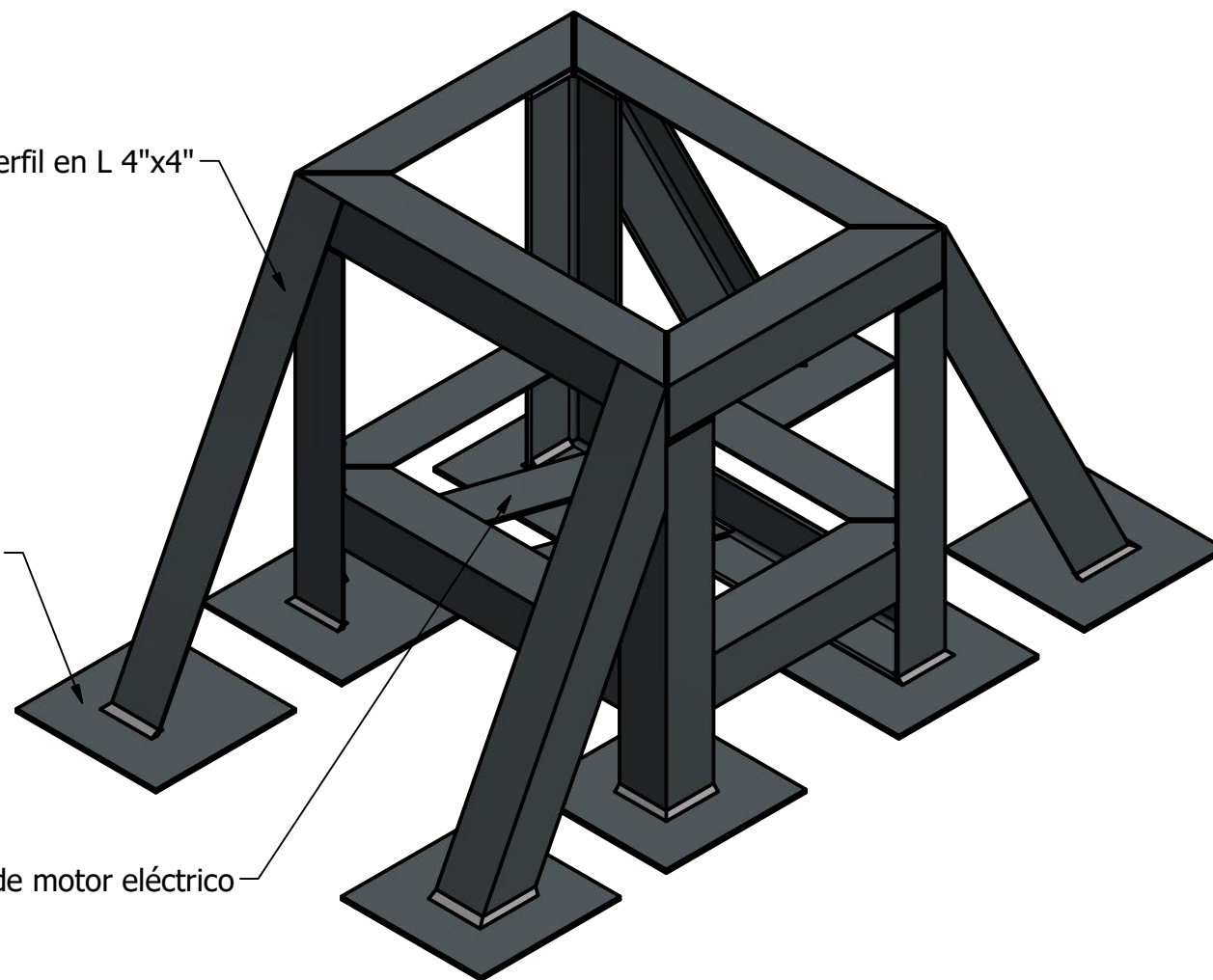
PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 1



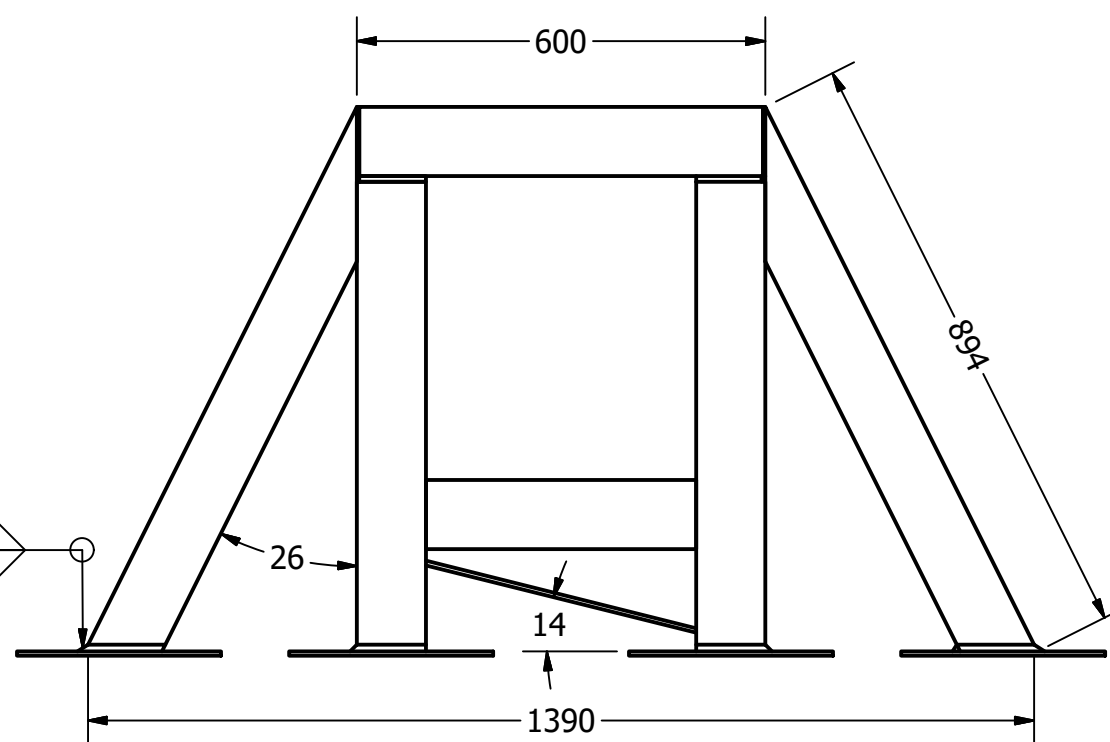
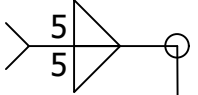
Perfil en L 4"x4"

Espesor de 1/2" x 8 unds.

Base de motor eléctrico



SMAW

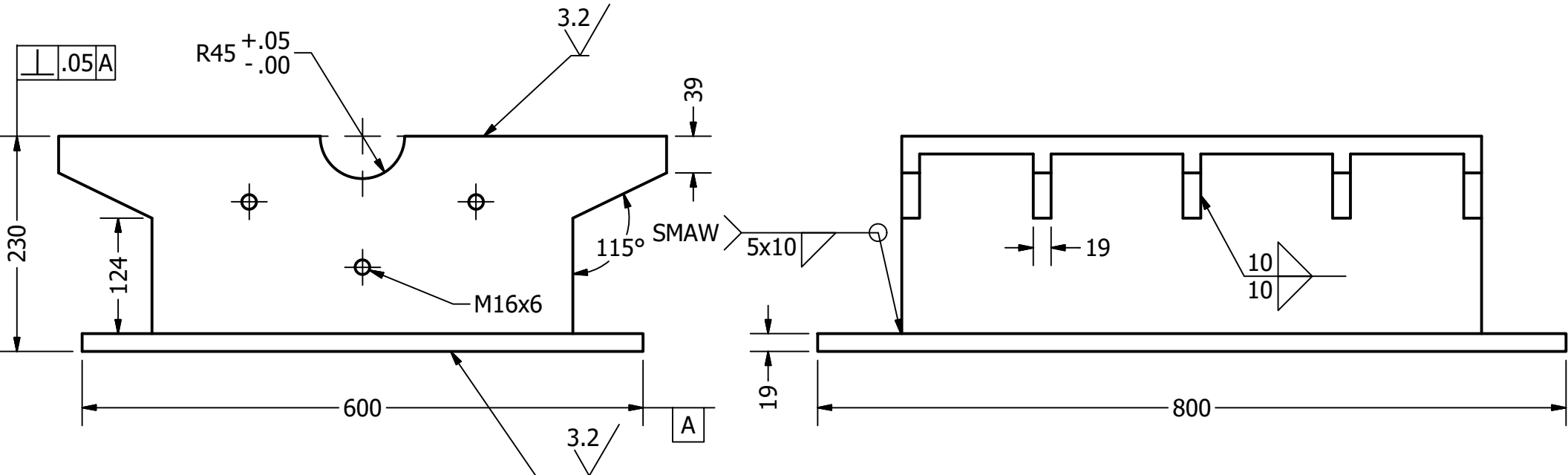
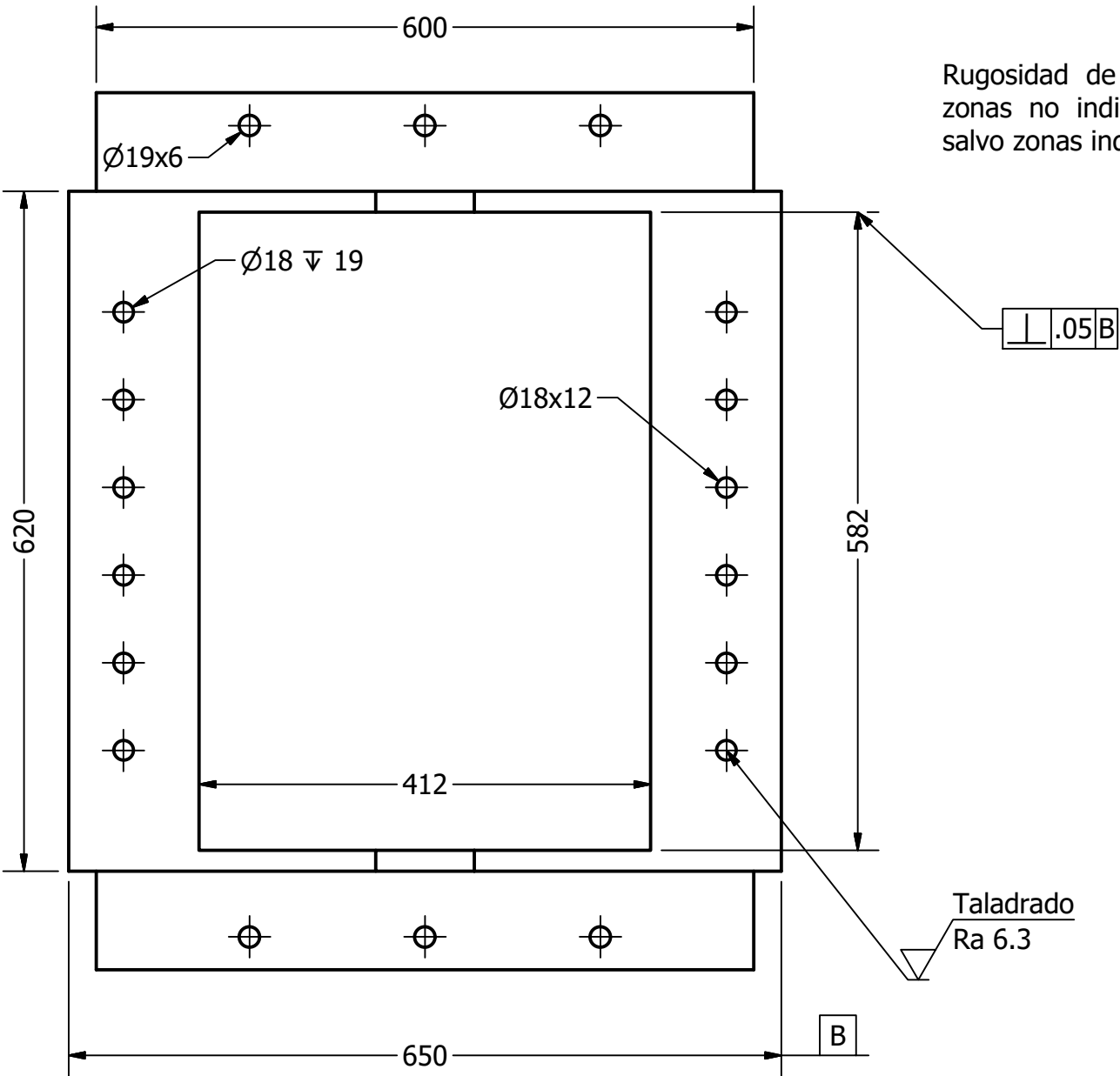
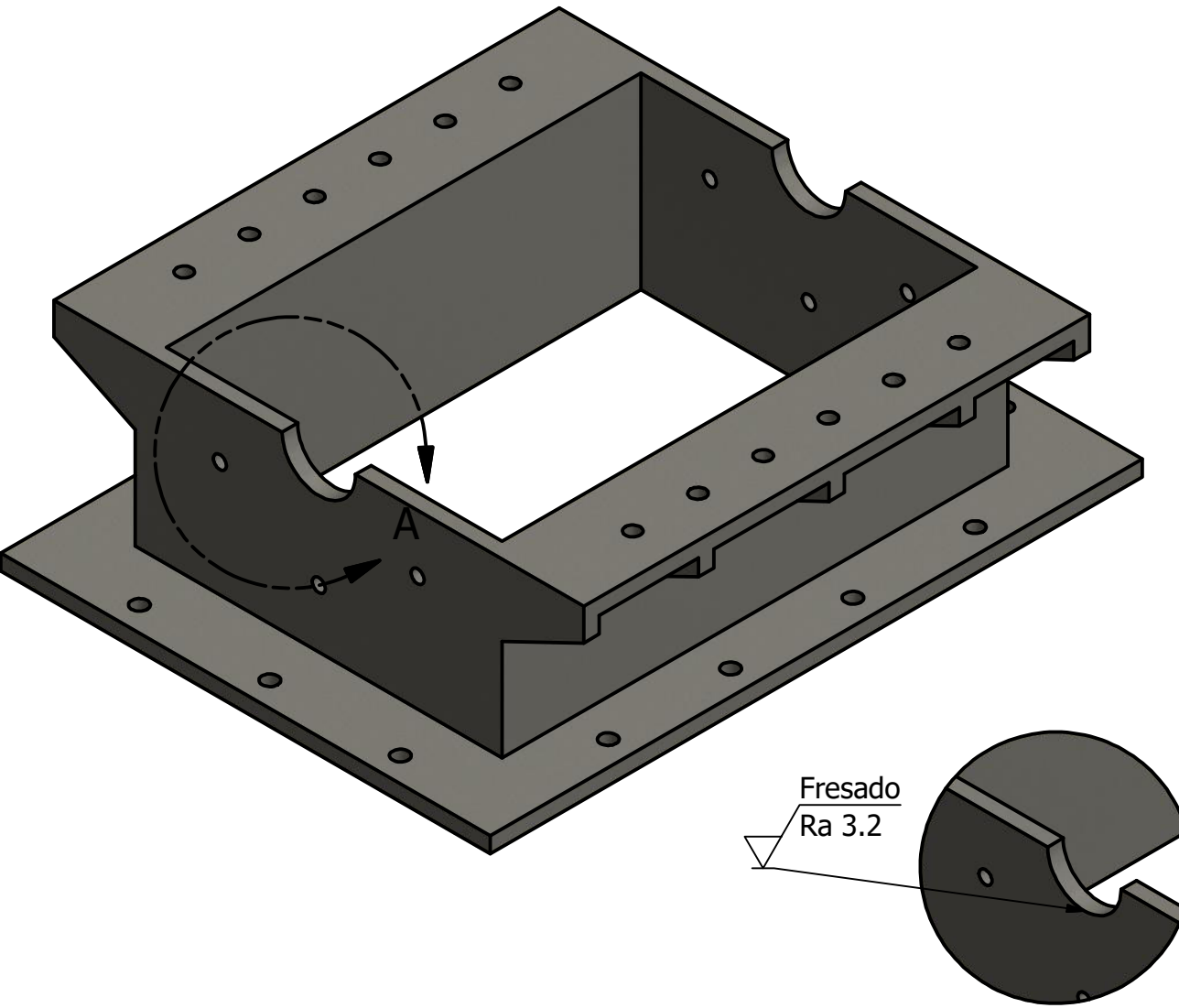


Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2

| | | |
|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| | HOJA: 1 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 2 | |
| | MATERIAL: ACERO DULCE SOLDADO | |
| | PESO: 143.7 kg | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA: 05/05/2020 | |
| PIEZA | BASE ESTRUCTURA PRINCIPAL | PROYECTO |
| | | TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 0.09:1 | PLANO No: TIMGR-001 | A4 |

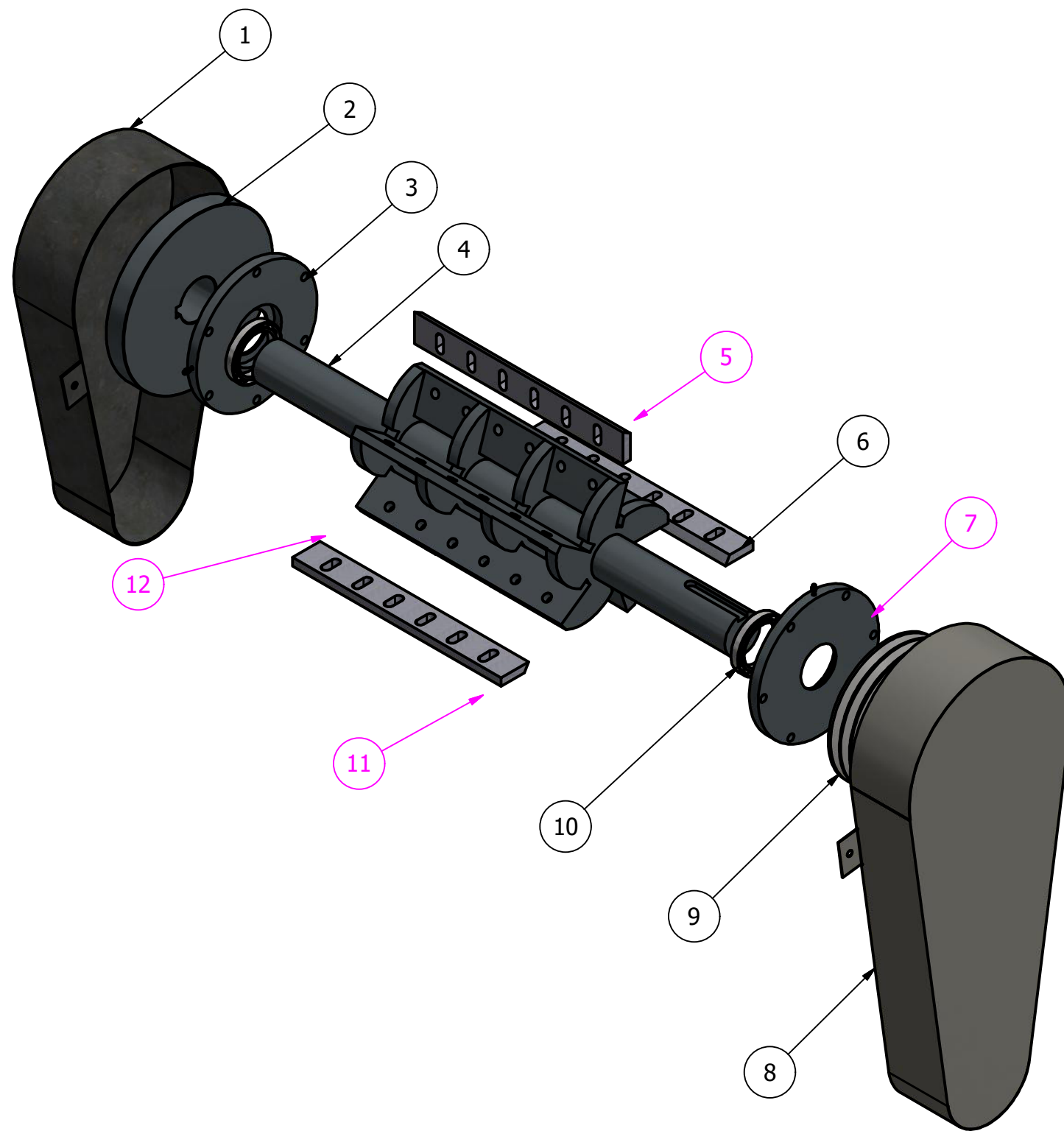
PLANO DE DETALLE CONJUNTO 1

Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2


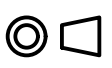


DETAIL A
SCALE 1 / 6

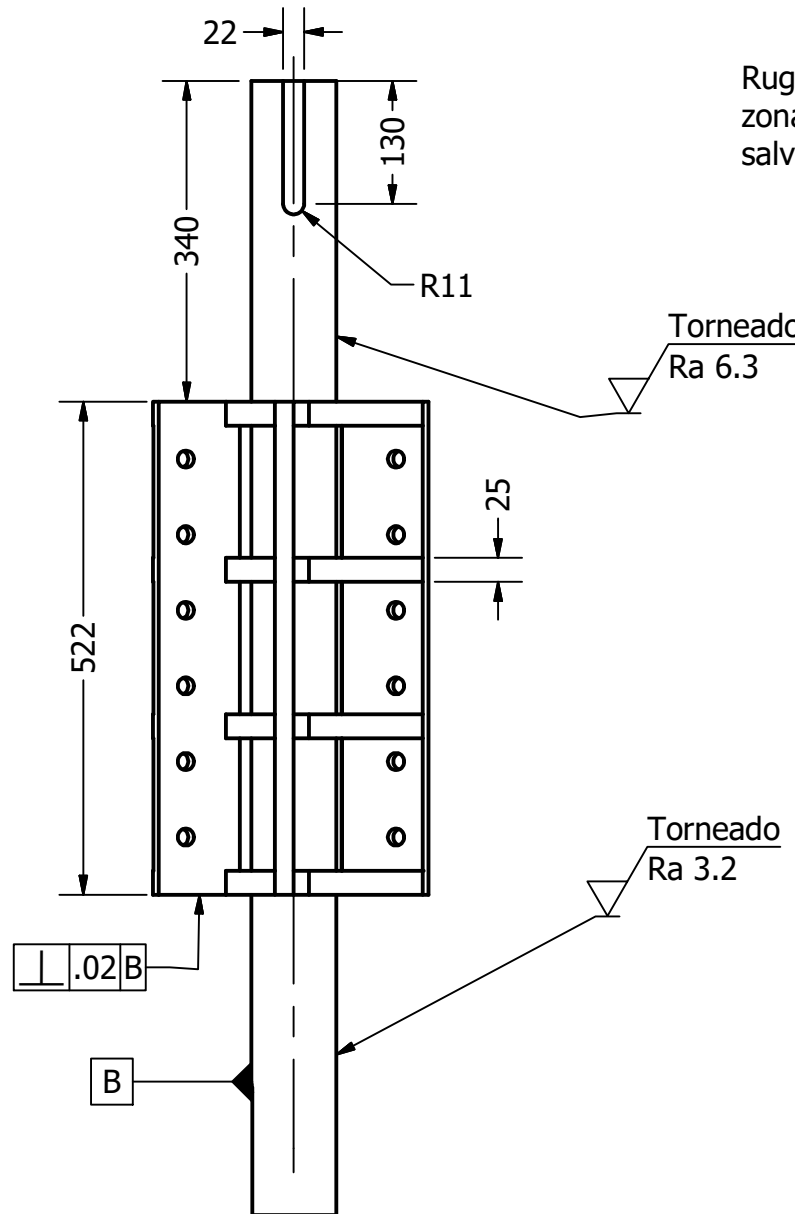
| | | |
|---|-------------------|-------------------------------------|
| | HOJA: 2 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 2 | |
| MATERIAL: Acero semi-dulce 3/4" soldado | | |
| PESO: 112.4 | | |
| DIBUJADO: R. Ramos | | REVISADO: J. Sanchez |
| FECHA: 06/05/2020 | | |
| PIEZA: CAJA INFERIOR | | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 1:6 | PLANO No: TIMGR-2 | A4 |



