

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Diseño y manufactura de trituradora de vidrio para centro de acopio en calle
Navidad, Panajachel, Sololá

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado
por
Juan Fernando Uribe Morán
José Fernando Velásquez Mansilla
José Rodrigo Chavarría Martínez
José Andrés Ruiz Fajardo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala
2018

Diseño y manufactura de trituradora de vidrio para centro de acopio en calle
Navidad, Panajachel, Sololá

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Diseño y manufactura de trituradora de vidrio para centro de acopio en calle
Navidad, Panajachel, Sololá

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado
por
Juan Fernando Uribe Morán
José Fernando Velásquez Mansilla
José Rodrigo Chavarría Martínez
José Andrés Ruiz Fajardo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala
2018

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Víctor Hugo Ayerdi

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Rony Herrarte

(f) 
Ing. Andrés Viay

Guatemala 23 de noviembre de 2018

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE CUADROS.....	xxi
RESUMEN	xxiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general del megaproyecto.....	3
B. Objetivos generales por módulo.....	3
1. Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico	3
2. Carcasa y estructura	3
C. Objetivos específicos del módulo.....	3
1. Objetivos específicos de ingeniería de sistemas y sistema eléctrico	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	7
IV. MARCO TEÓRICO	9
A. Ingeniería de sistemas.....	9
1. Ingeniería de sistemas y su diferencia con otras disciplinas	9
2. Método de Ingeniería de Sistemas	10
3. Requerimientos del Sistema.....	13
4. Verificación y validación de requerimientos	13
B. Máquinas eléctricas	14
1. Conceptos elementales	14
2. Introducción a máquinas AC y DC.....	15
3. Conceptos para la selección de un motor.....	17
4. Diferencia entre motor AC y DC	18
5. Calibre del cable.....	18
6. Instalaciones eléctricas	19
C. Equipo de seguridad	20
1. Protección auditiva	20

2.	Protección para manos.....	20
3.	Calzado de protección.....	20
4.	Protección ocular.....	20
D.	Propiedades y características del vidrio	21
E.	Leyes de desintegración	22
1.	Ley de Rittienger	22
2.	Ley de Kick.....	23
3.	Ley de Bond	23
F.	Mecanismos de fractura.....	25
G.	Molino de martillos.....	26
H.	Matriz de riesgos	27
	¿Qué es una matriz de riesgos?.....	27
I.	Tipos de soldaduras.....	29
	Soldadura por arco metálico protegido (SMAW).....	29
J.	Materiales utilizados	31
1.	Acero 1018.....	31
K.	Esfuerzos presentes	32
1.	Esfuerzo cortante puro	32
2.	Compresión pura.....	33
3.	Esfuerzo normal por flexión.....	34
4.	Deformación de una viga.....	34
5.	Energía de distorsión	36
L.	Análisis de vibraciones	37
1.	¿Qué es una vibración?	37
2.	¿Cómo se realiza un análisis de vibraciones?	38
3.	¿Qué es un armónico?	40
M.	Tablas de Charlotte	41
N.	Sistema de Transmisión de Potencia.....	45
1.	¿Qué es un sistema de transmisión de potencia?	45

2.	Sistema de transmisión por fajas.....	45
3.	Sistema de transmisión por cadenas.....	47
4.	Sistema de transmisión por engranajes y reductores cicloidales	47
5.	Materiales.....	50
O.	MANTENIMIENTO	51
1.	Lubricación.....	51
2.	Factores que afectan la lubricación.	52
3.	Tipos de lubricantes	52
4.	Técnicas de mantenimiento.....	54
P.	Acoples.....	55
1.	¿Qué es un acople mecánico?	55
2.	¿Tipos de acoples mecánicos?	55
3.	Cuñas.....	58
Q.	Cojinetes	59
1.	Vida de un cojinete.....	59
R.	Matriz de decisión	62
1.	¿Qué es una matriz de decisión?	62
V.	METODOLOGÍA.....	65
A.	Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico.....	65
1.	Análisis financiero	65
2.	Elaboración de matriz de requerimientos	65
3.	Elaboración de matriz de verificación y validación.....	66
4.	Pruebas de integración.....	67
5.	Diseño del sistema eléctrico.....	67
6.	Elaboración del Manual de Usuario.....	68
B.	Trituración.....	68
1.	Comparación entre tipos de trituradoras y características	68
2.	Cálculo de potencia.....	69
3.	Velocidad de rotación.....	69

4.	Diseño de eje	72
5.	Tamiz de cribado de salida.....	77
6.	Manual de pruebas.....	78
7.	Pruebas en Universidad del Valle de Guatemala.....	78
C.	Carcasa y estructura.....	80
1.	Desarrollo de conceptos.....	80
2.	Proceso de manufactura	86
3.	Análisis de vibraciones	90
4.	Cálculo de esfuerzos, deformación, factor de seguridad y frecuencia natural 92	
5.	Realización de matriz de riesgos	94
6.	Realización de manual de mantenimiento y seguridad	95
D.	Transmisión de potencia	95
1.	Comparación entre sistemas de transmisión	95
2.	Reducción del sistema de transmisión	97
3.	Comparación de costos de mantenimiento.....	97
4.	Conceptos de montaje de diferentes sistemas de transmisión de potencia	98
5.	Matriz de decisión de sistema de transmisión	101
6.	Matriz de decisión de acoplamientos y selección de chumaceras	101
7.	Ensamblaje del sistema de transmisión.....	103
8.	Cálculos de vida útil de los cojinetes y manual de usuario	104
VI.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	107
A.	Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico	107
1.	Cronograma de trabajo.....	107
2.	Análisis financiero	109
3.	Matriz de requerimientos	111
4.	Matriz de verificación y validación	114
5.	Revisiones de requerimientos	115
1.	Revisión de diseño del requerimiento FST – 01:.....	115
6.	Sistema eléctrico	121

7.	Culminación y entrega de trituradora.....	124
B.	Trituración.....	128
1.	Velocidad de rotación.....	128
2.	Potencia requerida.....	129
3.	Diseño del eje de trituración.....	130
4.	Tamaño de partícula.....	136
5.	Pruebas en Universidad del Valle de Guatemala.....	140
C.	Carcasa y estructura.....	144
1.	Manufactura de estructura y carcasa.....	144
2.	Esfuerzos, deformación, frecuencia natural y factor de seguridad.....	145
3.	Análisis de vibraciones.....	150
4.	Matriz de riesgo.....	151
D.	Transmisión de potencia.....	152
1.	Selección de sistema de transmisión final.....	152
2.	Selección de acoples y chumaceras.....	154
3.	Diseño de montaje final.....	157
4.	Montaje, funcionamiento final y plan de mantenimiento.....	160
VII.	CONCLUSIONES.....	163
A.	Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico.....	163
B.	Trituración.....	164
C.	Carcasa y estructura.....	164
D.	Transmisión de potencia.....	165
VIII.	RECOMENDACIONES.....	167
IX.	REFERENCIAS.....	169
X.	ANEXOS.....	173
A.	Anexo 1 – Manual de usuario.....	1
B.	Anexo 2. Carta de culminación.....	17
C.	Anexo 3. Manual de pruebas.....	1
D.	Anexo 4. Ficha técnica de motor eléctrico.....	13

E. Anexo 5. Actividades de verificación y validación	14
F. Anexo 6. Planos de la trituradora de vidrio.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de Ingeniería de Sistemas.	10
Figura 2. Diagrama de flujo de ingeniería de sistemas.	12
Figura 3. Rotor de máquina DC (CC)	14
Figura 4 Estator máquina AC	15
Figura 5. Rotor de un motor de Inducción (“Jaula de Ardilla”).....	16
Figura 6. Sistema monofásico (CC).....	17
Figura 7. Partes de un pulsador (CC)	19
Figura 8. Normalmente cerrado (izquierda) y normalmente abierto (derecha) (cc) ...	19
Figura 9. Porcentaje de material por tipo de vidrio.....	21
Figura 10. Distribución de partícula por tipo de impacto	25
Figura 11. Ejemplo de matriz de riesgos.....	27
Figura 12. Elementos de soldadura por arco metálico.	29
Figura 13. Tipos de recubrimientos.	30
Figura 14. Composición de acero 1018	31
Figura 15. Esfuerzo cortante puro	33
Figura 16. Compresión pura.	33
Figura 17. Flexión pura.....	34
Figura 18. Tipos de apoyos de vigas	35
Figura 19. Viga con doble apoyo y fuerza distribuida.....	35
Figura 20. Gráfica de valores de teoría de energía de distorsión.....	36
Figura 21. Ejemplo de análisis de esfuerzos en Ansys.	37
Figura 22. Medidor de vibraciones.....	39
Figura 23. Montaje de acelerómetro con imán.....	39
Figura 24. Montaje de acelerómetro con tornillo.	39
Figura 25. Montaje de acelerómetro con adhesivo.	40
Figura 26. Ejemplo de gráfica.....	40
Figura 27. Ejemplo de lectura de vibraciones en cojinete.	41
Figura 28. Tablas de Charlotte parte 1.	42
Figura 29. Tablas de Charlotte parte 2	43
Figura 30. Tablas de Charlotte parte 3	44
Figura 31. Poleas con fajas planas.....	46
Figura 32. Fajas tipo V	46
Figura 33. Sistema de cadenas	47
Figura 34. Engranajes de dientes rectos	48
Figura 35. Engranajes de dientes helicoidales.....	48
Figura 36. Componentes del reductor cicloidal.	49

Figura 37. Mecanismo de reducción cicloidal	50
Figura 38. Lubricación en un conjunto de engranajes.....	51
Figura 39. Ubicación de Grasa lubricante en cojinete.....	54
Figura 40. Gráfica de selección de mantenimiento.	55
Figura 41. Acople rígido de una pieza	56
Figura 42. Acople rígido de dos piezas.....	56
Figura 43. Acople de platillo	56
Figura 44. Detalle de Acople de engranaje interno	57
Figura 45. Acople de cadenas	57
Figura 46. Acople de mandíbula	58
Figura 47. Dimensiones para cuñeros (in) (cc)	59
Figura 48. Valores que cumplen con la norma ISO 281.....	61
Figura 49. Valor correctivo para rodamientos de bolas	61
Figura 50. Valores correctivos para rodamientos de rodillos.....	62
Figura 51. Pruebas experimentales de fractura	70
Figura 52. Pruebas experimentales de velocidad de rotación.....	71
Figura 53. Análisis de video en Tracker.....	71
Figura 54. Modelo 3D del eje de triturado.....	73
Figura 55. Modelo 3D del inserto del sistema de trituración.....	73
Figura 56. Modelo 3D del método de sujeción.....	74
Figura 57. Especificación de cuña del catálogo de Intermec.	75
Figura 58. Modelo 3D del ensamblaje del eje de trituración.....	76
Figura 59. Modelo 3D de martillos sólidos	76
Figura 60. Modelo 3D del tamiz de cribado	77
Figura 61. Parte frontal de primer concepto de trituradora.....	81
Figura 62. Posterior de primer concepto de trituradora.....	81
Figura 63. Parte frontal de segundo concepto de trituradora	82
Figura 64. Parte posterior de segundo concepto de trituradora	82
Figura 65. Parte inferior de segundo concepto	83
Figura 66. Parte frontal de tercer concepto.....	83
Figura 67. Ángulo de toma de material de tercer concepto.....	84
Figura 68. Vista frontal de último concepto.....	84
Figura 69. Estructura de último concepto	85
Figura 70. Agujeros de tornillos de acople.....	85
Figura 71. Corte de tubo cuadrado	87
Figura 72. Corte de lámina negra	87
Figura 73. Unión de estructura	88
Figura 74. Unión de toma de material con tambor superior	88
Figura 75. Rolado de lámina de tambor inferior	89

Figura 76. Lectura de vibraciones en chumacera 1	91
Figura 77. Lectura de vibraciones en chumacera 2.	91
Figura 78. Tamaño del mallado usado.....	92
Figura 79. Calidad del mallado usado.....	92
Figura 80. Carga en perfiles de tambor	93
Figura 81. Carga en perfiles de mesa de motor y reductor	94
Figura 82 Concepto preliminar de sistema de transmisión por cadenas	99
Figura 83 Concepto preliminar de reductor de engranajes	100
Figura 84 Concepto preliminar con reductor cicloidal	100
Figura 85 Acople reductor-eje.	103
Figura 86. Desalineación permitida según la velocidad de giro. (CC)	104
Figura 87. Elementos de sujeción no permanentes.	116
Figura 88. Elementos de sujeción No permanentes, segunda revisión.	116
Figura 89. Inspección de sujeción de elementos de trituración.	117
Figura 90. Deformación total en estructura, primera revisión.	117
Figura 91. Factor de seguridad en estructura, primera revisión.	118
Figura 92. Deformación máxima de estructura, segunda revisión.	118
Figura 93. Factor de Seguridad de estructura, segunda revisión.	119
Figura 94. Deformación total, tercera revisión.	119
Figura 95. Factor de Seguridad, tercera revisión.	120
Figura 96. Correcta operación de la trituradora por un solo usuario.	121
Figura 97. Diseño de sistema eléctrico.	121
Figura 98. Proceso de ensamble de parte superior de carcasa.	125
Figura 99. Capacitación a futuros usuarios.....	126
Figura 100. Explicación del manual de usuario.....	126
Figura 101. Fotografía equipo de megaproyecto y autoridades de la municipalidad de Panajachel.	127
Figura 102. Eje de trituración.....	130
Figura 103. Forma de aplicación de soldadura	133
Figura 104. Peso de cadena.....	134
Figura 105. Ensamblaje del sistema de trituración	135
Figura 106. Eje de triturado acoplado al reductor	135
Figura 107. Estado de cadenas	136
Figura 108. Tamiz de cribado	136
Figura 109. Vidrio fracturado con etiquetas	137
Figura 110. Espesor máximo triturado	138
Figura 111. Clasificación de vidrio	138
Figura 112. Proceso de pesado.....	139
Figura 113. Tamaño de partícula obtenido	139

Figura 114. Resultado prueba de sobrecarga.....	140
Figura 115. Resultado prueba de trabajo regular.....	141
Figura 116. Resultado de prueba de posible mala utilización	142
Figura 117. Pruebas en centro de acopio	142
Figura 118. Modificaciones en el centro de acopio.	143
Figura 119. Trituradora terminada	144
Figura 120. Esfuerzos Von Mises en estructura con soportes fijos.	145
Figura 121. Esfuerzos Von Mises en estructura con soportes sin fricción.....	146
Figura 122. Deformación total en estructura con soportes fijos.	147
Figura 123. Deformación total en estructura con soportes sin fricción	147
Figura 124. Factor de seguridad de estructura con soportes fijos.....	148
Figura 125. Factor de seguridad de estructura con soportes sin fricción	148
Figura 126. Factor de seguridad mínimo de estructura con soportes fijos.	149
Figura 127. Factor de seguridad mínimo de estructura con soportes sin fricción....	149
Figura 128. Frecuencias naturales	150
Figura 129. Resultado de análisis de vibraciones.....	151
Figura 130 Especificaciones generales de Cyclo 6000.....	153
Figura 131 Interior del reductor elegido	154
Figura 132 Reductor elegido	154
Figura 133 Acople con elastómero de mandíbula que une reductor y motor-	155
Figura 134 Acople sólido de manufactura propia que une reductor y eje de trituración.	156
Figura 135 Chumacera Translink P206 instalada.	157
Figura 136 Diseño digital de posición de reductor.	158
Figura 137 Plataformas para la instalación del sistema de transmisión	159
Figura 138 Posicionamiento del sistema de transmisión de potencia final.....	159
Figura 139 Diseño final de la trituradora	160
Figura 140 Sistema de transmisión montado.....	160
Figura 141 Sistema de transmisión con acoples instalados.....	160
Figura 142 Guardas de partes móviles.	161
Figura 143 Rótulo de señalización de partes móviles.	161
Figura 144 Velocidad final obtenida en el eje de trituración medido con tacómetro.	162

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de riesgos	12
Cuadro 2. Comparación motores AC y DC	18
Cuadro 3. Ejemplos de calibres AWG (CC)	18
Cuadro 4. Índice de trabajo de diversos materiales	24
Cuadro 5. Matriz para toma de decisiones	68
Cuadro 6. Selección de conceptos	85
Cuadro 7. Ventajas y desventajas de conceptos	86
Cuadro 8. Cantidades y precio de materiales	89
Cuadro 9. Materiales para medición de vibraciones	90
Cuadro 10. Procedimiento para medición de vibraciones	90
Cuadro 11. Peso de elementos	93
Cuadro 12. Matriz de riesgos utilizada.....	95
Cuadro 13 Comparación teórica entre las propiedades generales de los sistemas de transmisión.....	96
Cuadro 14 Costo de mantenimiento de cadenas y fajas.....	98
Cuadro 15 Costo de mantenimiento de un reductor.....	98
Cuadro 16 Matriz de decisión de sistemas de transmisión	101
Cuadro 17 Matriz de decisión entre acoples para unión motor-reductor.	102
Cuadro 18 Matriz de decisión entre acoples para unión reductor-eje de trituración	103
Cuadro 19. Valores del rodamiento seleccionado.....	105
Cuadro 20. Cronograma abril – agosto.....	107
Cuadro 21. Cronograma enero - marzo.....	108
Cuadro 22. Significado de Colores en Cronograma.....	109
Cuadro 23. Proyección de gastos e ingresos durante 6 meses.	110
Cuadro 24. Detalle de Costos de Operación.....	110
Cuadro 25. Proyección de ganancias a 6 meses con costo de trituradora.....	111
Cuadro 26. Indicadores de Rentabilidad.....	111
Cuadro 27. Requerimientos funcionales de la trituradora.	112
Cuadro 28. Requerimientos operacionales de la trituradora.	112
Cuadro 29. Matriz de limitantes.	113
Cuadro 30. Matriz de verificación de diseño y análisis.....	114
Cuadro 31. Matriz de verificación por prueba e inspección.....	115
Cuadro 32. Matriz de selección de sistema de apagado y encendido.....	123
Cuadro 33. Resultado de la prueba de fractura	128
Cuadro 34. Resultados de prueba de velocidad de rotación.....	129
Cuadro 35. Resultados de la potencia requerida	129

Cuadro 36. Valores para obtener factor de seguridad en cuñas	130
Cuadro 37. Diámetro mínimo del eje y factor de seguridad.	131
Cuadro 38. Factores para obtener diámetro mínimo.....	132
Cuadro 39. Factores de soldadura	133
Cuadro 40. Realización de matriz de seguridad.	152
Cuadro 41 Propiedades básicas del reductor	153
Cuadro 42 Descripción de acople motor-reductor.....	155
Cuadro 43 Descripción de acople reductor -eje de trituración.....	156
Cuadro 44 Características de chumacera seleccionada.	156
Cuadro 45 Resumen de cálculos de vida útil de cojinetes.	157
Cuadro 46 Dimensiones finales del diseño de transmisión de potencia.....	159

RESUMEN

El presente trabajo consistió en el diseño y la manufactura de una trituradora de vidrio para un centro de acopio ubicado en la Calle Navidad, en Panajachel, Sololá. El proyecto surgió debido al gran volumen de desecho de vidrio que se maneja en el centro de acopio, a los problemas de espacio que éste estaba generando y al aumento en el precio de venta del vidrio triturado. Para lograr lo anterior, el proyecto se dividió en cuatro módulos: 1. trituración, 2. transmisión de potencia, 3. estructura y carcasa y 4. ingeniería de sistemas y sistema eléctrico.

Para el funcionamiento de la trituradora, se utilizó un motor monofásico de 1hp, acoplado a un reductor con una relación de 1 a 8. El eje de trituración utilizado es de acero 1018, el cual utiliza cadenas de acero galvanizado como medio de trituración. En cuanto a la estructura, cuenta con perfiles cuadrados de acero 1018, mientras que la carcasa utiliza lámina negra. Para lograr la compatibilidad entre los módulos de trabajo, el módulo de ingeniería de sistemas calendarizó una reunión semanal de grupo en la cual se corroboraba el avance con el cronograma de trabajo.

La trituradora es capaz de procesar 222 libras de vidrio por hora. La velocidad de giro del eje trituración es de 223 rpm, esto se logró con un reductor de relación 8 a 1. Con lo anterior se obtiene un 83% de las partículas con tamaño de superior al mínimo requerido, el cual era de 2 pulgadas. La deformación máxima que ocurre en la trituradora a la hora de utilizarla tiene un valor de 0.183 mm, con lo cual se logró obtener factores de seguridad mayores a 2 en toda la estructura. El costo del proyecto fue de Q.8,545.51 el cual contempla únicamente los gastos en material. La entrega de la trituradora se realizó de forma exitosa faltando únicamente la actividad de recibir retroalimentación del funcionamiento de la misma posterior a su entrega.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto comenzó en el año 2017 cuando se planteó a la universidad del Valle de Guatemala el problema de espacio existente en el centro de acopio de la calle navidad, Panajachel. Para poder encontrar una solución al problema se debían plantear correctamente todas las circunstancias que afectaban de manera directa al centro de acopio. Para poder cumplir con lo anterior se realizaron dos visitas a la comunidad de Panajachel y al centro de acopio en el año 2017. Durante estas visitas se conversó directamente con las personas que laboran en el centro de acopio, se anotó información estadística de los volúmenes manejados y se preguntó acerca de los costos y precios de venta manejados en ese momento, todo lo anterior para poder determinar una propuesta que diera el mayor impacto positivo al presente problema.

Con toda la información recaba se determinó que la propuesta con el mayor impacto sería el diseño y manufactura de una trituradora de vidrio para el centro de acopio municipal ubicado en la calle Navidad del municipio de Panajachel, Departamento de Sololá. La propuesta anterior tiene como finalidad aumentar la eficiencia productiva, ganancias y seguridad de las personas que laboran en el centro de acopio.

Para poder cumplir con todas las características necesarias de la trituradora, el proyecto se dividió en cuatro módulos de trabajo, los cuales son: 1. Carcasa y Estructura, 2. Trituración, 3. Transmisión de potencia y 4. Ingería de sistemas y sistema eléctrico.

El módulo de carcasa y estructura constaba en realizar el diseño y llevar a cabo la manufactura de la carcasa y de la estructura. Para realizar los diseños, se tomaron en cuenta una serie de requisitos y limitantes planteados por el personal del centro de acopio, la seguridad de los operadores y la facilidad de manufactura. Para llevar a cabo la manufactura, se utilizaron procesos de soldadura, rolado de lámina y cortado de piezas con cortadora plasma y segueta manual.

El módulo de trituración tiene como objetivo realizar un sistema el cual sea capaz de triturar botellas de vidrio comerciales, este tomando en cuenta la se debe entregar un tamaño de partícula superior a dos pulgadas y que su mantenimiento debe efectuarse con materiales que se encuentren presentes en la comunidad de Panajachel.