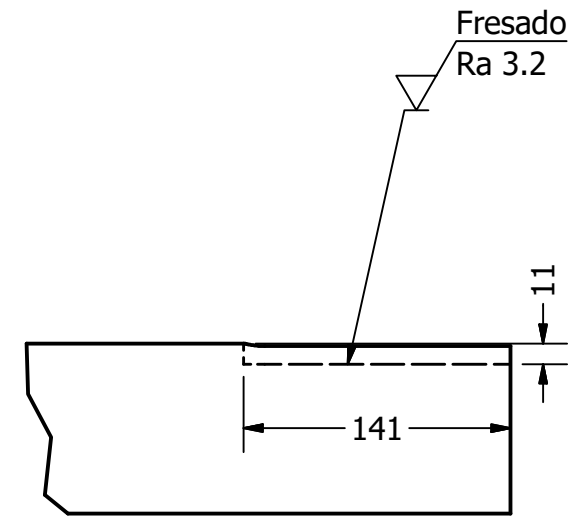
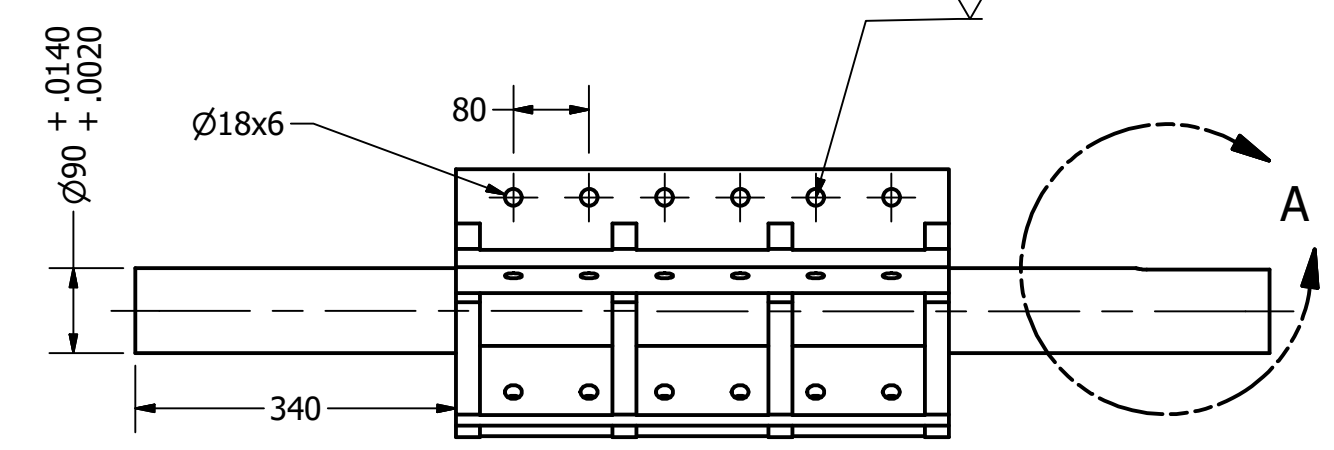
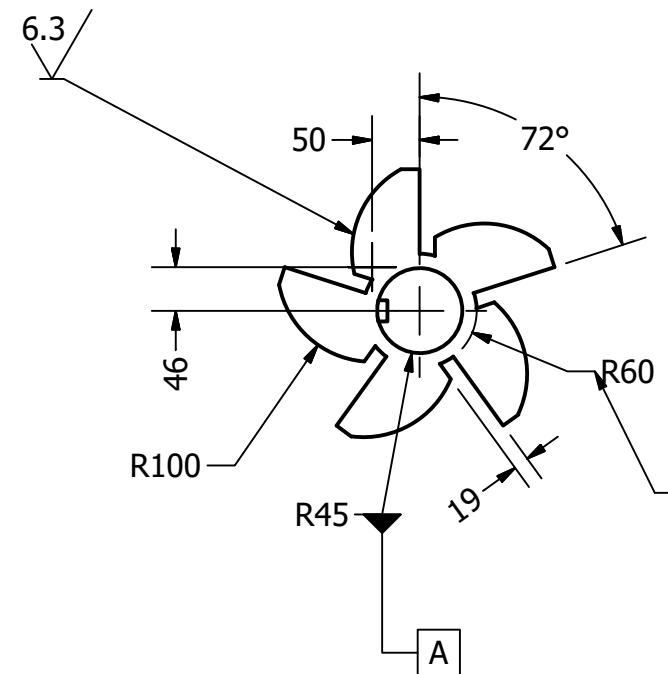
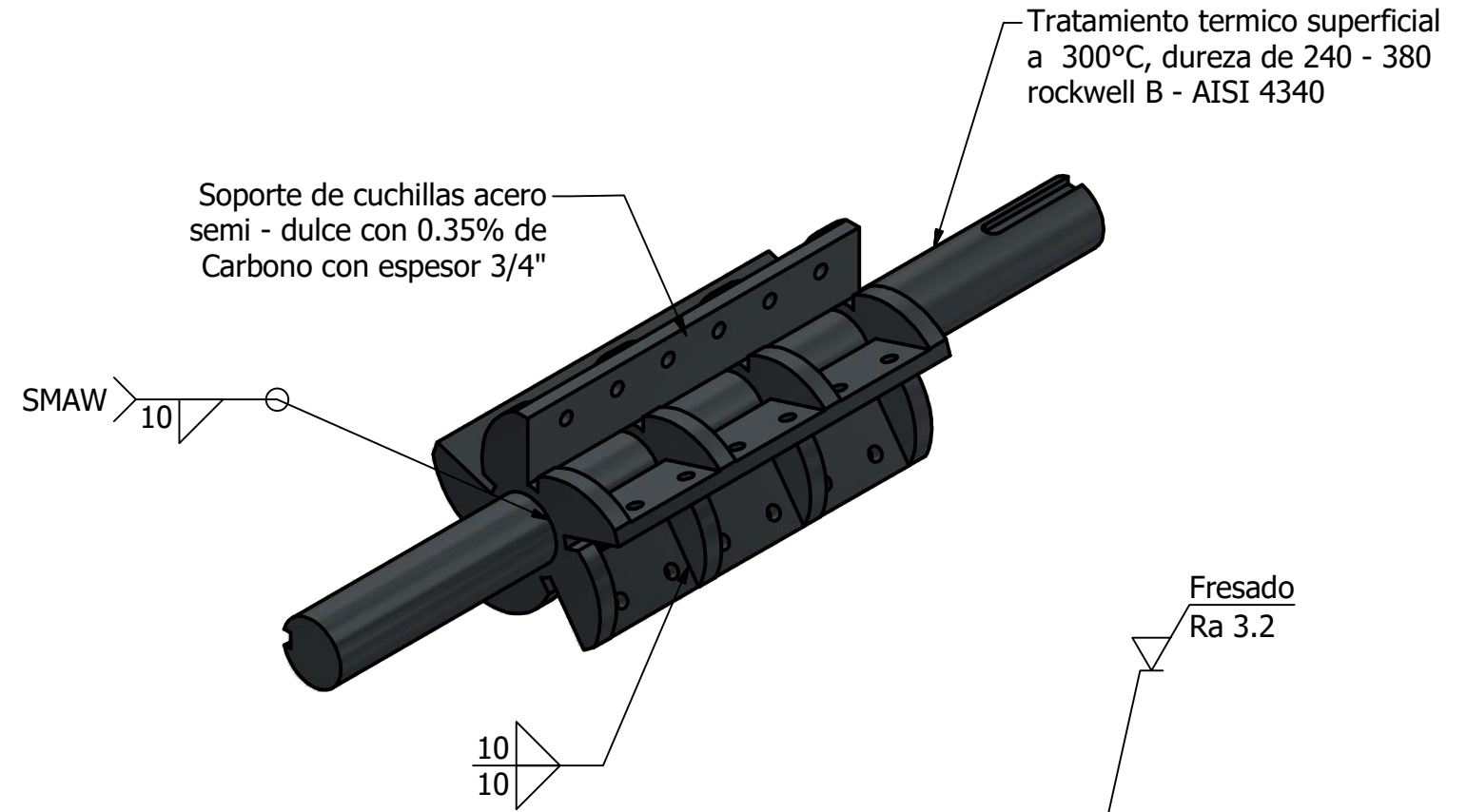
| LISTA DE PARTES | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|---------------------------------------|
| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | MATERIAL Y DIMENSIONES |
| 1 | 1 | PROTECTOR DE CONTRAPESO | ASTM36-3mm 500x410x150 mm |
| 2 | 1 | CONTRAPESO | HIERRO FUNDIDO Ø380x95 mm |
| 3 | 2 | PORTA RODAMIENTO | HIERRO FUNDIDO Ø316X23 mm |
| 4 | 1 | EJE PORTACUCHILLAS | ACERO AISI4340 1202x 150mm |
| 5 | 30 | TUERCAS | Ø5/8" GRADO 8 DIN6923 |
| 6 | 5 | CUCHILLA | ACERO ANTIABRASIVO T-21 , 530x70mm |
| 7 | 12 | PERNO | Ø5/8"x1 1/2"- GRADO 8 |
| 8 | 1 | PROTECTOR DE POLEA | ASTM36-3mm - 1000x410x 150mm |
| 9 | 1 | POLEA | HIERRO FUNDIDO Ø300X120mm |
| 10 | 2 | RODAMIENTO DE BOLAS | 61918 |
| 11 | 30 | ARANDELAS | Ø5/8" - DIN127 |
| 12 | 30 | PERNO | Ø5/8"x2" GRADO 8 |

| | | | |
|------------------------|--|---|---|
| FECHA: 14/10/2020 | NOMBRE |  Universidad Continental |  |
| DIBUJADO | ROBERTH RAMOS | | |
| REVISADO | J. SANCHEZ | | |
| ESCALA: 1:10 | NOMBRE DEL PLANO PLANO DE CONJUNTO 2 | PLANO No: 2 de 3 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2.1

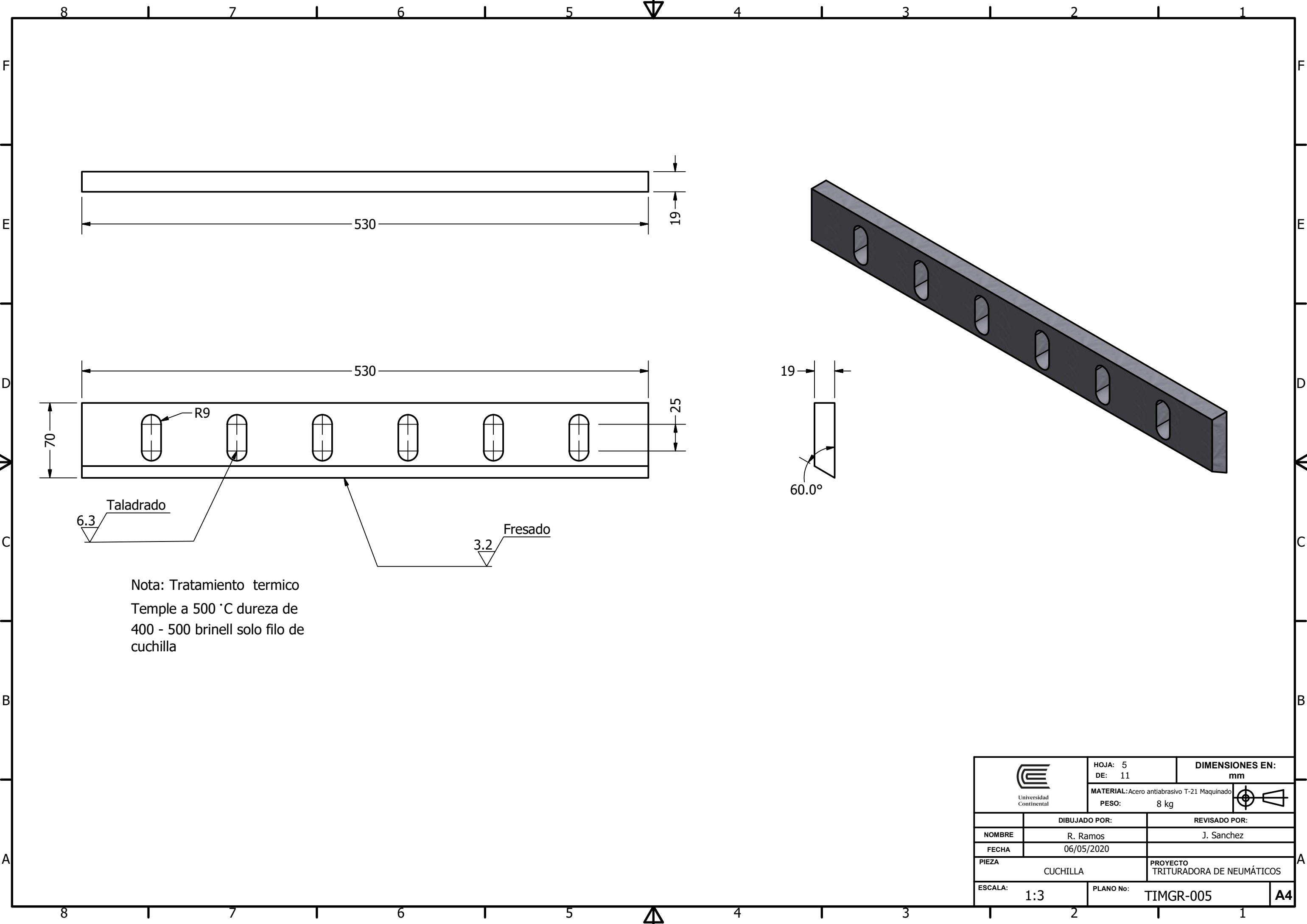


Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2



DETAIL A
SCALE 1 / 4

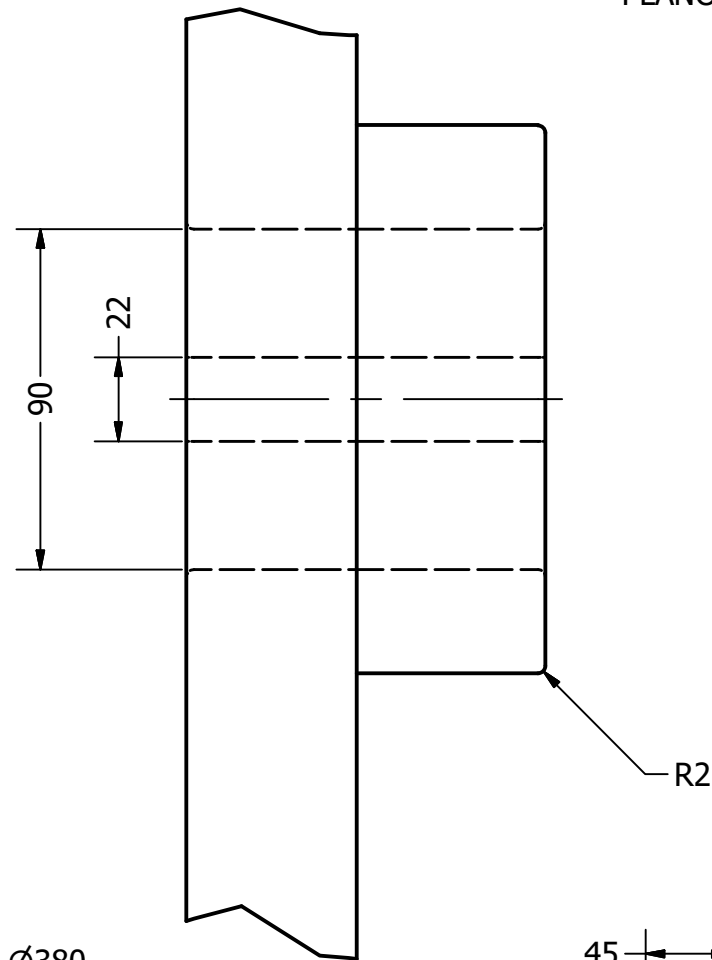
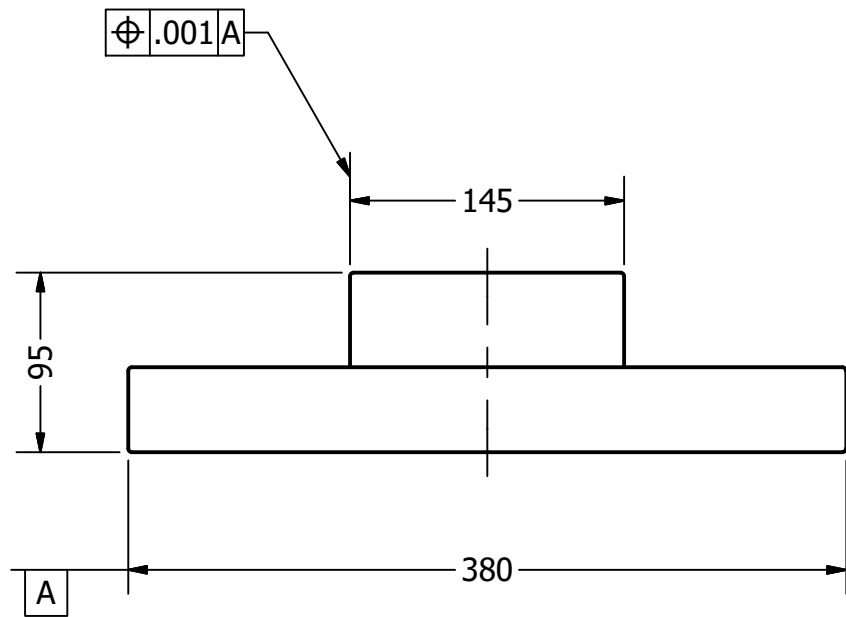
| | | |
|--|--|-----------------------|
|  Universidad Continental | HOJA: 1 DE: 6 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: AISI 4340 / ASTM 36 3/4" PESO: 104.5 kg | |
| DIBUJADO POR: NOMBRE: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez | |
| FECHA: 06/05/2020 | | |
| PIEZA: PORTA-CUCHILLAS | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMATICOS | |
| ESCALA: 1:8 | PLANO No: TIMGR-004 | A4 |