El módulo de transmisión de potencia tiene la tarea de transmitir la potencia del motor eléctrico hacia el eje de trituración. Para esto se toma en cuenta la potencia requerida, la potencia del motor eléctrico y la velocidad requerida para poder realizar la trituración. Además de seleccionar el reductor, este módulo se encarga de realizar la selección de cojinetes y acoples

El módulo de ingeniería de sistemas y sistema eléctrico constaba de dos principales labores, el primero de ellos era establecer un orden de trabajo que permitiera la compatibilidad entre los módulos, cumpliendo a su vez todos los requerimientos necesarios de la trituradora y el segundo labor fue diseñar e instalar el sistema eléctrico que diera energía necesaria a la máquina para su correcto funcionamiento.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general del megaproyecto

Diseñar y manufacturar un prototipo de trituradora de vidrio, capaz de procesar cualquier tipo de botellas de vidrio comercial y que logre manejar volúmenes aproximados a los que necesita el centro de acopio diariamente.

B. Objetivos generales por módulo

1. Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico

- Crear un plan de trabajo para garantizar la compatibilidad de los módulos.
- Diseñar el sistema eléctrico para el funcionamiento de la trituradora.

2. Carcasa y estructura

- Diseñar, analizar y manufacturar la carcasa y estructura para una trituradora de vidrio.

3. Trituración

- Diseñar, analizar y manufacturar la carcasa y estructura para una trituradora de vidrio.

4. Transmisión de potencia.

- Determinar el sistema de transmisión de potencia necesario para triturar cinco quintales de vidrio al día, manteniendo el costo dentro del presupuesto establecido.

C. Objetivos específicos del módulo

1. Objetivos específicos de ingeniería de sistemas y sistema eléctrico

- Crear un cronograma de trabajo en el cual el tiempo de los módulos sean afines

- Crear un manual de usuario para la correcta operación y mantenimiento de la trituradora.
- Definir el equipo de seguridad necesario para el uso de la trituradora.
- Crear un análisis financiero para conocer el impacto económico del proyecto.
- Diseñar e implementar un sistema eléctrico que funcione con la disponibilidad eléctrica del centro de acopio.
- Crear un sistema de apagado de emergencia para el sistema eléctrico.
- Diseñar un sistema que proporcione la potencia necesaria para funcionamiento de la trituradora.

2. Carcasa y estructura

- Selección y obtención de materiales para la carcasa y estructura.
- Asegurar la seguridad del usuario cubriendo todas las partes móviles en la trituradora.
- Realizar una matriz de riesgo.
- Realizar un manual de mantenimiento y seguridad para las partes que componen la carcasa y estructura de la trituradora.
- Acoplar las dimensiones de la trituradora para que ésta pueda ser operada por todo el personal del centro de acopio, por lo cual la altura de la toma de material debe ser de máximo 1.6m.
- Realizar un análisis de vibraciones en la estructura y los cojinetes de la trituradora.
- Calcular la deformación máxima de la estructura.
- Realizar un análisis de esfuerzos de la estructura.

3. Trituración

- El 75% de las partículas que se producen después del proceso de triturado deben de tener un tamaño superior a 2 pulgadas.
- Triturar con un flujo másico mínimo de 62.5 lb/h.
- Determinar el sistema apropiado de trituración.
- Proporcionar y desarrollar un manual de mantenimiento para el sistema de trituración.

4. Transmisión de potencia

- Dimensionar el sistema de transmisión de potencia con equipos y materiales que se encuentren disponibles dentro de la región.
- Seleccionar cojinetes que soportan los esfuerzos radiales y axiales que puedan ocurrir durante el proceso de triturado.
- Establecer el lubricante que pueda mantener el sistema de transmisión de potencia trabajando continuamente hasta que se deba realizar el mantenimiento.
- Determinar el método adecuado de lubricación para la trituradora.

III. JUSTIFICACIÓN

En el mes de noviembre del año 2017 se llevó a cabo una reunión con representantes de la municipalidad de Panajachel, Pro-Atitlán, AMSCLAE y CECI, para discutir la problemática del centro de acopio ubicado en la calle Navidad del Municipio de Panajachel. En la cual se planteó el problema de espacio en el centro de acopio, la poca eficiencia en el proceso de triturado del vidrio el proceso de trituración se realiza actualmente de forma manual y el valor monetario poco explotado de los materiales reciclables, principalmente del vidrio; ya que se logra triturar aproximadamente la mitad del volumen que ingresa diariamente, lo que reduce el precio de venta a la mitad. Luego de esta reunión se llegó a la conclusión de que la propuesta de un prototipo de trituradora de vidrio es ideal para solucionar los problemas del centro de acopio.

Con base en la información planteada anteriormente se llevó a cabo una reunión donde se propuso el diseño y manufactura de un prototipo de trituradora de vidrio a la municipalidad de Panajachel, Pro-Atitlán, AMSCLAE y CECI. Luego de esta reunión se llegó a la conclusión de que esta propuesta es ideal para solucionar los problemas de espacio, mejorar la cantidad de volúmenes manejados diariamente y aumentar el precio de venta del vidrio que se maneja actualmente. El proyecto se enfoca en el diseño de una trituradora de vidrio ya que al encontrarse triturado este duplica su precio de venta, a diferencia del plástico el cual no tiene diferencia en su precio de venta al estar o no triturado.

El proyecto tendrá un impacto positivo en la comunidad de Panajachel, ya que éste busca contribuir en la solución del siempre presente problema llamado contaminación. Principalmente, se busca complementar el proyecto de separación de basura recién implementado por la municipalidad de Panajachel. La implementación de este proyecto proporcionara un mayor ingreso de recursos económicos y aumentara el espacio disponible en el centro de acopio, al reducir el volumen que utilizan las botellas de vidrio.

Por medio de la trituradora de vidrio planteada se busca tratar la mayor parte del desecho de vidrio que llegue al centro de acopio de la Calle Navidad, el cual actualmente, en su mayoría, no es triturado y se vende tal y como ingresa al centro de acopio. Al no procesar el vidrio, se recae en problemas serios de espacio, lo que causa que otros desechos entrantes, como el plástico, papel y más vidrio, no tengan donde ser almacenados. Esto dificulta el reciclaje y reuso de los materiales, ya que en el centro de acopio se trata buena parte de la basura reciclable de Panajachel. Además, la reducción de espacio aumenta la dificultad del manejo de los desechos, lo que aumenta la probabilidad de accidentes dentro del centro de acopio.

Adicionalmente, el incremento de ingresos económicos del centro de acopio se ve significativamente beneficiado, debido a que se tiene previsto un ingreso de Q.19 000.00 para el primer año y para el segundo año Q.40 000.00, esto es equivalente a un decremento del 16% para el primer año y un incremento del 60% para el segundo año respecto a lo que se puede generar sin la trituradora, suponiendo que se tritura el 75% del vidrio que ingresa diariamente al centro de acopio.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Ingeniería de sistemas

Existen diversas formas de definir ingeniería de sistemas, en su manera más general se puede resumir como: Ingeniería de sistemas es todo aquello que tiene como función guiar la ingeniería de un sistema muy complejo. La palabra guiar en la definición anterior enfatiza el proceso de seleccionar el camino para que otras personas sigan entre las diversas posibilidades de cursos que pueden tomar; una de las funciones primarias de ingeniería de sistemas. El término complejo restringe la definición a todos aquellos sistemas que cuenten con elementos diversos pero que guardan una relación entre ellos. (Kossiakoff, Sweet, & Seymour, 2011)

1. Ingeniería de sistemas y su diferencia con otras disciplinas

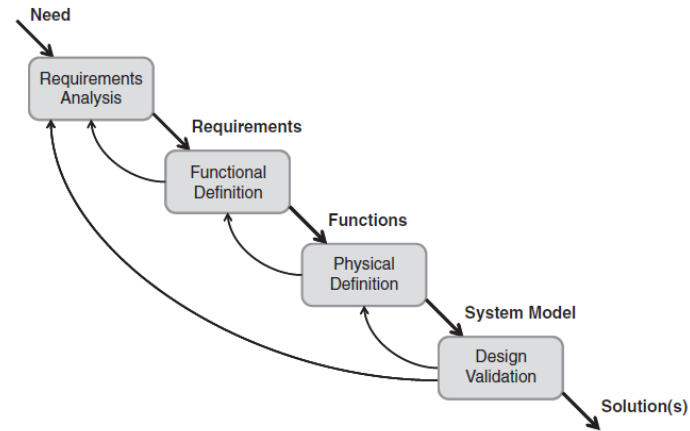
De la definición anterior se puede observar que ingeniería de Sistemas difiere de otras disciplinas en varias formas:

Ingeniería de sistemas observa al sistema como un todo. Analiza al sistema desde afuera, esto quiere decir que observa sus interacciones con otros sistemas o con su entorno, como también sus interacciones internas. Toma en cuenta todos aquellos factores externos que puedan restringir el diseño o funcionamiento del sistema. Esto incluye identificar la necesidad que se quiere satisfacer, el entorno en el que operará el sistema, requerimientos de logística, la capacidad del personal para operar el sistema, etc.

Ingeniería de sistemas crea el puente entre las disciplinas tradicionales de ingeniería. Un problema complejo requiere de diversas disciplinas de ingeniería. Por lo tanto, para lograr que el sistema funcione de manera correcta, cada elemento debe funcionar correctamente y debe encajar perfectamente con todos los demás elementos del sistema. Debido a lo anterior Ingeniería de Sistemas debe coordinar el diseño de cada elemento individual para asegurar que las interacciones entre elementos del sistema sean compatibles. (Kossiakoff, Sweet, & Seymour, 2011)

2. Método de Ingeniería de Sistemas

Figura 1. Ciclo de Ingeniería de Sistemas.



(Kossiakoff, Sweet, & Seymour, 2011)

Ingeniería de Sistemas puede ser considerado como cuatro actividades básicas (Figura No.1 y detalle de actividades en Figura No.2), las cuales son:

a. Análisis de requerimientos.

En este paso se entiende el problema en su totalidad, lo que permite definir las características básicas del sistema. Lo anterior da lugar a la elaboración de los requerimientos de cada elemento, los cuales deben ser medibles y cuantificables.

Algunas de sus actividades pueden ser:

- Organizar los requerimientos por tipo, los cuales pueden ser funcionales, operaciones o limitantes.
- Identificar el “por qué” de cada requerimiento.
- Identificar que debe poder realizar el sistema (objetivos) y que tan bien debe poder realizar estas actividades.

b. Definición de la funcionalidad del sistema.

Además de definir lo que debe ser capaz de realizar el sistema, este paso es el encargado de fraccionar el sistema en bloques de diferentes niveles. Los bloques tienen como finalidad simplificar el problema de tal modo que cada bloque de construcción tenga una función específica en un solo medio o entorno.

Algunas de sus actividades pueden ser:

- Convertir el “por qué” de cada requerimiento en acciones que debe realizar el sistema. Estas acciones serán los requerimientos específicos de cada bloque.
- Fraccionar el sistema en diferentes bloques para facilitar su construcción.
- Definir las interacciones entre los elementos para poder trabajar a base de módulos.

c. Diseño físico.

Durante la selección del diseño físico, no se debe descartar ninguna alternativa que se haya considerado, se debe establecer un criterio de evaluación y este debe ser por prioridad y cuantificable.

Algunas de sus actividades pueden ser:

- Resumir las diferentes posibilidades de diseño.
- Seleccionar el mejor diseño con base en su calificación en un análisis de riesgo, costo, calendario y desempeño. Esta actividad es una de las más importantes de Ingeniería de Sistemas, ya que debe encontrar el menor costo posible sin sacrificar desempeño en las acciones principales del sistema, debe seleccionar el diseño que se pueda llevar a cabo según un calendario base preestablecido con fecha límite y por último se deben cuantificar los posibles riesgos de cada diseño para poder elegir el que contenga un riesgo aceptable con una mayor posibilidad de éxito. Para calificar los riesgos se debe determinar el impacto que podrían tener en el sistema, el cual puede ser: alto, medio o bajo. (Cuadro No.1)
- Realizar planos detallados del diseño final.

d. Validación y revisión del diseño.

A pesar de que la validación y revisión se mencionen como el cuarto paso, estos deben estar presentes durante todo el proceso de creación del sistema.

Algunas de sus actividades pueden ser:

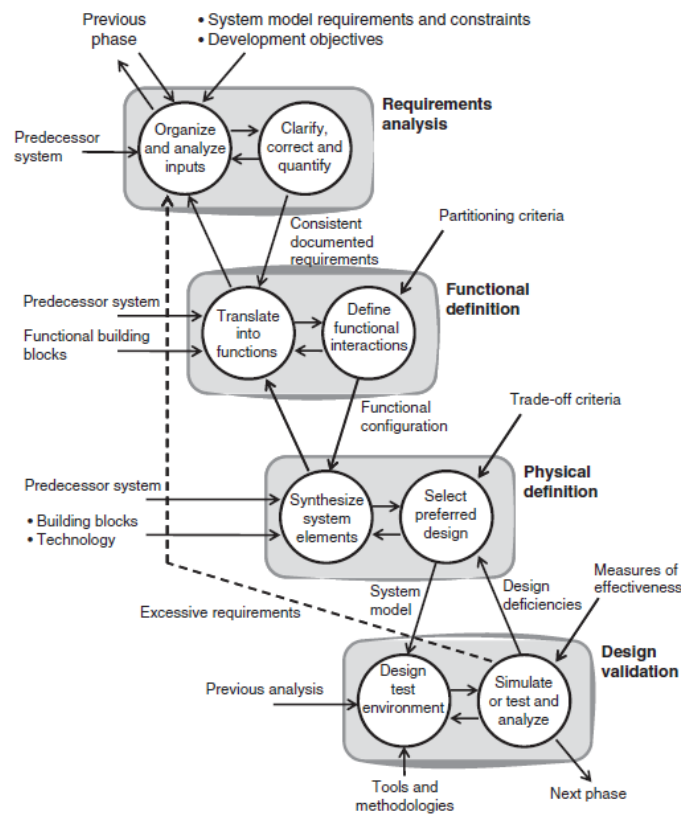
- Realizar pruebas preliminares al sistema en una simulación de su entorno.
- Iterar lo que sea necesario hasta que el sistema cumpla con todos los requerimientos.

(Kossiakoff, Sweet, & Seymour, 2011)

Cuadro 1. Clasificación de riesgos

Criticidad	Impacto en el sistema	Impacto en el programa
Alta	Disminución de desempeño (50-90%) Problemas de seguridad	Incremento de costo y/o calendario de actividades (30-70%)
Media	Reducción de desempeño (10-50%) Pocas pérdidas operacionales	Incremento en costo (10-30%) Retraso en producción
Baja	Poca reducción de desempeño (>10%) Menor cantidad de retrasos Aumento de mantenimiento	Incremento mínimo en costo (<10%) Revisiones rigurosas.

Figura 2. Diagrama de flujo de ingeniería de sistemas.



(Kossiakoff, Sweet, & Seymour, 2011)

3. Requerimientos del Sistema

Uno de los principales objetivos de Ingeniería de Sistemas es definir los requerimientos necesarios para el proyecto que se esté realizando. Estos requerimientos deben estar relacionados directamente con los objetivos del proyecto. Para lo anterior se clasifican en tres rubros principales, los cuales son:

- a. **Requerimientos Funcionales:** son los encargados de definir el nivel de desempeño que debe tener el sistema para que este logre alcanzar sus objetivos.
- b. **Requerimientos Operacionales:** brindan información acerca de cómo se relacionará el sistema con los usuarios y de cómo operará el sistema.
- c. **Limitantes:** son todos aquellos que limiten al sistema de alguna manera, algunos ejemplos son: costo máximo, tiempo de mantenimiento, tiempo de fabricación, técnicas de manufactura disponibles, espacio físico disponible, entre otros.

Para poder definir los requerimientos es necesario un proceso iterativo durante el proceso de diseño. Por lo que se recomienda una constante revisión de los requerimientos y modificarlos de ser necesario. Todos los requerimientos se deben basar en las necesidades de los usuarios, por lo que es muy importante que exista una buena comunicación entre los desarrolladores y los usuarios desde el inicio del proyecto. (Larson y Wertz, 1999)

4. Verificación y validación de requerimientos

Otro de los objetivos de Ingeniería de Sistemas es poder supervisar todas aquellas actividades relacionadas con el proceso de diseño y manufactura. Para esto existen cuatro principales formas de poder cerciorarse de que se están cumpliendo todos los requisitos con la calidad deseada y en el tiempo programado. (Gebara & Spencer, 2016) Los cuatro métodos de verificación y validación son:

- a. **Análisis.** Este método consiste en una verificación del requerimiento por medio de un modelo matemático. Este modelo puede ser simulado con ayuda de una computadora o algún otro sistema electrónico. Su principal aplicación es cuando no se posee una prueba sencilla o instrumento que logre validar el cumplimiento del requerimiento.

- b. Inspección. Como su nombre lo indica, la verificación del requerimiento se realiza por medio de una inspección simple, esta puede ser de forma visual o utilizando un instrumento de medición que no sea de mayor complejidad.
- c. Prueba. Su principal aplicación es para verificar todos los requerimientos que sean de funcionalidad. Este método utiliza el sistema como tal o parte del él para realizar la validación del requerimiento.
- d. Revisión de diseño. Como su nombre lo indica, este método consiste en una revisión de los planos del sistema.

B. Máquinas eléctricas

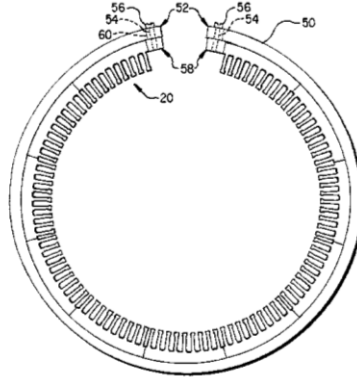
1. Conceptos elementales

La ecuación $e = \frac{d\lambda}{dt}$, es utilizada para determinar el voltaje inducido debido a un campo magnético variable con el tiempo. En las máquinas rotativas, la diferencia de potencial se genera en las bobinas al aplicarles un campo magnético variable. Por lo general se tienen varias bobinas conectadas entre ellas. En las máquinas AC las bobinas se encuentran estacionarias y a esta parte del motor se le conoce como estator (Figura 4). Por el contrario, en las máquinas DC el armazón de bobinas se encuentran en el miembro rotativo del motor, por lo tanto, se le conoce como rotor (Figura 3). (Fitzgerald, 2003)

Figura 3. Rotor de máquina DC (CC)



Figura 4 Estator máquina AC



(Huang, 1995)

2. Introducción a máquinas AC y DC

a. Máquinas AC

Tradicionalmente las máquinas AC se dividen en dos principales categorías, estas son:

- Máquinas síncronas:

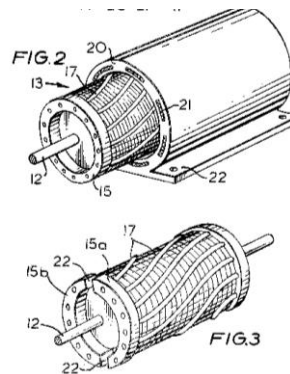
Se pueden utilizar tanto como motor o como generador eléctrico, pero siempre tiene una característica principal, la cual es que la velocidad de rotación del eje y su frecuencia eléctrica son dependientes. Cuando se está utilizando como motor, la velocidad de rotación del eje de salida está ligada a la frecuencia de la red eléctrica al que se encuentra conectado. Cuando se utiliza como generador, la frecuencia de salida en las terminales depende tanto de la velocidad de rotación de la entrada de energía mecánica como del número de polos de la máquina. Por lo general, se utilizan como generadores ya que al ser utilizados como motores es necesario un método de arranque externo hasta llevarlo a la velocidad de sincronía. (Chapman, 2012)

- Máquinas de inducción:

En una máquina de inducción, corrientes alternas son aplicadas directamente al estator, lo que ocasiona que exista una corriente de inducción en el rotor. Esta inducción es la diferencia básica con una máquina síncrona, ya que no requiere de una fuente DC en el rotor para generar la corriente eléctrica que ocasiona la fuerza de rotación en el rotor. La velocidad de rotación del motor está limitada por la velocidad de rotación del campo magnético variable ocasionado por el juego de bobinas del estator. La velocidad de giro

del rotor siempre será cercana a la velocidad del campo magnético, pero nunca de igual magnitud. La única diferencia significativa en cuanto a construcción entre uno motor síncrono y uno de inducción, radica en el rotor. Por lo general los motores de inducción utilizan una estructura conocida como “jaula de ardilla”, la cual permite que exista inducción entre el estator y el rotor. (Chapman, 2012) (Figura 5)

Figura 5. Rotor de un motor de Inducción (“Jaula de Ardilla”)



(Whellams, 1983)

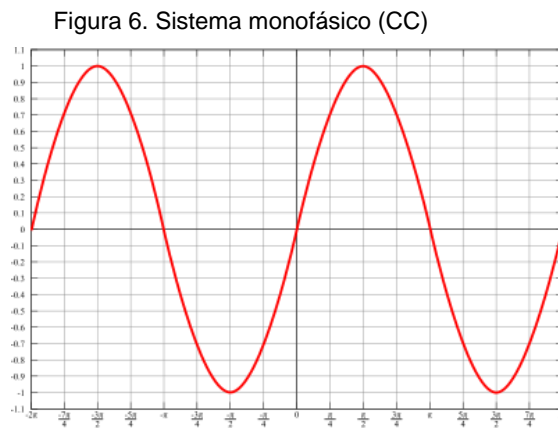
b. Máquinas DC

Están constituidos por dos partes principales. El estator que es la parte que no tiene movimiento y en él se encuentran los polos, los cuales pueden ser electroimanes o imanes permanentes. El rotor, como su nombre lo indica es la parte del motor que entrega energía mecánica y se encuentra formado por un núcleo metálico con embobinado. La principal desventaja de este tipo de motores es que requieren un mayor mantenimiento en las escobillas. Las escobillas son las que permiten el contacto entre la corriente directa y el rotor. Sus principales aplicaciones pueden ser en servomotores, *steppers* y motores lineales. (Fitzgerald, 2003)

3. Conceptos para la selección de un motor

- Sistema monofásico:

Es un sistema de conexión eléctrica en el cual existe únicamente una corriente alterna (Figura 6). Sus principales aplicaciones son para iluminación, calefacción o para pequeños motores eléctricos. Debido a que un sistema monofásico no produce un campo magnético rotatorio, los motores monofásicos necesitan de un sistema de arranque externo.



- Potencia de motor

Se refiere a la cantidad de trabajo que puede realizar un motor en cierto intervalo de tiempo, regularmente esta expresada en CV (caballos de valor). Un CV es equivalente a 0.986 hp.

- Par de motor

También conocido como torque, es la fuerza de giro en un motor y es precisamente el par el que nos va a dictaminar si el motor puede mover la carga o no. El que tan rápido pueda realizar este trabajo dependerá de la potencia del motor.

4. Diferencia entre motor AC y DC

Cuadro 2. Comparación motores AC y DC

Motores DC	Motores AC
Es necesaria una entrada de corriente directa.	Trabaja con corriente alterna.
Su velocidad es regulada con el voltaje aplicado a sus terminales.	La velocidad se puede regular a través de variadores electrónicos de frecuencia o por medios mecánicos de reducción.
Par de arranque fuerte	Par de arranque escaso
Velocidad variable	No puede operar a velocidades bajas
Alto costo	Bajo costo de fabricación
Solo se pueden encontrar motores Monofásicos	Existen motores trifásicos y monofásicos
Alta precisión en su movimiento	Baja precisión en su movimiento

5. Calibre del cable

AWG (*American Wire Gauge*) es una clasificación estadounidense de los diámetros estándar de cables eléctricos. El número AWG es una referencia inversa al diámetro del cable, por lo cual mientras más alto sea el número, menor será el área transversal del cable. Al ser el número AWG más bajos el cable cuenta con la menor resistencia interna, por lo tanto, soporta mayores corrientes eléctricas. Observar Cuadro 3.