Nota: Tratamiento termico
 Temple a 500 °C dureza de
 400 - 500 brinell solo filo de
 cuchilla

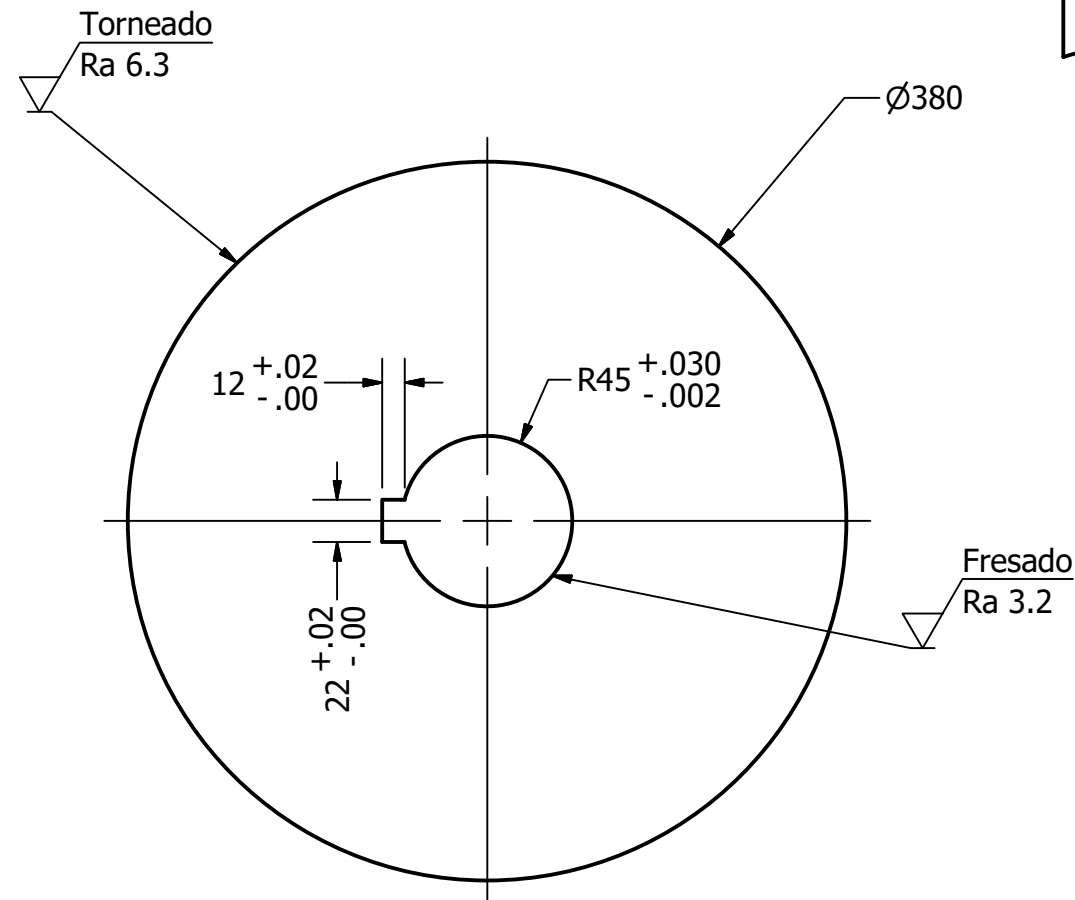
| | | |
|---|---|-----------------------------|
|  Universidad Continental | HOJA: 5 DE: 11 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: Acero antiabrasivo T-21 Maquinado PESO: 8 kg | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA: 06/05/2020 | |
| PIEZA: CUCHILLA | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS | |
| ESCALA: 1:3 | PLANO No: TIMGR-005 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2

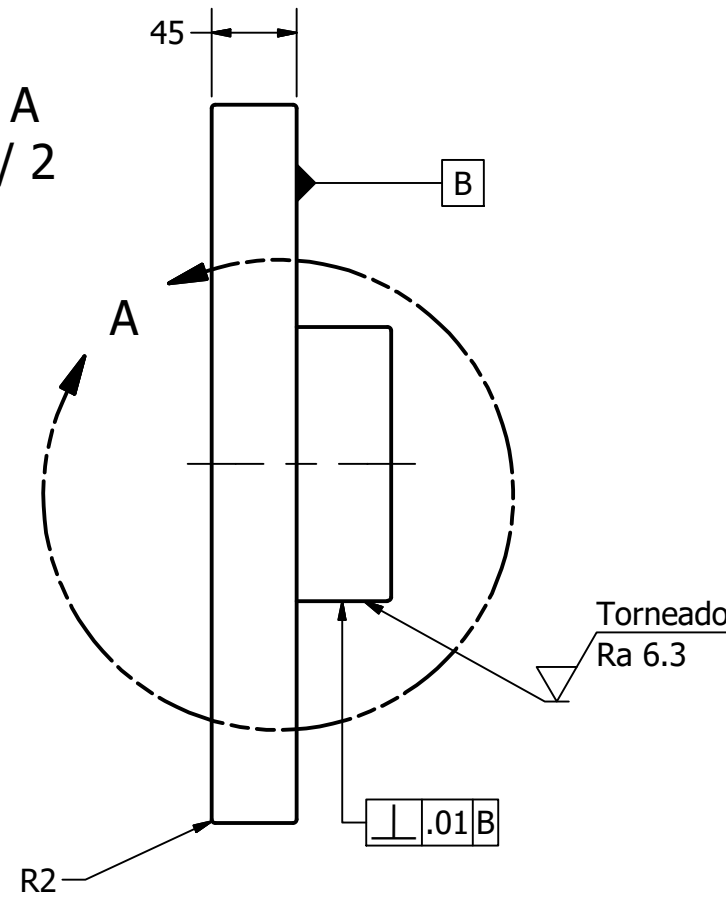


Tratamiento térmico a 600°C
dureza superficial 170 - 229
Brinell

Pieza previamente fundida antes
de maquinado rugosidad de
superficie en zonas no indicadas
con Ra 6.3 salvo zonas indicadas
con Ra 3.2

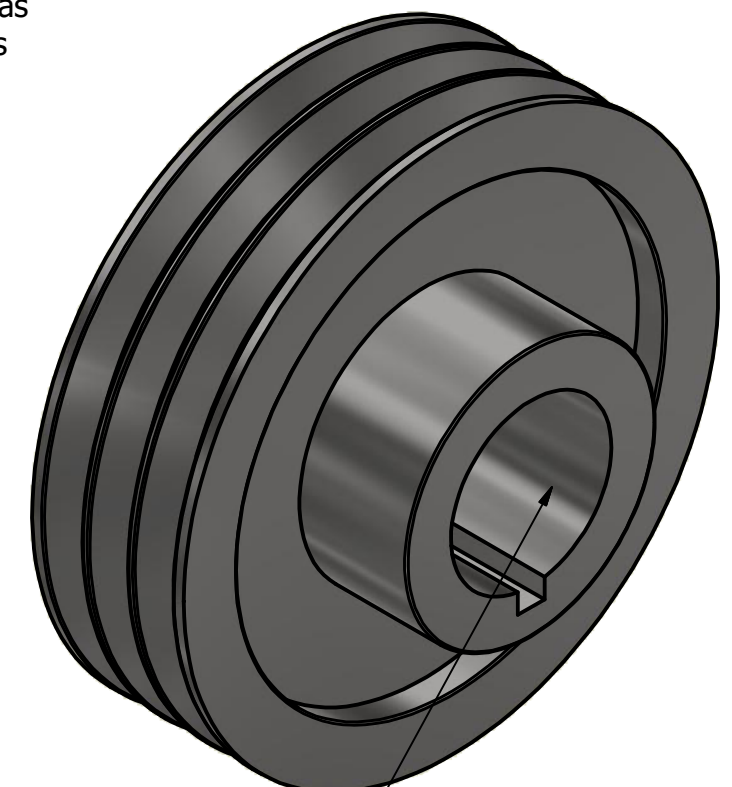


DETAIL A
SCALE 1 / 2



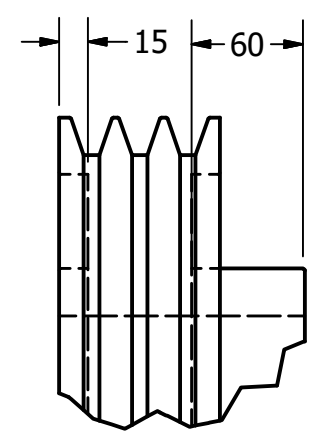
| | | |
|---|---|-----------------------------|
|  Universidad Continental | HOJA: 2 DE: 6 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: HIERRO FUNDIDO PESO: 37.9 kg | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA 06/05/2020 | |
| PIEZA CONTRAPESO | PROYECTO TRITURADORA DE NEUMÁTICOS | |
| ESCALA: 1:4 | PLANO No: TIMGR-007 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2.3

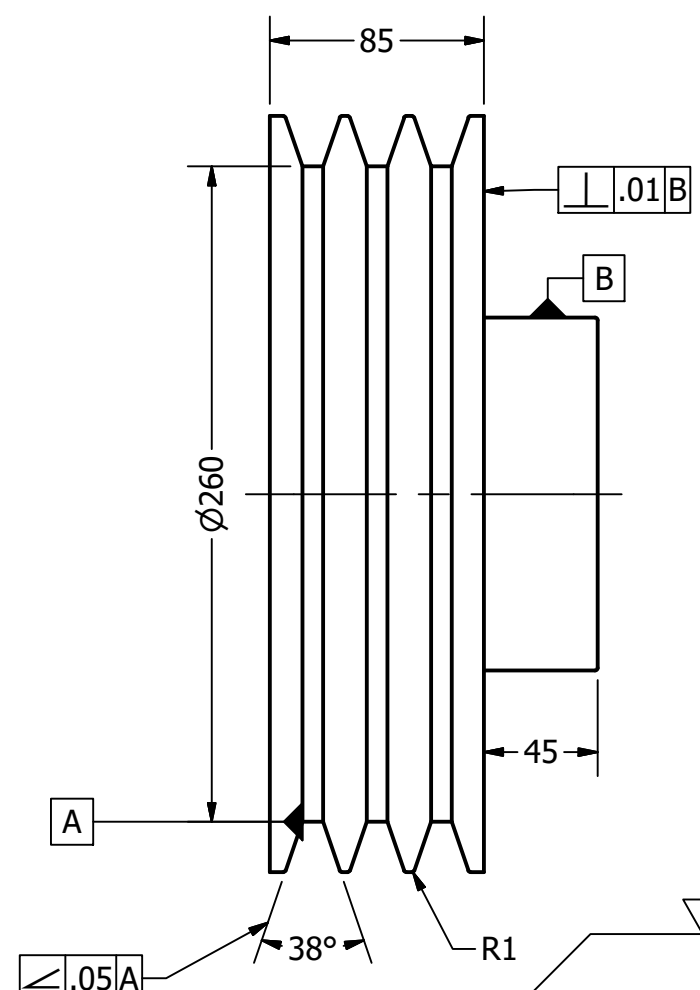


Tratamiento térmico a 600°C
dureza superficial 170 - 229
Brinell

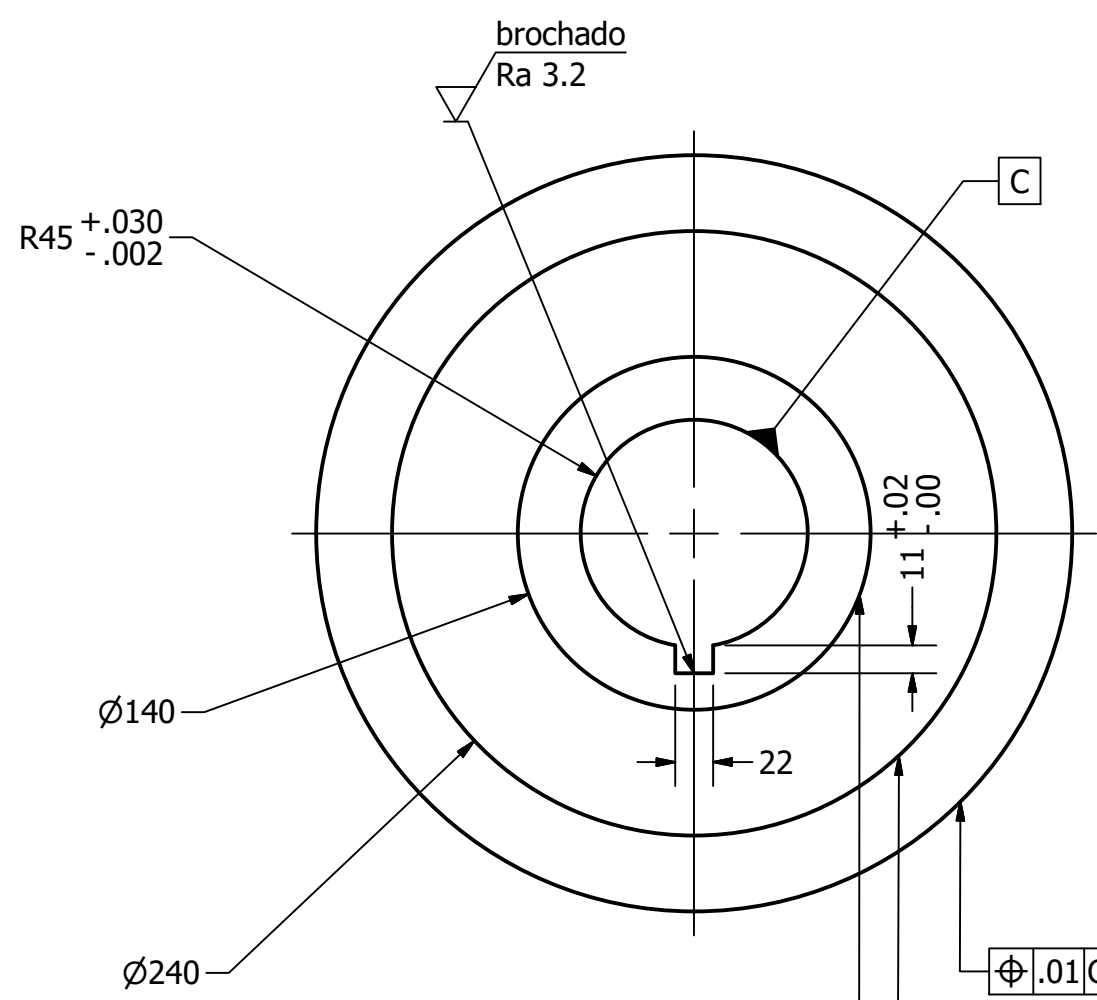
Pieza previamente fundida antes
de maquinado rugosidad de
superficie en zonas no indicadas
con Ra 6.3 salvo zonas indicadas
con Ra 3.2