Cuadro 3. Ejemplos de calibres AWG (CC)

Calibre AWG	Corriente soportada (Amperes)	Watts Soportados 127V
18	10	1270
16	13	1651
14	18	2286
12	25	3175
10	30	3810
8	40	5080

6. Instalaciones eléctricas

Todo circuito eléctrico necesita un sistema accionador, para esto existen diversos componentes, algunos de ellos son: flipones, interruptores, pulsadores, accionadores automáticos, etc. Los componentes más utilizados en la industria son los pulsadores.

Existen dos principales tipos de pulsadores, los normalmente cerrados, los cuales al no encontrarse presionados mantienen el circuito cerrado, de manera contraria al presionarse abren el circuito. El otro tipo de pulsador es el normalmente abierto, este tiene un funcionamiento contrario al normalmente cerrado, ya que, al presionar el botón este cierra el circuito. Regularmente un pulsador normalmente cerrado se utiliza para el botón de apagar y el normalmente abierto para el botón de encendido.

Figura 7. Partes de un pulsador (CC)

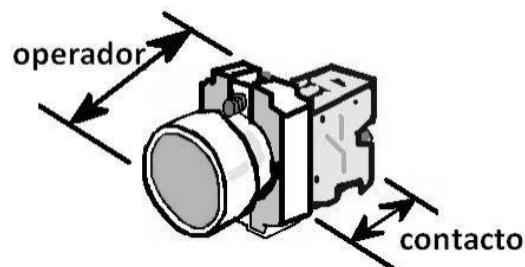
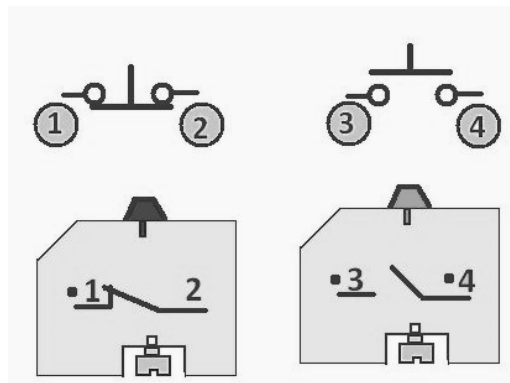


Figura 8. Normalmente cerrado (izquierda) y normalmente abierto (derecha) (cc)



C. Equipo de seguridad

Según la norma 30-11-1989, creada por la Unión Europea se establece que existe un equipo mínimo de seguridad para los trabajadores. A este equipo se le denomina equipo de protección individual (EPI) y está compuesto de “todo aquel equipo que lleve el trabajador o trabajadora sujeto a sí mismo que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud”. (INSHT, 1989)

1. Protección auditiva

Su función es reducir el nivel de decibeles al que se encuentra expuesto el usuario de la maquinaria. Cuando los niveles alcanzan valores de 85 dB de manera continua, se recomienda el uso de tapones para oído individuales. Para colocar en contexto la intensidad de sonido, 20 dB sería la intensidad de sonido en una biblioteca y 90 dB sería la intensidad de sonido a la que estaría expuesta una persona en medio de una calle muy transitada. (Comisión Europea, 1989)

2. Protección para manos

Este tipo de protección debe cumplir principalmente con dos funciones, estas son: protegerse de peligros mecánicos como la fricción y evitar heridas por objetos cortopunzantes. Cuando el usuario se encuentra expuesto a materia que pueda cortar la piel, es de uso obligatorio la protección en las manos; para cumplir con sus funciones deben ser del estándar G40, el guante más común de este tipo es el de material de carnaza. (Comisión Europea, 1989)

3. Calzado de protección

El calzado de seguridad debe proteger al operador de cualquier percance en su oficio, ya sea un golpe de impacto o de compresión. Según establece la Nota Técnica de Prevención 773 (NTP-773), para un trabajo con maquinaria de trituración, el calzado debe cubrir los siguientes riesgos: caídas de objetos sobre la parte frontal del pie, pisar objetos cortantes o punzantes, cortes laterales, entre otros. (INSHT, 1989)

4. Protección ocular

La protección ocular es necesaria para todo trabajo en el cual el obrero este susceptible a cualquier partícula que pueda ocasionarle un daño en los ojos. Para un trabajo de trituración se recomiendan gafas de tipo integral, las cuales encierran de manera estanca la región orbital y protegen zonas anatómicamente próximas. (Gallardo, 2009)

D. Propiedades y características del vidrio

El vidrio es un sólido amorfo el cual se forma a partir de arena de sílice y carbonato de sodio. Se clasifica como un líquido subenfriado con propiedades vítreas. Este se caracteriza por ser un material frágil, duro e inerte. Por sus características inorgánicas es utilizado ampliamente en la industria alimenticia y química. (Navarro, 2003)

Un sólido amorfo es aquel que no posee un ordenamiento periódico de sus átomos, esto quiere decir que los átomos que conforma al vidrio no poseen un arreglo definido de largo alcance. Lo cual produce que la densidad y los esfuerzos de ruptura varíen en cada punto de medición. (Melo, 2000)

Dependiendo de las características que se desea obtener en el vidrio se le añaden componentes para modificar sus propiedades mecánicas. Comercialmente se utilizan cuatro en específico, estas combinaciones se pueden observar en la Figura No.1.

Figura 9. Porcentaje de material por tipo de vidrio

Tabla 1				
Composición en % de los vidrios comerciales				
	Vidrio sodocálico	Vidrio plomo	Vidrio borosilicato	Silica
SiO ₂	70-75	53-68	73-82	96
NaO	12-18	5-10	3-10	-
K ₂ O	0-1	1-10	0.4-1	-
CaO	5-14	0-6	0-1	-
PbO	-	15-40	0-10	-
B ₂ O ₃	-	-	5-20	3-4
Al ₂ O ₃	0.5-3	0-2	2-3	-
MgO	0-4	-	-	-

(Melo, 2000)

Siendo el vidrio sodo-cálcico el más barato y comercial de los cuatro, este se utiliza con frecuencia para recipientes de vidrio. El vidrio plomo se caracteriza por tener una densidad más elevada y con un mayor poder de refracción y dispersión, posee un coeficiente de dilatación térmica elevado lo cual produce que este sea sensible al choque térmico. El vidrio borosilicato se caracteriza por poseer una alta resistencia al choque térmico, su nombre comercial es el Pyrex. El vidrio sílica es poco utilizado por su alta dureza, se utiliza para hornos refractarios y equipo de laboratorio (Melo, 2000)

El vidrio se utiliza en una amplia gama de productos de almacenaje, la mayoría de ellos son de origen alimenticios. Entre estos se puede mencionar que las botellas de vidrio son de las más utilizadas para la venta de líquidos. Estas pueden tener espesores de pared que se encuentra entre 3mm y 7mm. Estos espesores dependen directamente del fondo de la botella y del tipo de almacenaje que este tenga. (Sanleón, 2018)

Una de las ventajas más grandes que posee el vidrio es que puede ser reciclado con mucha facilidad a comparación de otros elementos. Una de las características más atractivas del reciclaje del vidrio es que utiliza un 26% de energía menos para la producir un 1kg de vidrio a comparación de que se utiliza materia prima virgen. Otro de los beneficios de utilizar vidrio reciclado es que reduce las emisiones que dañan el ambiente en un 20%. (Mata, 2014)

E. Leyes de desintegración

Se han realizado repetidos intentos para realizar una ecuación que modele adecuadamente la energía necesaria para producir la fragmentación de los cuerpos, sin embargo, aún no se obtiene un resultado satisfactorio, pero se consiguieron varias ecuaciones que modelan de una forma adecuada la energía necesaria para generar una ruptura en el cuerpo. Dependiendo directamente del rango de tamaños con los cuales se desea trabajar. Estas ecuaciones parten de la ecuación de Walker la cual es la forma más básica.

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{C}{X'}$$

Donde se describe que la energía requerida "E" para producir un cambio "dX" en una partícula de tamaño "X" se encuentra en función de una constante. Constate que depende de las características de cada material y proceso de molienda. (Austin, 1997)

1. Ley de Rittienger

Esta establece que "El área de la nueva superficie producida por la nueva molienda es directamente proporcional al trabajo útil consumido". Esto quiere decir que el trabajo para la molienda es proporcional a la cantidad de nuevas superficies producidas. Esta se utiliza únicamente cuando el tamaño de partícula final es menor a 75µm. Esta describe mediante la siguiente expresión. (Kelly, 1990)

$$W = K * \left(\frac{1}{D_i} - \frac{1}{D_f} \right)$$

Donde W representa a la cantidad de energía consumida durante la operación, K es una constante que depende del material y el tamiz de salida, D_i es el tamaño inicial de partícula y D_f es el tamaño final de partícula.

2. Ley de Kick

Esta postula que “el trabajo requerido es directamente proporcional a la reducción de volumen entre las partículas antes y después de la operación de fragmentación o molienda”, esto quiere decir que el trabajo necesario para genera la fragmentación en una partícula, es proporcional a la relación de entre el tamaño de entrada y el tamaño de salida. (Kelly, 1990)

$$W = K * \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

Donde W es trabajo, K es una constante, D es el diámetro de entra y d es el diámetro de salida de material. La constante K es una variable que depende de las características del material en un proceso específico. Este suele proporcionar resultados más acertado para tamaños de partículas superiores a los 5 cm.

3. Ley de Bond

Esta postula que “El trabajo consumido es proporcional a la nueva longitud de fisura producida por la rotura de las partículas”. Esto quiere decir que el trabajo necesario para generar la ruptura en un material es proporcional al tamaño de entra y al tamaño de salida. Esta se expresa de la siguiente forma. (Kelly, 1990)

$$W = W_i \sqrt{\frac{100}{D_f}} * \left(\frac{\sqrt{D_i} - \sqrt{D_f}}{\sqrt{D_i}} \right)$$

Donde W representa el trabajo requerido para ejecutar la fragmentación, W_i representa una constante, D_i representa el diámetro inicial de la partícula y D_f representa el diámetro final de la

partícula. Esta es la más utilizada debido a que proporciona los valores más cercanos a la realidad a comparación de las otras tres leyes. (Chicaiza, 2015)

La constante Wi se define como KWh por tonelada corta, este indica la capacidad de los materiales de ser fragmentados. Esta se obtiene mediante ensayos a través de muestras.

Cuadro 4. Índice de trabajo de diversos materiales

Material	No. de pruebas	Gravedad específica	Índice de trabajo (KWh/t)
Ferro			
silicio	13	4.41	11.03
Pedernal	5	2.65	28.84
Fluorita	5	3.01	9.82
Gabro	4	2.83	20.34
Vidrio	4	2.58	13.57
Gneis	3	2.71	22.19
Oro	197	2.81	16.46
Granito	36	2.66	16.59
Grafito	6	1.7	48.02
Gravilla	15	2.66	17.7
Yeso	4	2.69	7.42
Hierro	56	3.55	14.25

(Austin, 1997)

Esta ley permite obtener un valor aproximado de la potencia necesaria al asignar una velocidad de alimentación.

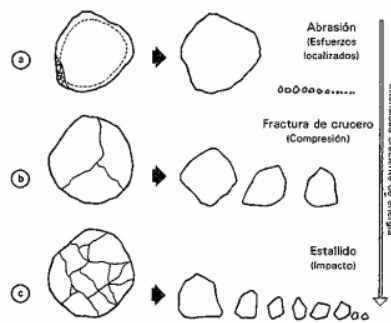
$$P = 1.46 * Wi * T * \sqrt{\frac{1}{Di}} - \sqrt{\frac{1}{Df}}$$

En la que T hace referencia a la velocidad de alimentación en toneladas por minutos y la P a la potencia requerida en Hp. Esta potencia es exclusiva para la trituration, esta no toma en cuenta las pérdidas del sistema. (Chicaiza, 2015)

F. Mecanismos de fractura

Para producir la fractura en una partícula, es necesario producir un esfuerzo que sobrepase la resistencia de fractura. La forma en la que la partícula se fracture dependerá de la forma en la que se le aplique el esfuerzo. Estos se pueden clasificar en tres tipos: abrasión, compresión e impacto. (Kelly, 1990)

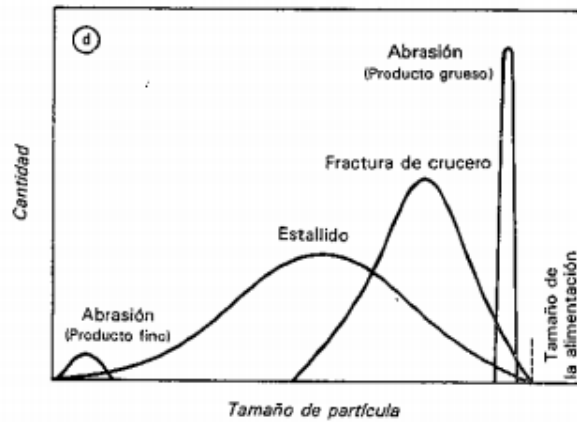
Figura 10. Distribución de partícula por tipo de impacto



(Kelly, 1990)

Cada uno genera diferentes distribuciones de tamaños de partículas, en el caso de las fracturas por abrasión se generan partículas sumamente pequeñas y partículas de un tamaño parecido al tamaño de alimentación. En cambio, las partículas generadas por una fractura por compresión poseen tamaño similar, las partículas que se generan por una fractura por impacto presentan tener una muestra muy variada de tamaños de partícula. (Kelly, 1990)

Figura 11. Distribución del tamaño de partícula por tipo de impacto

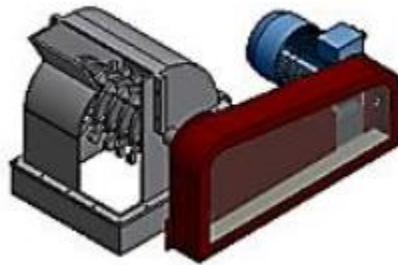


(Kelly, 1990)

G. Molino de martillos

Este es una trituradora que permite la reducción de tamaño a una amplia gama de materiales. Utiliza una serie de impactos consecutivos para generar la fragmentación de la partícula en cuestión. Estos poseen un eje de forma horizontal en el cual se encuentran acoplados los elementos que ejecutan los impactos, en la parte inferior poseen un tamiz el cual es el que proporciona el tamaño de partícula final. (Chicaiza, 2015)

Figura 12. Molino de martillos



(Chicaiza, 2015)

Los molinos de martillos usualmente utilizan secciones sólidas para generar la fragmentación del material, las cuales tienden a desgastarse con una gran facilidad más aún si son materiales abrasivos. Por la poca cantidad de piezas móviles tienen una vida útil elevada a comparación de los molinos de mandíbulas. (Chicaiza, 2015)

Uno de los problemas más recurrentes en este tipo de molinos es el atascamiento de los martillos con la materia a triturar, esto se da cuando existe una sobrealimentación del sistema. Por lo que un sistema de transmisión de potencia por medio de faja resulta ser indispensable. (Chicaiza, 2015)

Se presentan otras alternativas para los martillos sólidos, tales como las cadenas. Estas presentan tener un mejor desempeño para pulveriza materiales frágiles y abrasivos. Adicionalmente presentan tener una disminución de las vibraciones en la estructura durante la operación de esta. (J&H, 2015)

H. Matriz de riesgos

¿Qué es una matriz de riesgos?

Una matriz de riesgo es un método utilizado para evaluar posibles riesgos en un proceso o funcionamiento, sus causas, posibles manejos y la gravedad de éstos. Esta herramienta también toma en cuenta las acciones para controlar, monitorear, medir e informar los distintos tipos de riesgos a los que se expone al proceso. (Palma. 2011)

Figura 11. Ejemplo de matriz de riesgos

		Severidad		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

(Cementos progreso)

El método de evaluación de cada riesgo que se tiene es por medio de dos valores asignados acorde a la probabilidad de ocurrencia y al impacto que causaría para el proceso. Estos valores son multiplicados entre sí para obtener un nuevo y definitivo valor. Posteriormente se realiza una matriz para clasificar la criticidad de cada uno de los riesgos de manera gráfica.

Cuadro 6. Gravedad de falla

Grado de severidad		Descripción
Levemente dañino (LD)	A la seguridad	Lesiones menores sin incapacidad tales como: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo.
	A la salud	No causa efectos agudos en la salud, sin incapacidad, ni secuelas se limitan a molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, disconfort.
	A las instalaciones	Genera pérdidas económicas imperceptibles, y/o no interfiere en ninguna actividad del proceso productivo
Dañino (D)	A la seguridad	Causa lesiones con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores
	A la salud	Causa efectos agudos o crónicos en la salud, con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: Dermatitis, afecciones respiratorias, trastornos músculo-esqueléticos.
	A las instalaciones	Genera pérdidas económicas menores, y/o pueden interferir temporalmente en una o más actividades del proceso productivo
Extremadamente dañino (ED)	A la seguridad	Puede generar muerte o incapacidad permanente con secuelas y/o invalidez tales como: Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales, muerte
	A la salud	Sospechoso o confirmados efectos cancerígenos, mutagénicos, generador de muerte o secuelas (efectos crónicos) e incapacidad permanente con o sin invalidez
	A las instalaciones	Generador de grandes pérdidas económicas, y/o puede comprometerse el funcionamiento del proceso productivo

(Cementos progreso)

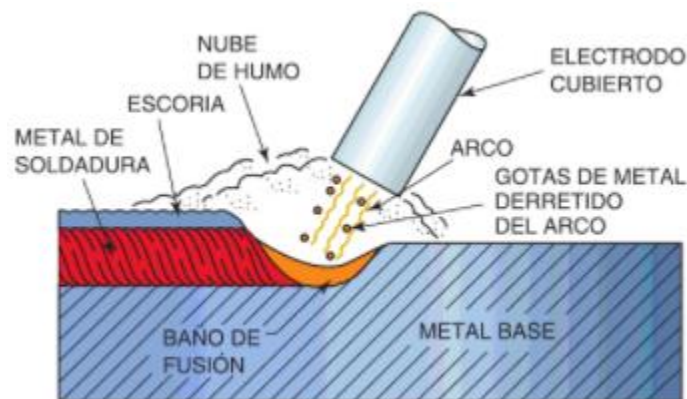
I. Tipos de soldaduras

Soldadura por arco metálico protegido (SMAW)

La soldadura por arco metálico protegido es un proceso por el cual se transmite una corriente eléctrica por medio de un electrodo recubierto. Al acercarse el electrodo a un metal base, se genera un arco eléctrico que derrite el electrodo y el metal base. Este arco es rodeado por una nube de humo y escoria restante del fundente protector. Una vez se corta el arco, la mezcla del metal base y el electrodo se solidifica y forma una única pieza. (Jeffus, 2009)

Es el tipo de soldadura encontrado con mayor frecuencia en la industria, debido a su versatilidad, practicidad y bajo precio. Se considera versátil gracias a su capacidad de soldar una amplia variedad de materiales, incluyendo aluminio, hierro fundido y níquel. Esta versatilidad se debe a que, para soldar distintos materiales y grosores, únicamente se debe cambiar los electrodos utilizados en el proceso. La aplicación más común para este tipo de soldadura es en aceros al carbono, como los son el acero 1018, 1020 y 1045 por mencionar algunos. (Jeffus, 2009)

Figura 12. Elementos de soldadura por arco metálico.



(Larry Jeffus, 2009)

Es muy importante tomar en cuenta que se pueden manejar temperaturas de hasta 6000°C durante este proceso. La temperatura de trabajo depende de la composición química del material base, de la longitud del arco y de la resistencia a la corriente. De todo el calor producido se pierde aproximadamente un 50% en forma de luz y ondas de calor, por lo cual es muy importante siempre

tomar las medidas necesarias de seguridad cuando se utiliza esta soldadura, siendo estas protección ocular y barreras aislantes de calor.

Para realizar cálculos de esfuerzos de compresión o tensión presentes en la soldadura, se utiliza la ecuación:

$$\sigma = F / hL$$

donde “F” es la fuerza, “h” es el grosor del cordón y “L” la longitud de éste.

Para saber el esfuerzo que la soldadura es capaz de soportar, se debe comprender la nomenclatura de un electrodo utilizado para la soldadura con arco protegido. Los electrodos utilizan la nomenclatura AWS, la cual utiliza las siglas “EXXYY”. La sigla “E” indica que es un electrodo para uso de soldadura al arco protegido. Las siglas “XX” son dígitos que indican la resistencia a tracción que la soldadura es capaz de soportar en libras por pulgada cuadrada (PSI). Las siglas “YY” indican el tipo de recubrimiento con el que cuenta el electrodo, el tipo de corriente con la cual se puede trabajar y las posiciones de soldadura indicadas. Si el quinto dígito es un 1, este indica que se puede soldar en todas las posiciones con el electrodo; si es un número 2, la soldadura puede ser únicamente plana, y un número 4 indica se puede realizar en todas las posiciones, en especial vertical descendente. El último dígito indica el tipo de recubrimiento y la corriente con la que puede trabajar el electrodo. La lista de los distintos dígitos se puede apreciar en la figura 13. (Soldexa)

Figura 13. Tipos de recubrimientos.

Dígito	Tipo de Recubrimiento	Corriente de Soldadura
0	Sodio de alta celulosa	DC+
1	Potasio de alta celulosa	AC, DC+ or DC-
2	Sodio alto en titanio	AC, DC-
3	Potasio alto en titanio	AC, DC+
4	Polvo de hierro, titanio	AC, DC+ or DC-
5	Sodio bajo en hidrógeno	DC+
6	Potasio bajo en hidrógeno	AC, DC+
7	Oxido alto en hierro, Polvo de hierro	AC, DC+ or DC-
8	Potasio de bajo hidrógeno, Polvo de hierro	AC, DC+ or DC-

(Soldexa)

Por ejemplo, un electrodo con nomenclatura E6013, es un electrodo utilizado para soldadura al arco, capaz de soportar 60000 PSI, soldable en todas las posiciones y con una concentración de potasio alta en titanio, utilizable para corriente altera y directa positiva.

J. Materiales utilizados

1. Acero 1018

También llamado acero “cold rolled”, el acero AISI 1018 es un acero con un bajo contenido de carbono. Este acero se puede encontrar en muchas formas en la industria, desde barras redondas, perfiles hexagonales y cuadrados, a distintos tipos de láminas. Cuando este material se encuentra como lámina, coloquialmente se le denomina “lámina negra”.

Gracias a sus propiedades, es un material extremadamente versátil. Es altamente soldable y maquinable, al mismo tiempo que presenta una resistencia mecánica bastante alta. Se recomienda su aplicación en partes que no presenten esfuerzos muy grandes, como una flecha, o si se requiere una pieza con dureza superficial y centro suave, como los engranes. (Levinson, 2018)

Figura 14. Composición de acero 1018

Equivalencia:	AISI / SAE J414a: 1018	ASTM A 29/A29M-05:1018	DIN 1.1141			JIS S18C	
Composición Química:	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Pb	---
	0.15 - 0.20	---	0.60 - 0.90	.040 máx.	0.050 máx.	---	---
Condiciones de Suministro:	Recocido con una dureza estimada (SAE J414a) 126 HBN (~ 70 HRB) como estirado en frío.						