DETAIL A
SCALE 1:4



Torneado
Ra 3.2

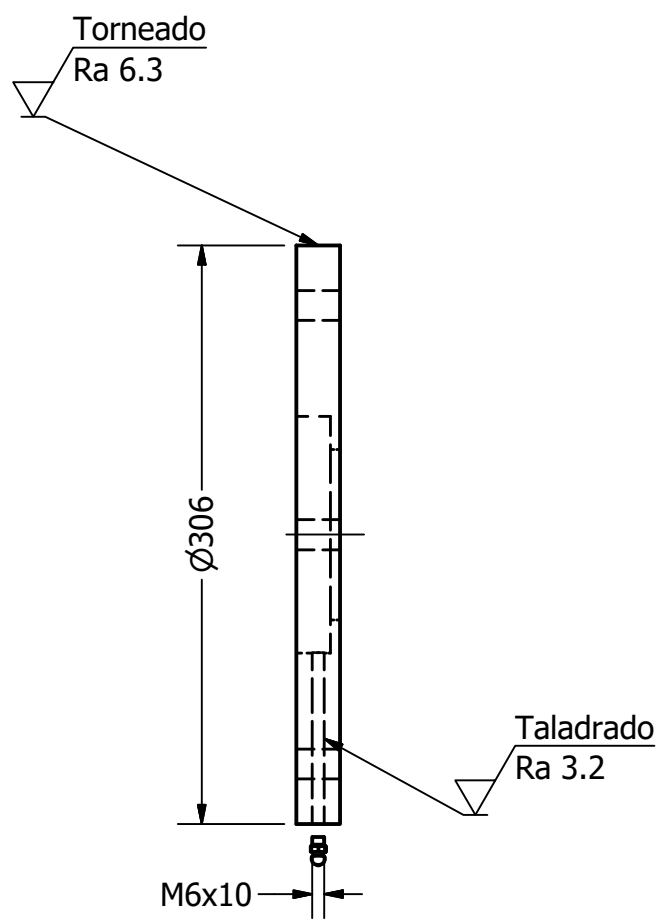
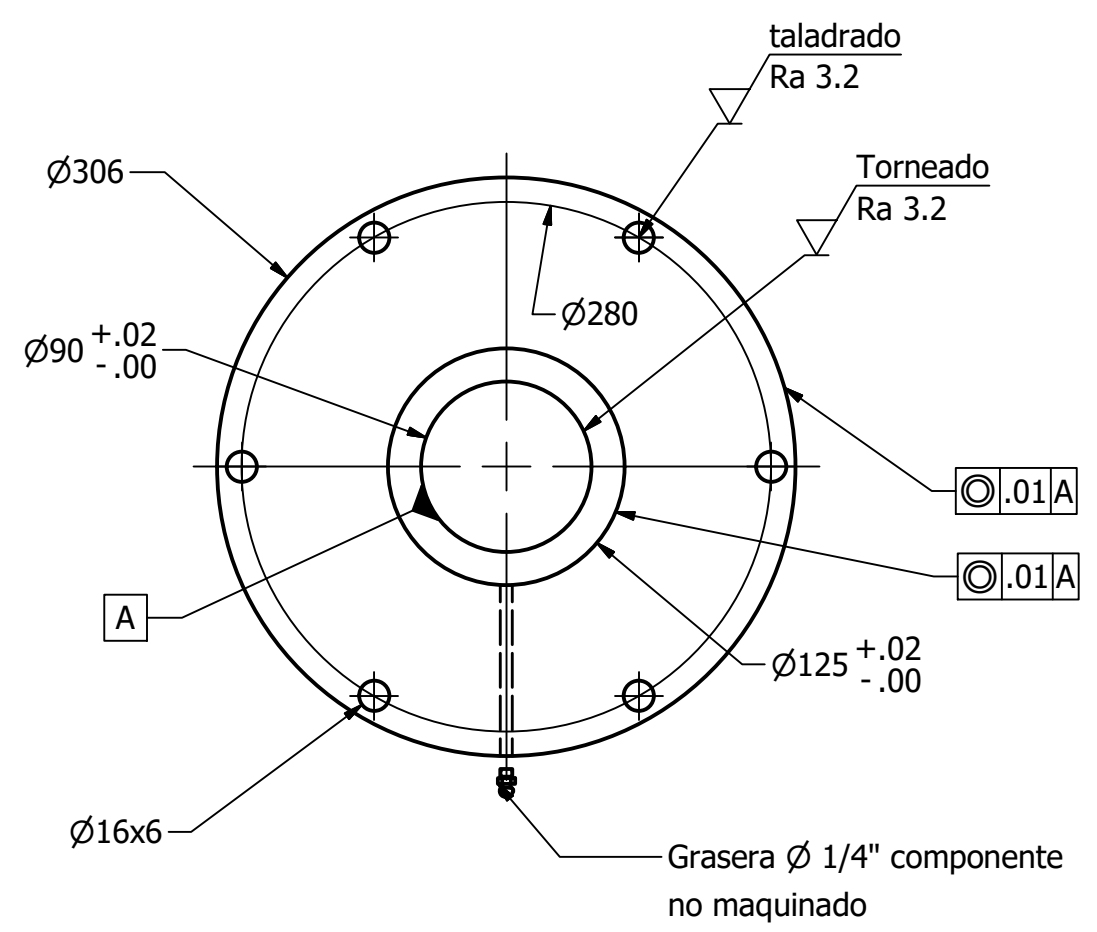
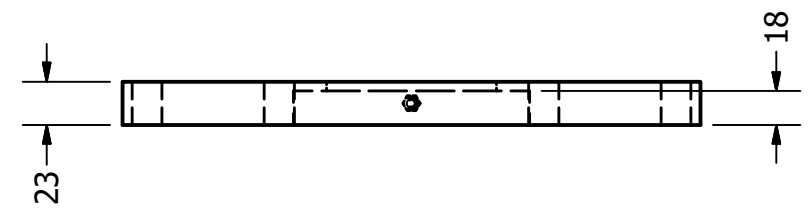
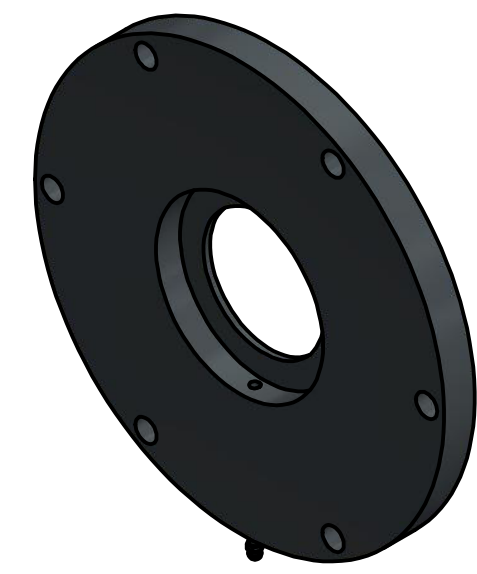


Tratamiento termico
superficial a 600°C
dureza 170 - 223
brinell

| | | |
|-------------|--------------------------|---------------------------------------|
| | HOJA: 3 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 6 | |
| | MATERIAL: Hierro Fundido | |
| | PESO: 32.6 kg | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA: 06/05/2020 | |
| PIEZA | POLEA | PROYECTO TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 1:4 | PLANO No: TIMGR-006 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2.4

Pieza previamente fundida antes de maquinado rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2

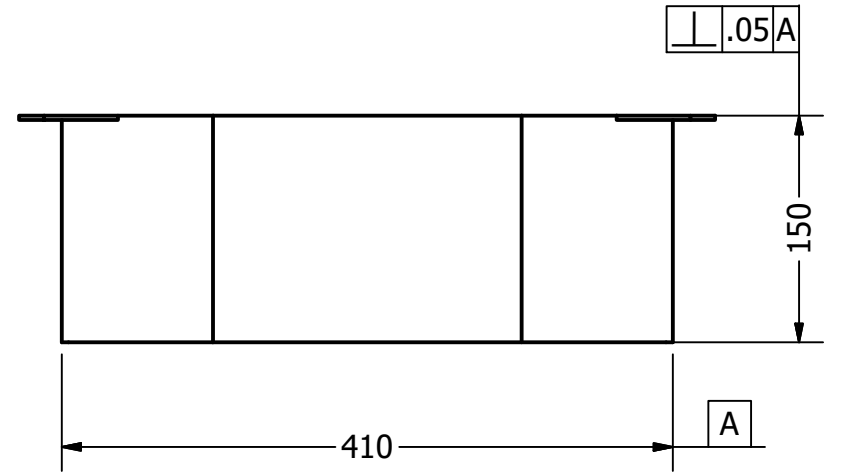
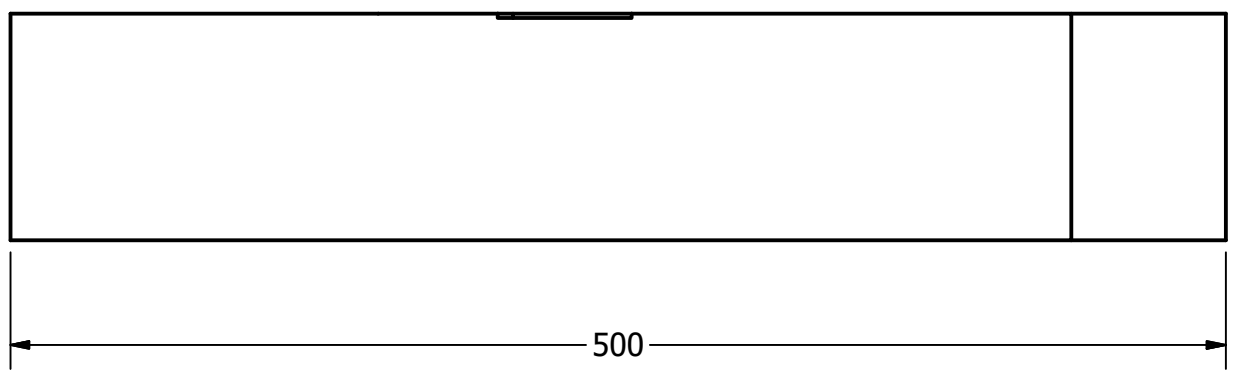
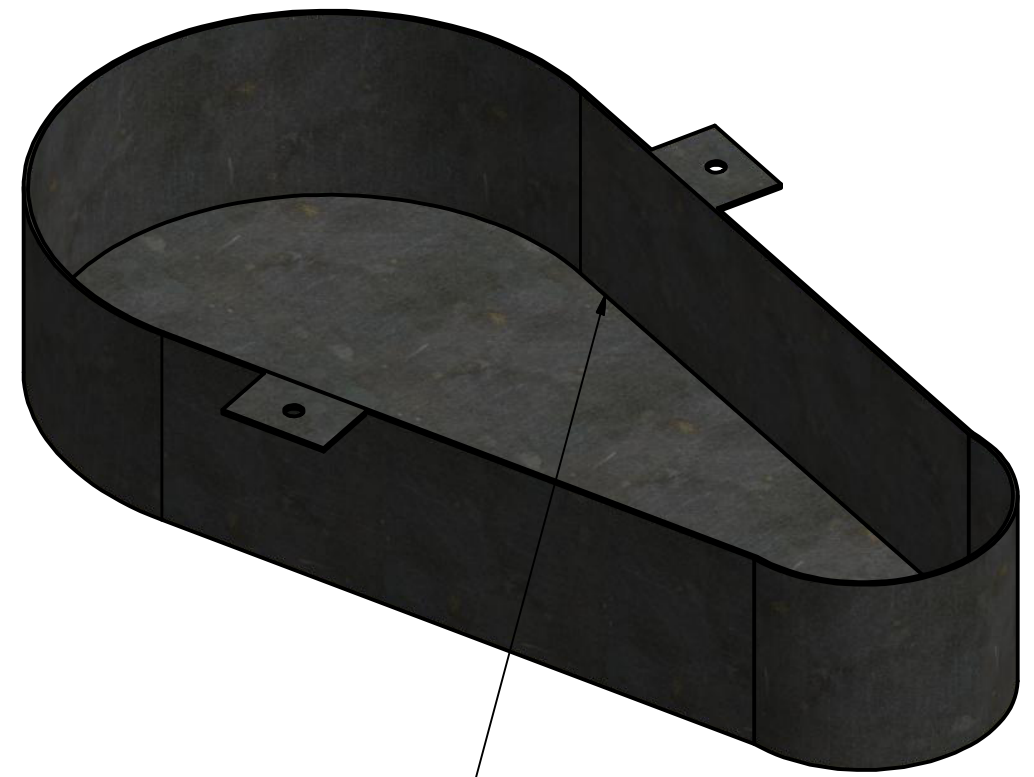
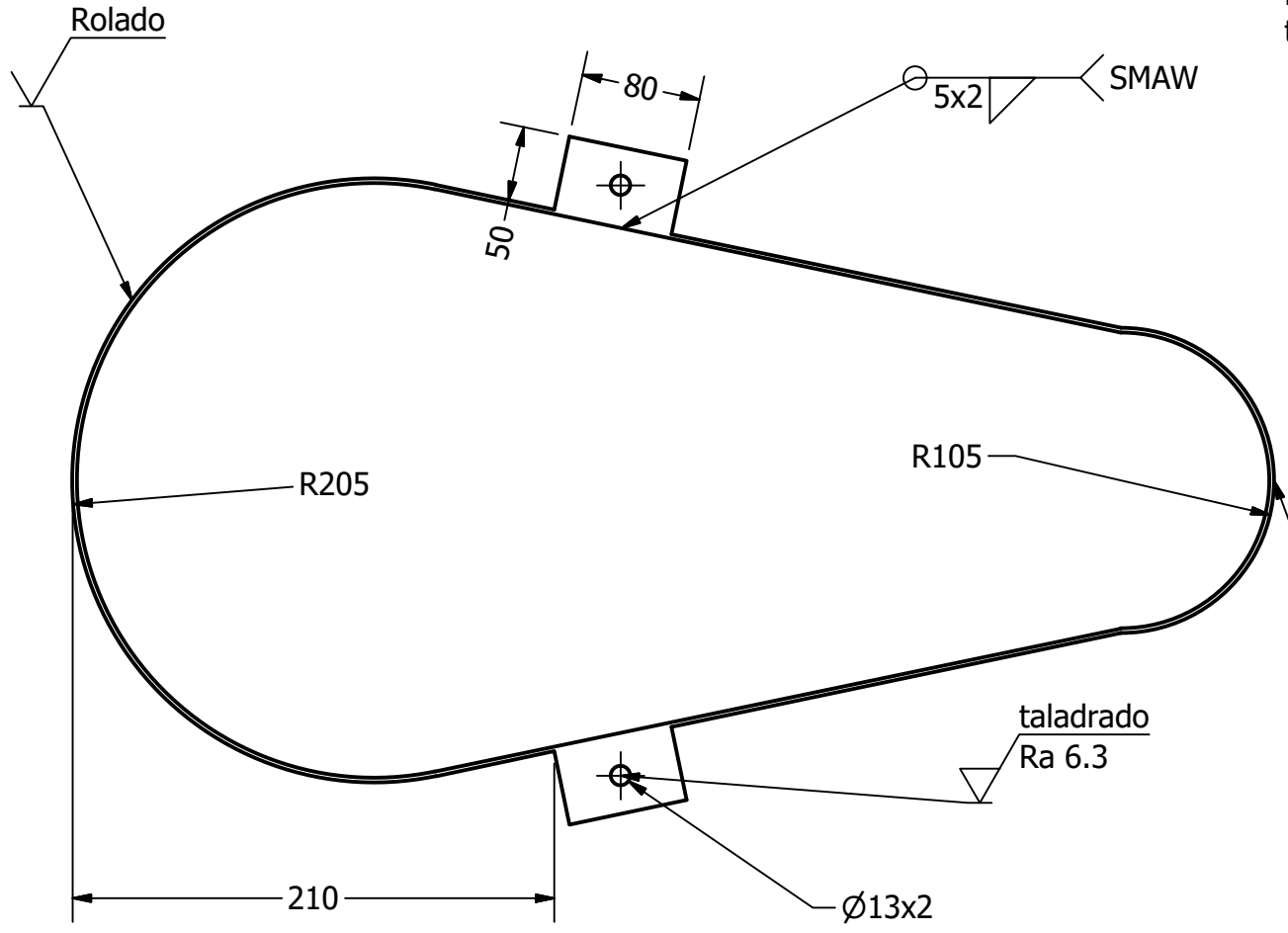