(Tecniaceros, 2018)

Cuadro 8. Propiedades de acero 1018.

SAE y/o AISI no.	Procesamiento	Resistencia última MPa (kpsi)	Resistencia de fluencia MPa (kpsi)	Elongación en 2 in, %	Reducción en área. %	Dureza Brinell
1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
	CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126

(Octavio Álvarez, 2011)

Las propiedades del material varían levemente según el espesor del perfil o lámina que se tenga. Se denomina coloquialmente al grosor como “chapa”. El número de chapa indica el grosor del material; mientras mayor es el número de chapa, el grosor del material es menor.

Cuadro 9. Tipo de chapas

Espesor n°	Mm
10	3.40
11	3.05
12	2.76
13	2.41
14	2.10
15	1.83
16	1.65
17	1.47
18	1.24
19	1.07
20	0.89
21	0.81
22	0.71
23	0.63
24	0.56
25	0.51
28	0.36
30	0.30

(Tecniaceros, 2018)

K. Esfuerzos presentes

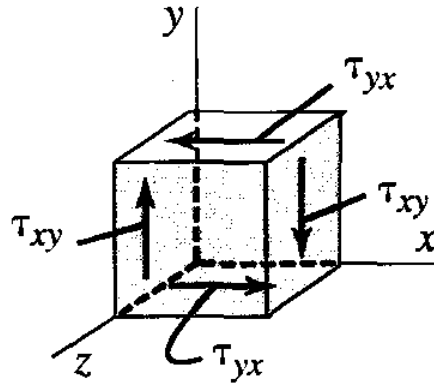
1. Esfuerzo cortante puro

El esfuerzo cortante puro se define como el efecto de una fuerza aplicada sobre un área sin provocar flexión alguna, es decir, la distancia entre la fuerza y el punto de apoyo u otra fuerza es tan pequeña que el elemento en lugar de flexionarse se corta. El cálculo de este esfuerzo se hace por medio de la ecuación:

$$s = F / A$$

donde F es la fuerza aplicada y A el área del objeto sobre el cual se aplica la fuerza. Las unidades del esfuerzo cortante, si es en sistema inglés, son libras por pulgada cuadrada (PSI); si es en sistema internacional, son pascales (Pa). (Budynass 2011)

Figura 15. Esfuerzo cortante puro



(Richard Budynass, 2011)

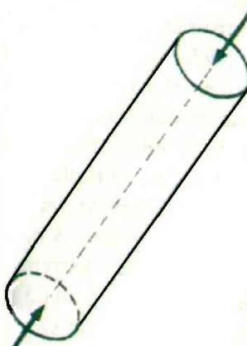
2. Compresión pura

El esfuerzo de compresión puro se da cuando existen dos fuerzas en dirección opuesta, ambas hacia el centro de un elemento. El caso más normal donde se encuentra presente éste esfuerzo es al existir una fuerza sobre un elemento estático, ya que éste produce una reacción de igual magnitud y dirección contraria. Al igual que el esfuerzo cortante, éste se calcula por la ecuación:

$$s = F / A$$

Donde "F" es la fuerza compresora y "A" es el área transversal donde la fuerza es aplicada. Las dimensionales de este esfuerzo son Pascales (Pa) y libras por pulgada cuadrada (PSI). (Budynass 2011)

Figura 16. Compresión pura.



(Richard Budynass, 2011)

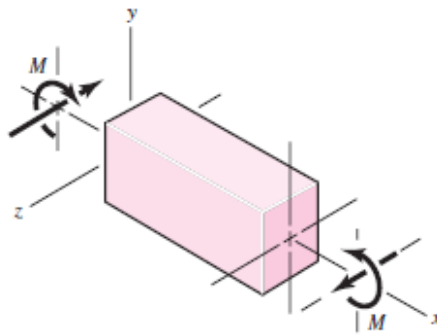
3. Esfuerzo normal por flexión

Un esfuerzo normal por flexión se encuentra presente cuando el elemento analizado se encuentra en flexión pura, es decir, no hay ninguna fuerza cortante presente en el elemento. Para que este tipo de esfuerzos se presenten, las áreas transversales se tienen que mantener planas durante la flexión, el elemento debe tener un eje de simetría y el material debe cumplir con la ley de Hooke. Para calcular este esfuerzo, se utiliza la ecuación:

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

donde σ es el esfuerzo por flexión, "M" es la reacción de los puntos de apoyo y "Z" es el módulo de la sección. Sus dimensiones son dadas en pascales (Pa) en sistema internacional, y en libras por pulgada cuadrada (PSI) en sistema inglés. (Budynas 2011)

Figura 17. Flexión pura

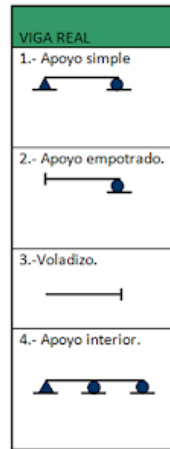


(Richard Budynas, 2011)

4. Deformación de una viga

La deformación total de una viga se refiere a la desviación de ésta respecto a sus dimensiones estándares en alguno o todos sus ejes. El cálculo de esta depende del tipo de apoyo y de la distribución de la fuerza a lo largo de esta. Los tipos de apoyo pueden ser simples, empotrados o en voladizo, como se puede apreciar en la Figura 18.

Figura 18. Tipos de apoyos de vigas



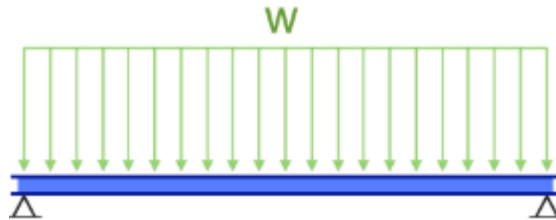
(Ray Hustle, 2000)

En cuanto a las fuerzas que pueden ser aplicadas en las vigas, estas pueden ser puntuales (en un único o varios puntos) o distribuidas (a lo largo de una sección de la viga).

En el caso de la estructura de una máquina, uno de los casos más comunes de esfuerzos y apoyos de encontrar es una viga con dos apoyos simples y una fuerza distribuida, como se puede apreciar en la Figura 18. Para calcular la deformación en este caso se utiliza la ecuación:

$$Y_{max} = \frac{5wL^4}{384EI}$$

Figura 19. Viga con doble apoyo y fuerza distribuida.



(Ray Hustle, 2000)

donde "w" es el valor de la carga, "L" la longitud de ésta, "E" es el módulo de elasticidad del material e "I" es la inercia de la viga. (Ray Hustle, 2000)

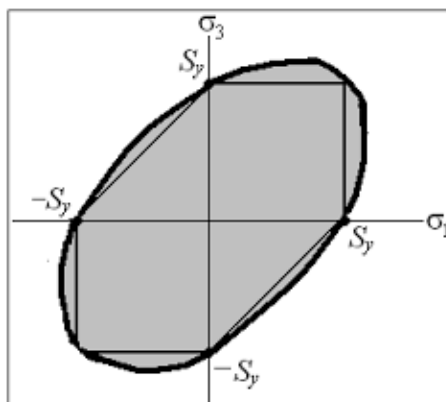
5. Energía de distorsión

La teoría de energía de distorsión (también llamada teoría Von Mises) dice que el elemento analizado fallará por fluencia en el momento que la energía de deformación total por unidad de volumen alcance la energía de deformación que corresponde a la resistencia a la fluencia del material dúctil que se está analizando. La teoría considera la presencia de esfuerzos efectivos, también llamados *Esfuerzos Von Mises*. Es importante mencionar que para diseño involucrando materiales dúctiles, se recomienda el uso de esta teoría por sobre otras, ya que no predice falla bajo presión hidrostática. El cálculo del esfuerzo Von Mises es realizado por medio de la ecuación:

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

Donde σ' es el esfuerzo Von Mises, mientras que $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son esfuerzos en los planos "x", "y" y "z". El resultado es entregado en pascales (Pa), si se utiliza el sistema internacional, y en libras por pulgada cuadrada (PSI), si se utiliza el sistema inglés. Esta teoría es utilizada por sobre la teoría de Esfuerzo Cortante Máximo y la teoría Mohr-Culomb para diseño, ya que suele ser la más acertada y menos conservadora en cuanto a la falla de los materiales por esfuerzos se refiere (Budynas 2011).

Figura 20. Gráfica de valores de teoría de energía de distorsión.



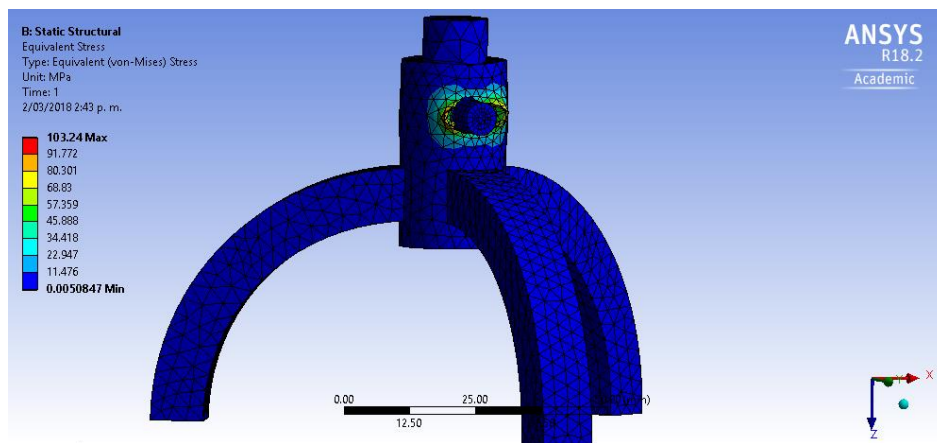
(Richard Budynas, 2011)

Para realizar el cálculo de los esfuerzos Von Mises, algunos softwares de diseño, como *Ansys workbench*, realizan una serie de iteraciones en varios puntos del objeto analizado para encontrar los esfuerzos presentes en cada punto de dicho objeto. Para realizar dichos cálculos, en el caso de *Ansys*, se utiliza la ecuación:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{1+\nu} \left(\frac{1}{2} \left[(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 \right] \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde ε_e es el esfuerzo equivalente, mientras que ε_1 , ε_2 , y ε_3 son los esfuerzos en cada eje y ν es el coeficiente de Poisson del material. Para indicar el esfuerzo máximo presente en el cuerpo analizado, se utiliza una clave de color, siendo rojo el esfuerzo máximo y azul el mínimo, como puede apreciarse en la Figura 21.

Figura 21. Ejemplo de análisis de esfuerzos en Ansys.



(Fuente propia)

L. Análisis de vibraciones

1. ¿Qué es una vibración?

Una vibración, según White, es definida como “la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio”. El movimiento del objeto analizado, para poder ser medido, se descompone en tres direcciones ortogonales, “x”, “y” y “z”, y en 3 direcciones rotacionales si se da el caso. Las vibraciones pueden tener distintos efectos sobre un objeto, desde el movimiento y la desalineación de este, hasta un aumento en su temperatura debido al

movimiento. Se debe tener especial cuidado en la frecuencia de las vibraciones, ya que, si tienen la misma frecuencia que la frecuencia natural del objeto, los efectos mencionados aumentan rápidamente ya que el objeto entrará en resonancia. (Mills, 2010)

Es importante mencionar que todos los objetos tienen una o varias frecuencias naturales. Una frecuencia natural se define como una frecuencia en la cual un objeto se excita y aumenta las vibraciones que este sufre al punto de causar fallas en el objeto. Es importante analizar las frecuencias naturales ya que cada objeto tiene frecuencias naturales distintas, y se debe evitar estos vibren a esas frecuencias. Normalmente, estas se calculan por medio de varias ecuaciones, ya que depende como se modele el objeto analizado, que ecuación se utilice. Un sistema comúnmente analizado es un sistema masa-resorte, cuya frecuencia natural se calcula por medio de la ecuación:

$$Fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Donde F_n es la frecuencia natural, K es la constante de rigidez y M la masa del objeto. Para realizar cálculos más exactos de las frecuencias naturales se utilizan softwares, los cuales utilizan una serie de iteraciones para encontrar distintos valores. (Kazlauskas, 2004)

2. ¿Cómo se realiza un análisis de vibraciones?