Hierro fundido gris Cr 6
tratamiento termico a 600°C
proceso de enfriamiento a
razon de 3°C - 11°C por hora

| | | |
|-------------|--------------------------|------------------------------------|
| | HOJA: 4 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 6 | |
| | MATERIAL: Hierro fundido | |
| | PESO: 7 kg. | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA: 06/05/2020 | |
| PIEZA | PORTA RODAMIENTO | PROYECTO TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 1:4 | PLANO No: TIMGR-008 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2.5

No requiere tratamiento térmico

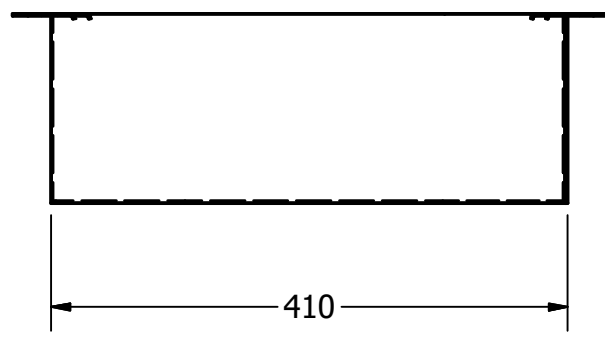
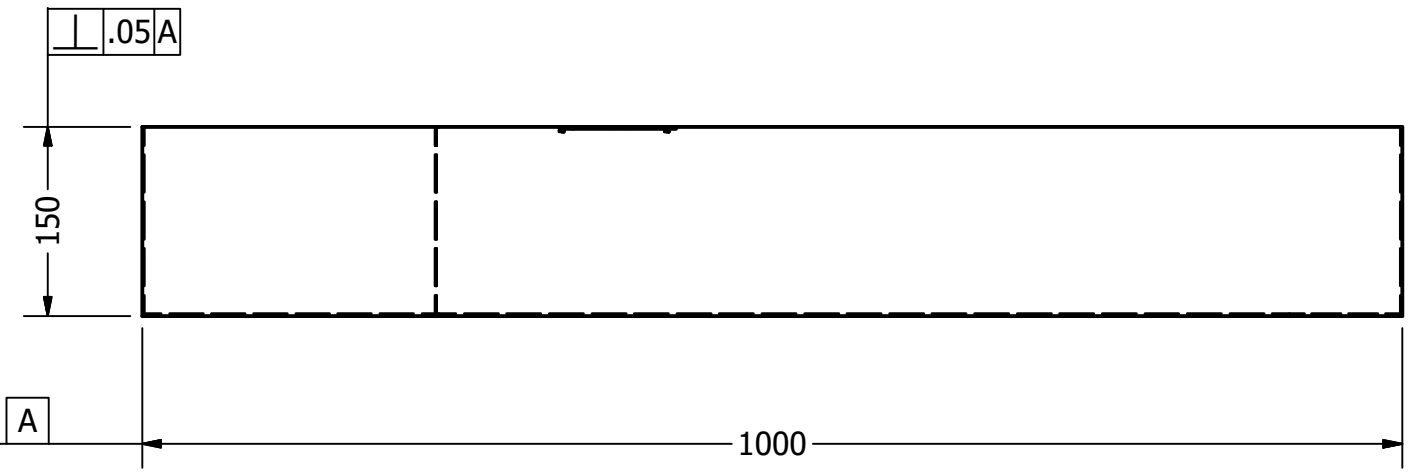
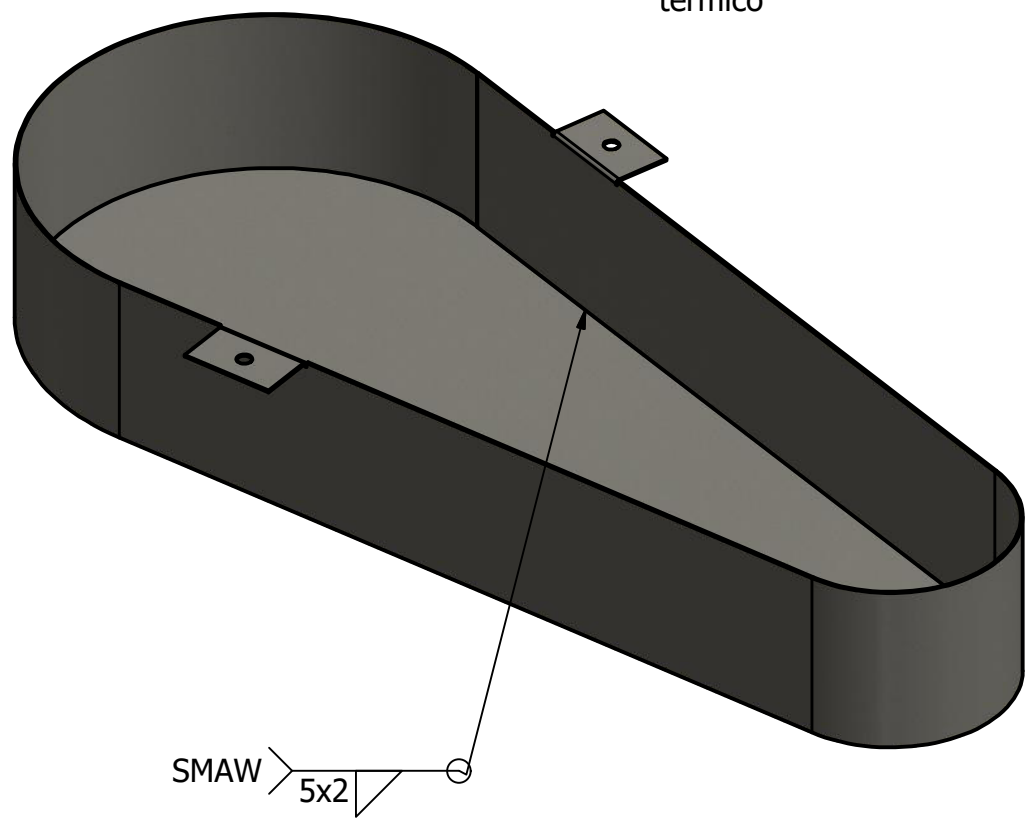
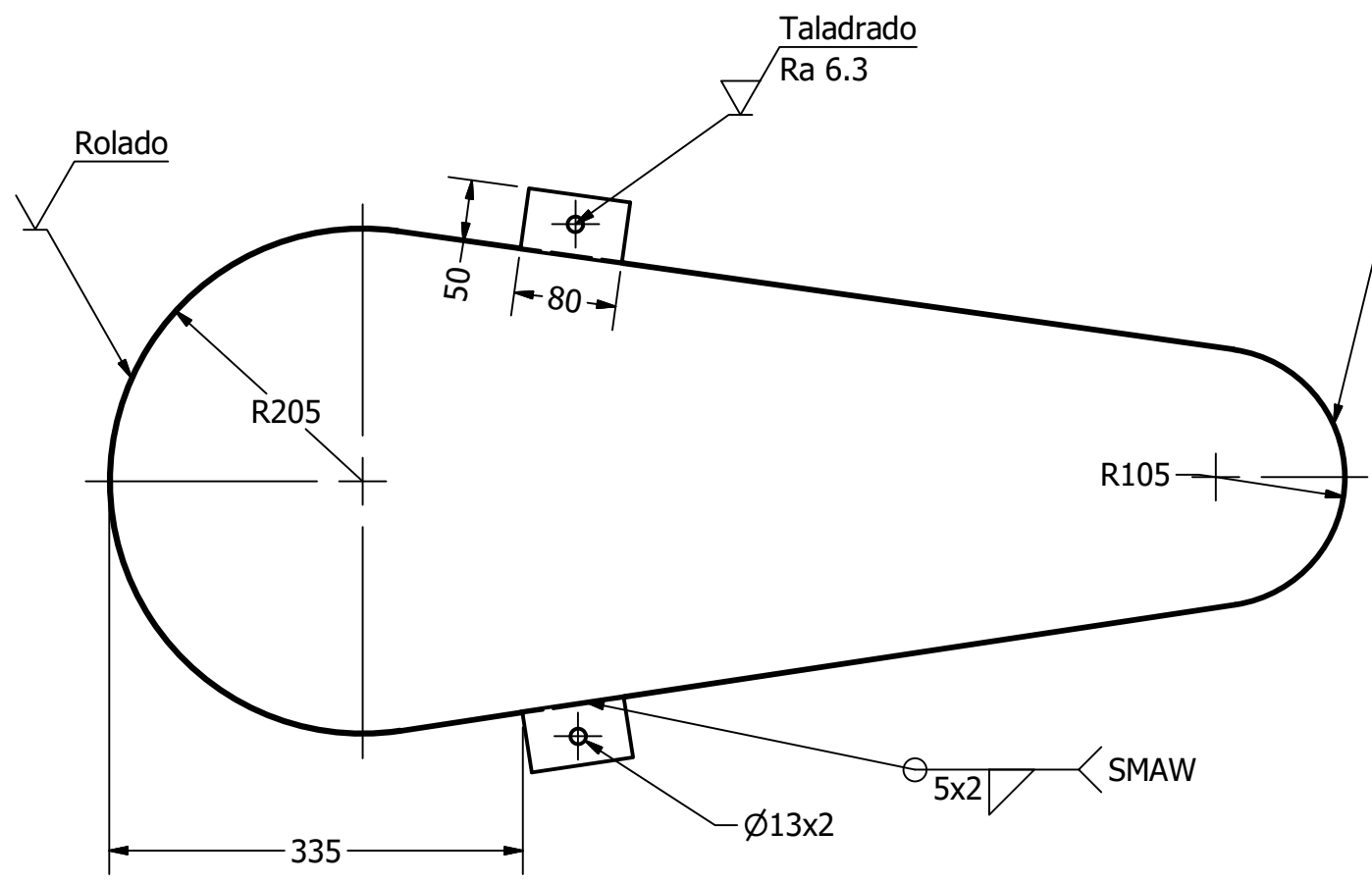


Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2

| | | |
|--|--|---|
|  Universidad Continental | HOJA: 5 DE: 6 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: ASTM36-3mm PESO: 12.5 kg |  |
| DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez | |
| FECHA: 07/05/2020 | | |
| PIEZA: PROTECTOR DE CONTRAPESO | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS | |
| ESCALA: 1:5 | PLANO No: TIMGR-011 | A4 |

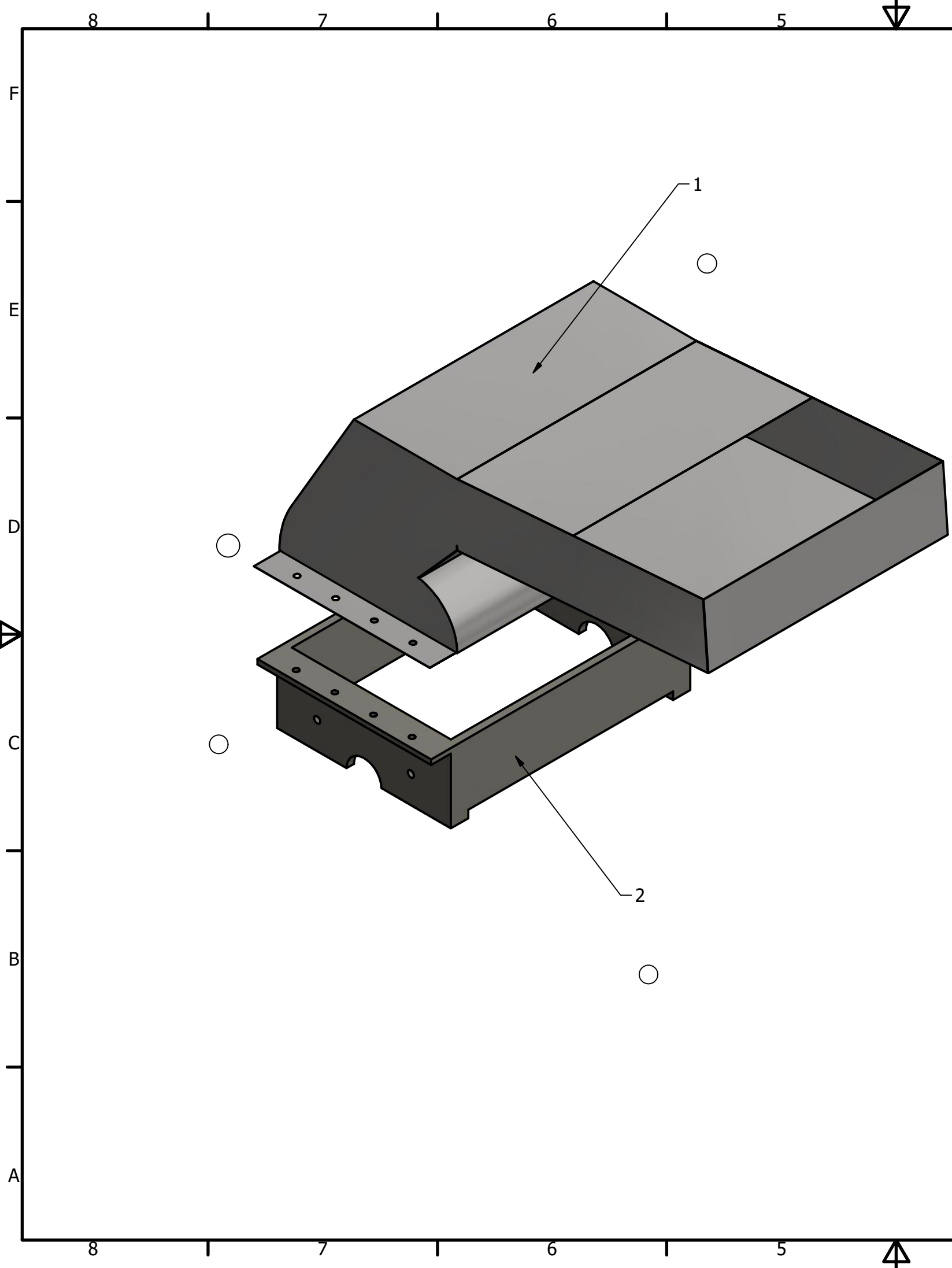
PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 2.6

No requiere tratamiento térmico


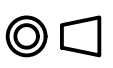


Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2

| | | |
|--|--|---|
|  Universidad Continental | HOJA: 6 DE: 6 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: ASTM36-3mm PESO: 18.3 Kg |  |
| DIBUJADO POR: NOMBRE: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez | |
| FECHA: 07/05/2020 | | |
| PIEZA: PROTECTOR DE POLEA | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS | |
| ESCALA: 1:6 | PLANO No: TIMGR:010 | A4 |

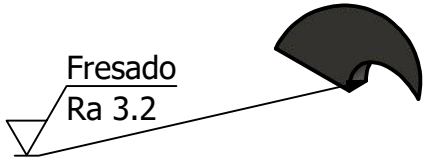
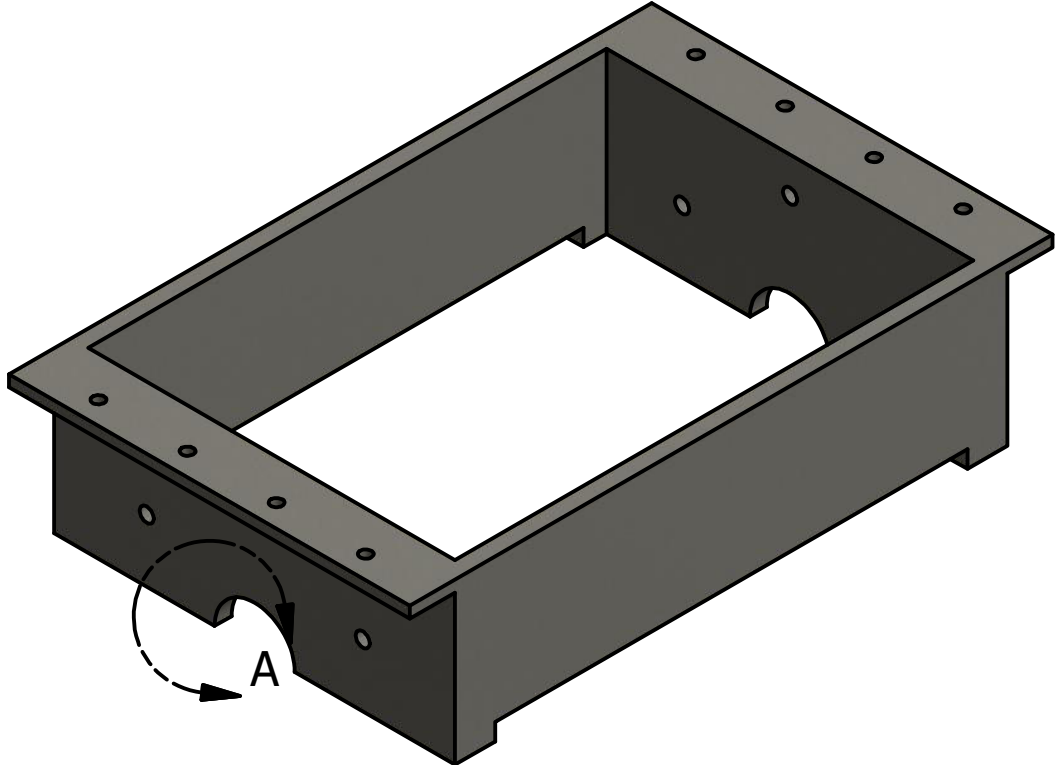
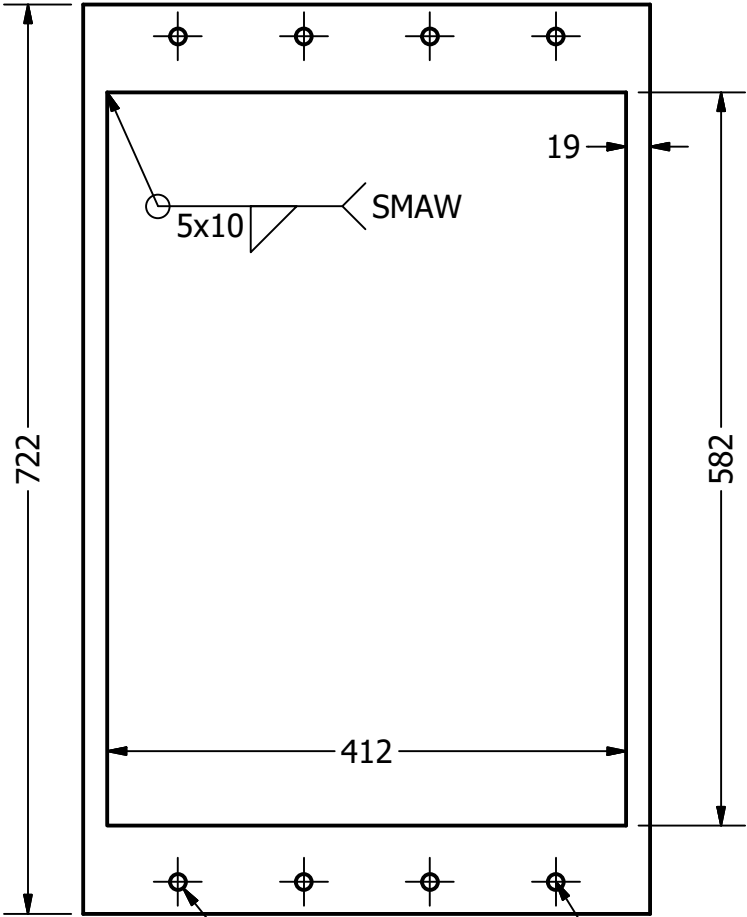


| LISTA DE PARTES | | | |
|-----------------|----------|-------------------------|---|
| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN | MATERIAL Y DIMENSIONES |
| 1 | 1 | TOLVA DE ALIMENTACIÓN | ASTM36-3mm 1100x722x400 mm |
| 2 | 1 | CAJA PRINCIPAL SUPERIOR | ACERO SEMI - DULCE 3/4"- 620x450x180 |
| 3 | 8 | PERNOS | Ø1/2"x1" - GRADO 5 |
| 4 | 8 | TUERCAS | Ø1/2" - DIN6331 |

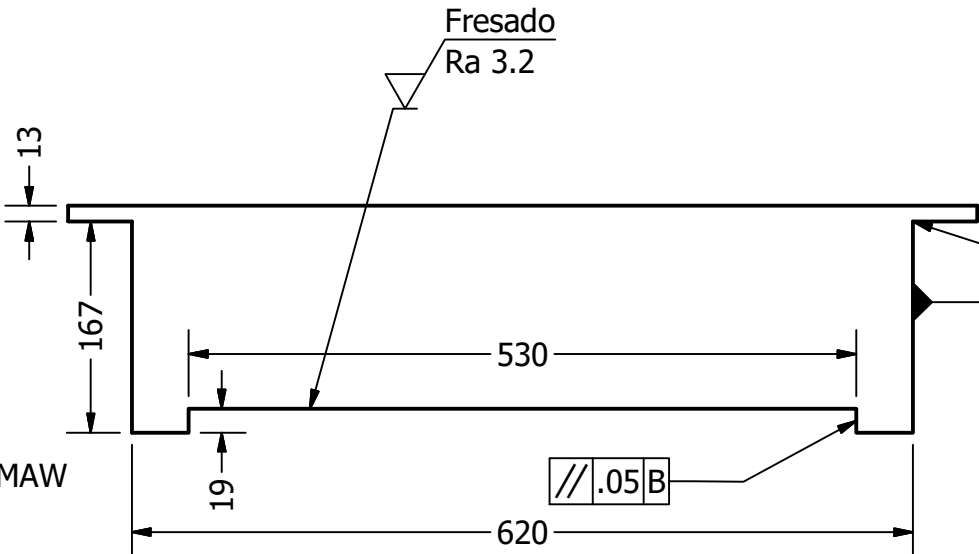
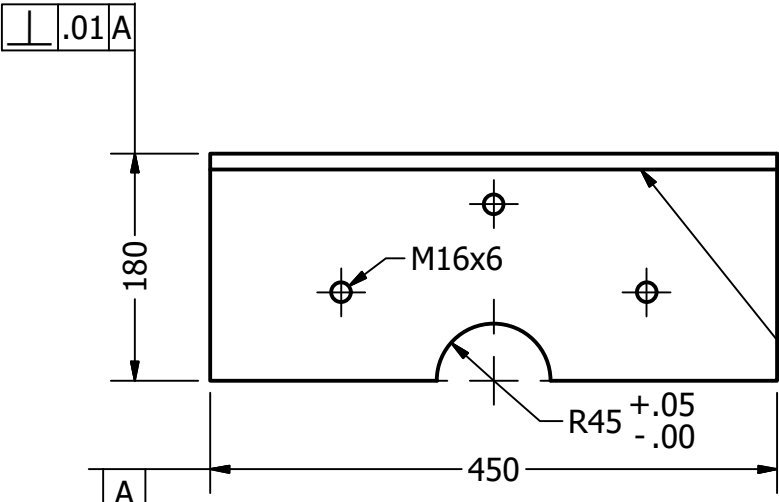
| | | | |
|------------------------|--|---|---|
| FECHA: 14/10/2020 | NOMBRE |  Universidad Continental |  |
| DIBUJADO | ROBERTH RAMOS | | |
| REVISADO | J. SANCHEZ | | |
| ESCALA: 1:10 | NOMBRE DEL PLANO PLANO DE CONJUNTO 2 | PLANO No: 3 de 3 | A4 |


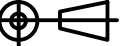
PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 3.1

Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2



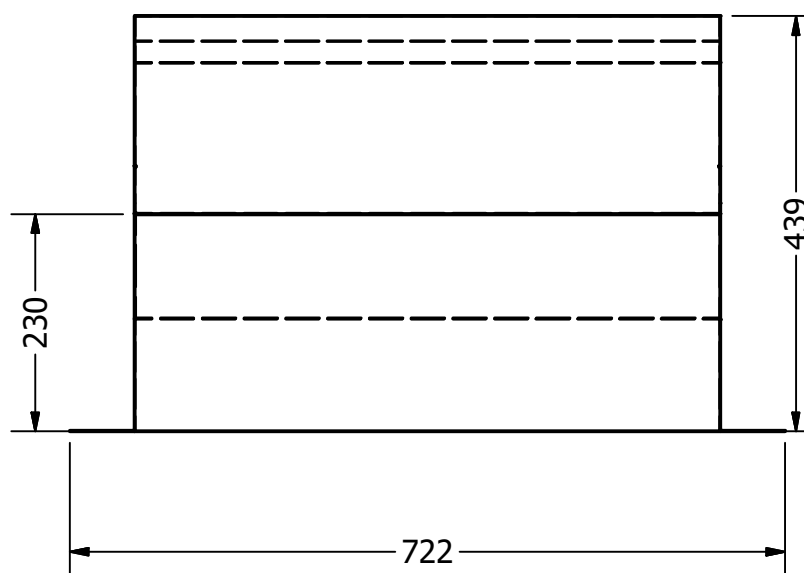
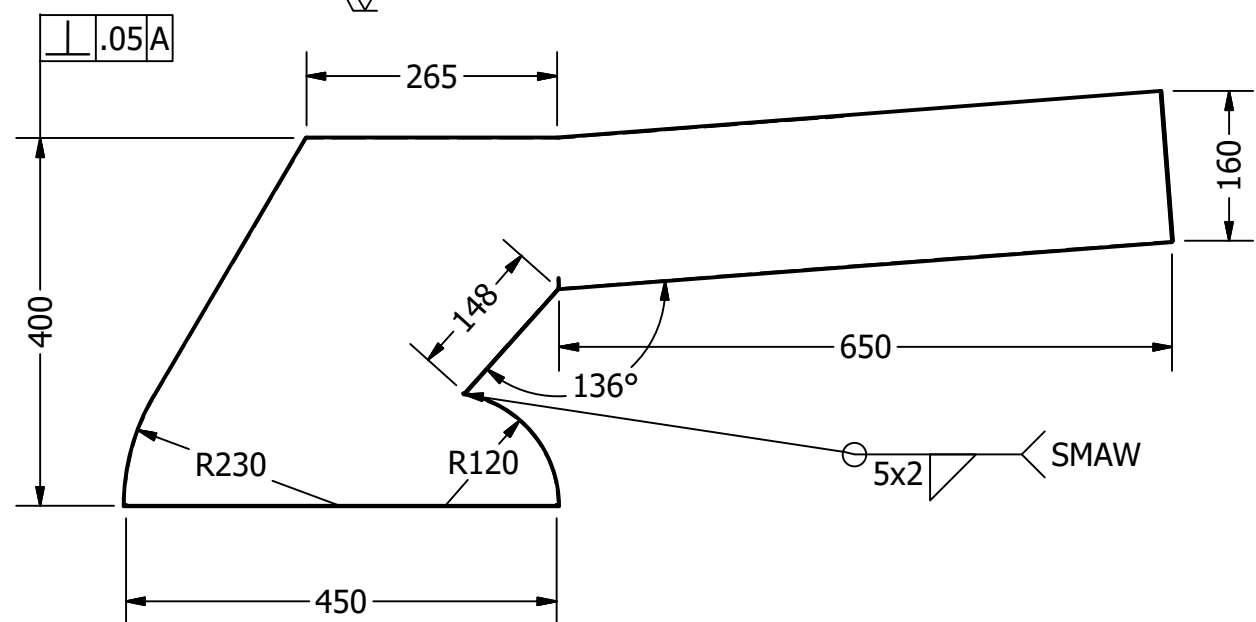
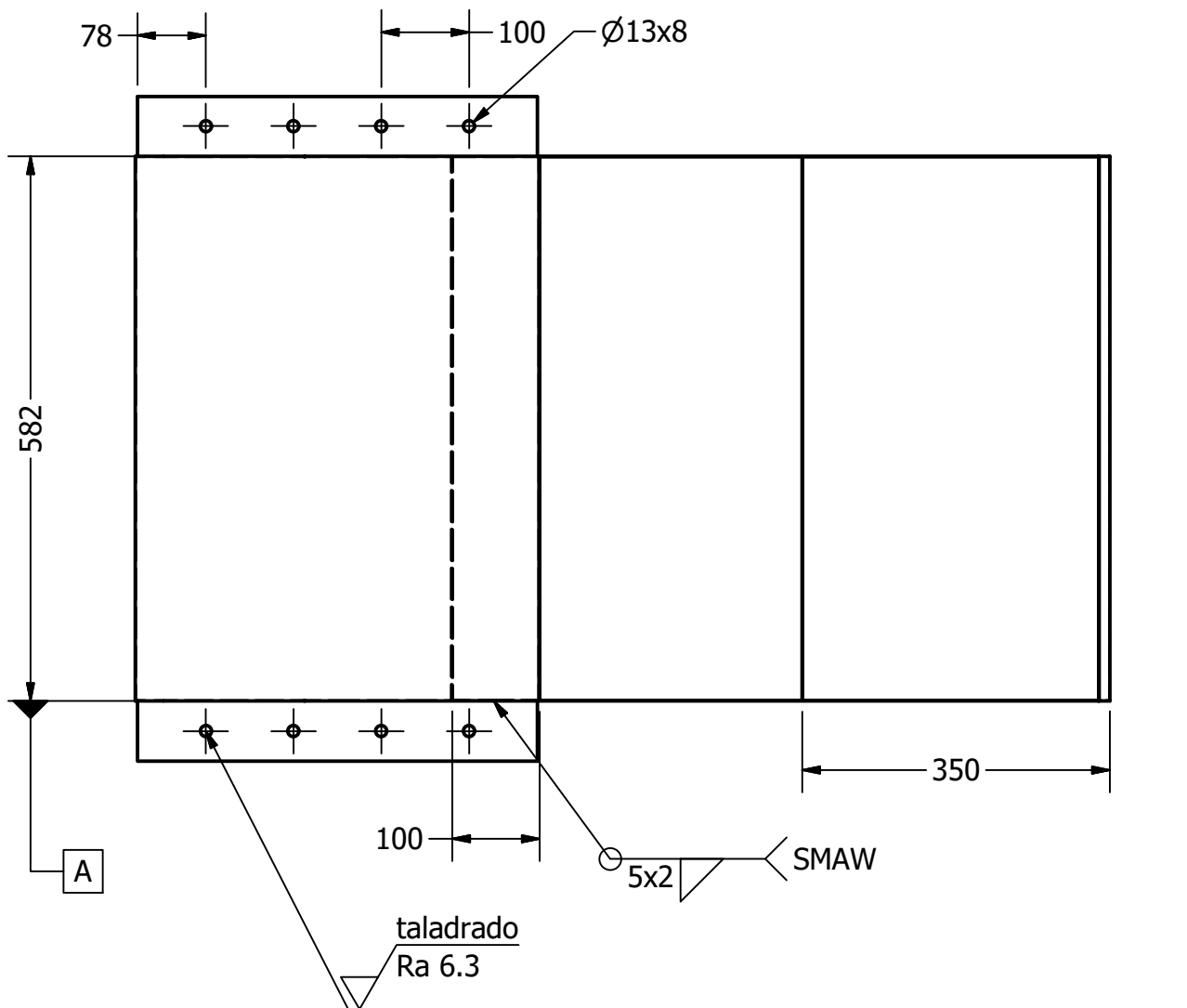
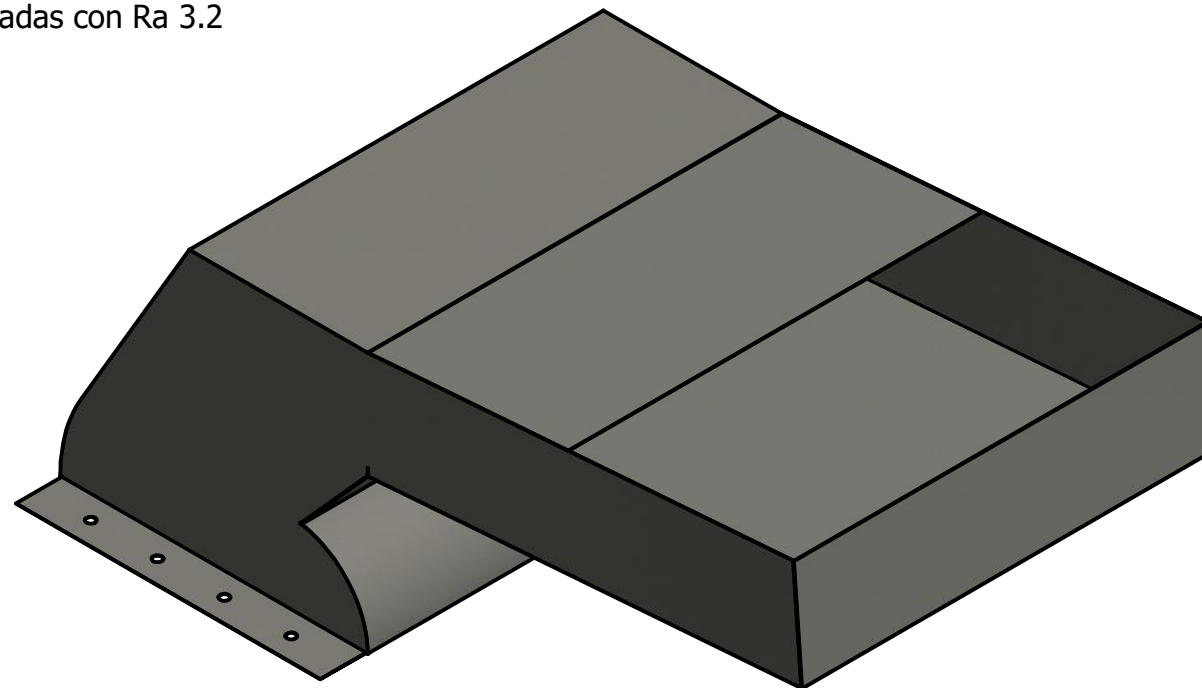
DETAIL A
SCALE 1 / 6



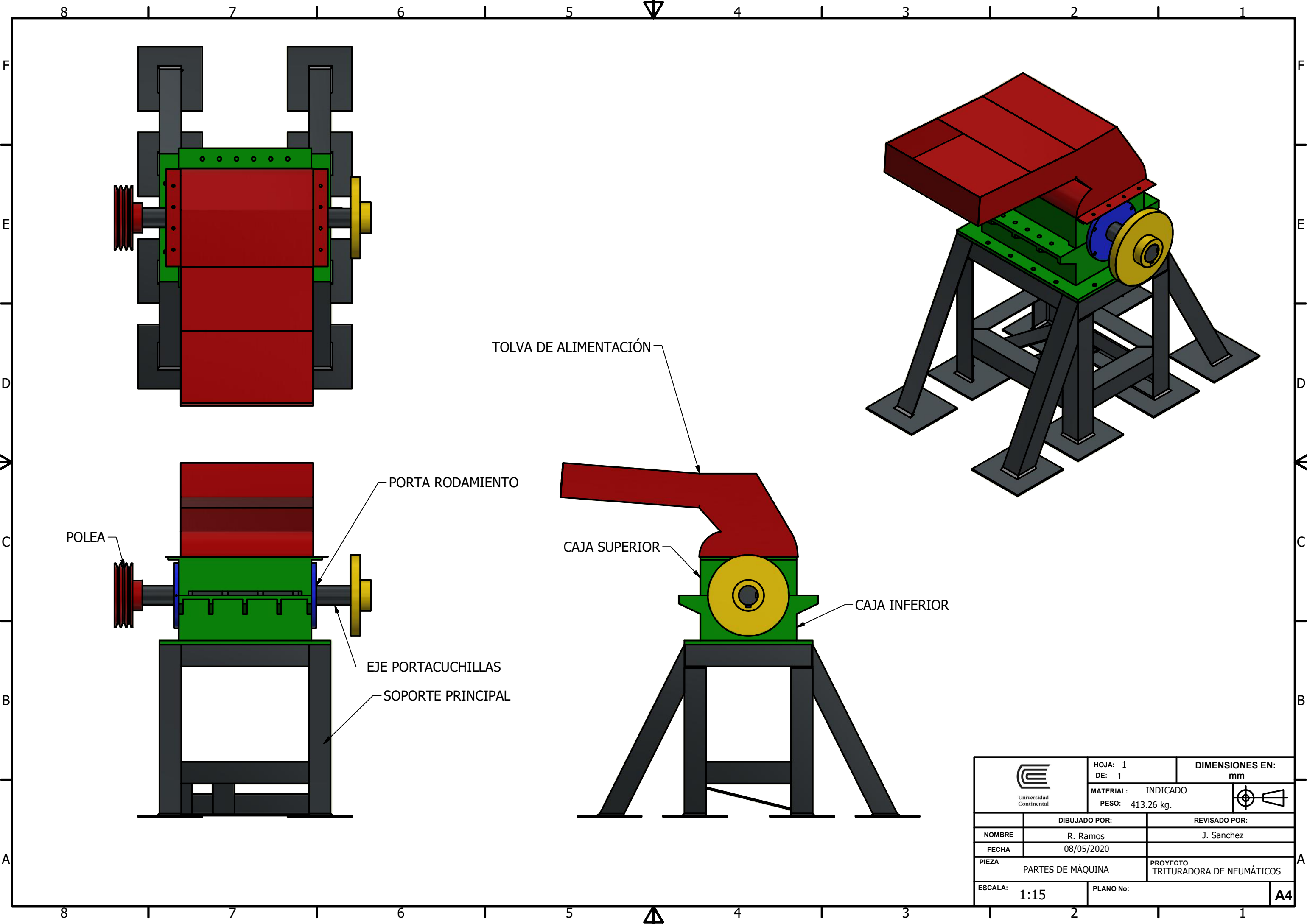
| | | |
|---|---------------------|---|
|  | HOJA: 1 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 2 | |
| MATERIAL: Acero semi-dulce 3/4" soldado | |  |
| PESO: 50.9 kg | | |
| DIBUJADO POR: R. Ramos | | REVISADO POR: J. Sanchez |
| FECHA: 06/05/2020 | | |
| PIEZA: CAJA SUPERIOR | | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 1:6 | PLANO No: TIMGR-003 | A4 |

PLANO DE DETALLE DEL CONJUNTO 3.1

Rugosidad de superficie en zonas no indicadas con Ra 6.3 salvo zonas indicadas con Ra 3.2



| | | |
|--|-------------------------|---|
|  Universidad Continental | HOJA: 2 | DIMENSIONES EN: mm |
| | DE: 2 | |
| | MATERIAL: ASTM 36 - 3mm |  |
| | PESO: 32.2 Kg. | |
| | DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez |
| | FECHA: 06/05/2020 | |
| PIEZA | TOLVA DE ALIMENTACIÓN | PROYECTO |
| | | TRITURADORA DE NEUMÁTICOS |
| ESCALA: 1:4 | PLANO No: TIMGR-009 | A4 |



TOLVA DE ALIMENTACIÓN

PORTA RODAMIENTO


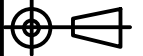
POLEA

EJE PORTACUCHILLAS

SOPORTE PRINCIPAL

CAJA SUPERIOR

CAJA INFERIOR

| | | |
|---|--|---|
|  Universidad Continental | HOJA: 1 DE: 1 | DIMENSIONES EN: mm |
| | MATERIAL: INDICADO PESO: 413.26 kg. |  |
| DIBUJADO POR: R. Ramos | REVISADO POR: J. Sanchez | |
| FECHA: 08/05/2020 | | |
| PIEZA: PARTES DE MÁQUINA | PROYECTO: TRITURADORA DE NEUMÁTICOS | |
| ESCALA: 1:15 | PLANO No: | A4 |