El análisis de vibraciones es una técnica de diagnóstico practicada en equipos, para poder realizar planes de mantenimiento. Para llevar el análisis a cabo se necesita un equipo medidor de vibraciones, como el presentado en la Figura No. 21, y distintos tipos de sensores según la medición que se desea realizar. En el caso de la medición de vibraciones en un cojinete, se necesita un sensor de desplazamiento. En cuanto al análisis de vibraciones en la carcasa, se requiere de un acelerómetro.

Figura 22. Medidor de vibraciones.



(Fluke. 2018)

Una vez se encuentra en funcionamiento la máquina o componente por analizar, se conecta el debido sensor al equipo de medición y se sujeta al elemento analizado. Según el tipo de fijación del sensor, varía la capacidad de lectura de frecuencia y la confiabilidad de esta. Los tipos de fijación son: manual, montaje con imán, montaje con adhesivo y montaje atornillado. El montaje atornillado es el más confiable debido a su rigidez de sujeción, seguido por el montaje adhesivo, montaje con imán y el manual. Los montajes atornillados y adhesivos se utilizan para instalaciones permanentes y semi permanentes, mientras que un montaje por imán y manual se usan para montajes temporales o mediciones que se realizan en distintas máquinas. Los ejemplos de montajes se aprecian de la Figura 23 a la 25.

Figura 23. Montaje de acelerómetro con imán.



(Fluke)

Figura 24. Montaje de acelerómetro con tornillo.



(Fluke)

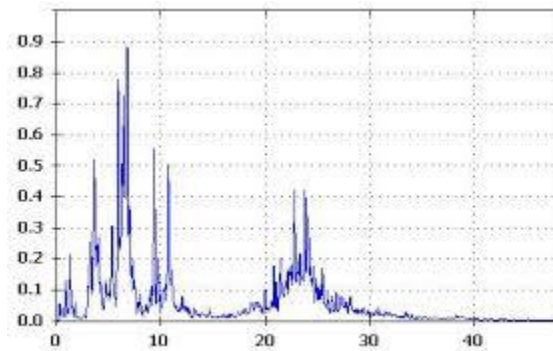
Figura 25. Montaje de acelerómetro con adhesivo.



(Fluke)

Los resultados entregados por parte del medidor de vibraciones se ven en gráficas, las cuales muestran un valor numérico en el eje “y” que indica la cantidad de mm/s que se desvía el punto analizado. Para saber si es una magnitud alta o baja, se deben tomar en consideración las dimensiones del elemento medido de la lectura y el historial de las medidas del objeto, es decir, la desviación de una nueva lectura con respecto a lecturas anteriores. En cuanto al eje “x” se indica el armónico en el que se encuentra la lectura. Se puede observar un ejemplo de una gráfica entregada por el medidor de vibraciones en la Figura 26.

Figura 26. Ejemplo de gráfica.



(Fluke)

3. ¿Qué es un armónico?

Un armónico se define como un múltiplo de la frecuencia natural o fundamental de un objeto. Todos los medidores de vibraciones utilizan los armónicos para indicar fallas en distintos puntos del sistema, por lo cual es de vital importancia conocer bien los elementos que componen el sistema y el como éste se encuentra montado para poder dar un diagnóstico certero. Dependiendo

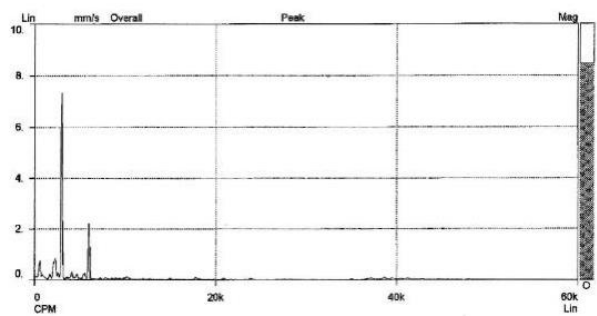
de cómo se observe el comportamiento de la gráfica y de los armónicos presentes, se puede identificar que parte del sistema es la que está causando problemas al comparar la gráfica resultante con las tablas de Charlotte.

M. Tablas de Charlotte

Las tablas de Charlotte son tablas donde se enlistan las posibles fallas de un sistema. Para utilizarlas, se debe primero tener una lectura realizada con un sensor de vibraciones en algún punto del sistema. Los resultados serán desplegados en una gráfica, como la mostrada en la figura No.26. Las tablas se guían por medio de armónicos, que se encuentran en el eje “x”.

Los armónicos son valores de frecuencia relacionados con la velocidad a la que gira el eje o punto analizado, también llamada frecuencia fundamental. Las lecturas pueden presentarse tanto como fracciones del armónico 1X, por ejemplo, un pico en 0.5X, como en múltiplos, como un pico en 2X. Dependiendo de la máquina y el punto analizado, los distintos armónicos representan distintos puntos o elementos. Un buen ejemplo de esto último es que, al realizar una medición en un motor, dependiendo cuantas aspas tenga el ventilador de este, el valor del armónico que este ventilador representa, es decir, si tiene 7 aspas, representa el armónico 7X, si tiene 6, será 6X.

Figura 27. Ejemplo de lectura de vibraciones en cojinete.



(Simon Mills, 2010)

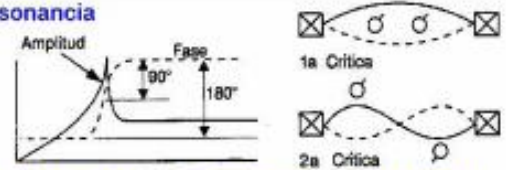
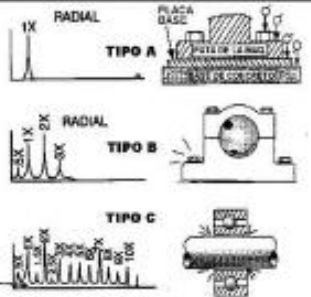
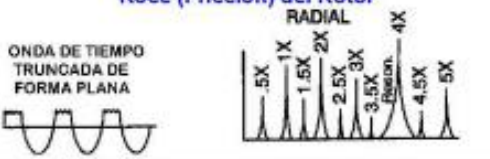

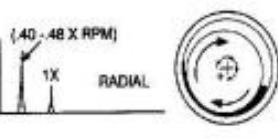

El comportamiento de la gráfica, para interpretarla, se compara contra los estándares presentados en las tablas de Charlotte para poder dar un diagnóstico de las fallas en el sistema, guiándose por el valor que tenga el pico, en qué armónico se encuentre y el comportamiento de la gráfica como tal. A través de esta interpretación de datos se puede encontrar una serie de fallas, como desalineación de ejes, soltura mecánica, falla en cojinetes y desbalanceo, por mencionar algunas. (Torres 2010).

Figura 28. Tablas de Charlotte parte 1.

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES					
Desbalanceo A. Desbalanceo Estático	1X RADIAL		El Desbalanceo Estático estará en fase y estable. La amplitud debido al desbalanceo aumentará por el cuadrado de la velocidad incrementada estando por debajo de la primera crítica del rotor (un incremento de velocidad de 3X = una vibración a 9X mayor). 1XRPM siempre estará presente y por lo general domina el espectro. Puede ser corregido colocando un solo peso de corrección de balanceo en un plano en el Centro de Gravedad del Rotor (CG). Una diferencia de fase aproximadamente de 0° debe existir entre los Horizontales OB&IB, así como entre las Verticales OB&IB. Usualmente también ocurre una diferencia de fase aproximadamente de 90° entre las lecturas de fase Horizontal y Vertical en cada rodamiento del rotor desbalanceado (±30°).					
B. Desbalanceo de Par de Fuerzas	1X RADIAL		Un Desbalanceo de Par de Fuerzas resulta en un desfase de 180° del movimiento en el mismo eje. 1XRPM siempre está presente y normalmente domina el espectro. La amplitud varía por el cuadrado de la velocidad incrementada por debajo de la primera velocidad crítica del rotor. Puede causar una alta vibración axial así como radial. La corrección requiere la colocación de los pesos de balanceo en al menos 2 planos. Note que debe existir una diferencia aproximada de 180° entre las Horizontales OB&IB así como entre las Verticales OB&IB. También usualmente ocurre una diferencia aproximada de 90° entre las lecturas Horizontal y vertical en cada rodamiento (±30°).					
C. Desbalanceo Dinámico	1X RADIAL		El Desbalanceo Dinámico es el tipo de desbalanceo que se consigue más comúnmente y es una combinación de Desbalanceo estático y de par de fuerzas. 1XRPM domina el espectro y realmente necesita una corrección en 2 planos. Aquí la diferencia de fase Radial entre los rodamientos externos e internos puede estar en cualquier lugar del rango entre 0° y 180°. Sin embargo, la diferencia de fase Horizontal debe cuadrar usualmente con la diferencia de fase Vertical, cuando se comparan las mediciones de los rodamientos externos e internos (±30°). Si el desbalanceo predomina una diferencia de fase de 90° resulta entre las lecturas Horizontal y Vertical de cada rodamiento (±40°).					
D. Desbalanceo de Rotor en Voladizo	1X AXIAL & RADIAL		El Desbalanceo de Rotor en Voladizo causa un alto 1XRPM en las direcciones Axial y Radial. Las lecturas Axiales tienden a estar en fase mientras que las lecturas de fase Radial pueden estar inestables. Sin embargo, las diferencias de fase Horizontal usualmente cuadrarán con las diferencias de fase Vertical en el rotor desbalanceado (±30°). Los Rotores en Voladizo tienen desbalanceos Estáticos y de Par de Fuerzas, cada uno de los cuales requiere una corrección. Así, los pesos de corrección casi siempre tendrán que ser colocados en dos planos para contrarrestar ambos desbalanceos, el estático y el de par de fuerzas.					
Rotor Excéntrico	1X FAN 1X MOTOR RADIAL		La excentricidad ocurre cuando el centro de rotación está fuera de la línea de centro geométrico de una polea, engranaje, rodamiento, armadura del motor, etc. La vibración mayor ocurre a 1XRPM del componente excentrico en una dirección a través de la línea que une el centro de ambos rotores. Comparativamente, las lecturas de fase Horizontales y verticales usualmente difieren 0° ó 180° (cada una de las cuales indica el movimiento en línea recta). El intentar balancear un rotor excentrico resulta en reducir la vibración en una dirección radial pero incrementarla en la otra (dependiendo de la cantidad de excentricidad).					
Eje Doblado	1X AXIAL 2X		Los problemas de Eje Doblado causan una alta vibración axial con una diferencia de fase axial tendiendo a 180° en el mismo componente de la máquina. La vibración dominante ocurre normalmente a 1X si está doblado cerca del centro del eje, pero ocurre a 2X si está doblado cerca del acople. (Ser cuidadoso al tomar en cuenta la orientación del transmisor para cada medición axial si usted voltea la dirección de la probeta). Use un indicador de dial para confirmar el doblado de eje.					
Desalineación A. Desalineación Angular	1X AXIAL 2X 3X		La Desalineación Angular se caracteriza por una alta vibración axial, 180° fuera de fase a través del acople típicamente tendrá una vibración axial en 1XRPM y 2XRPM. Sin embargo no es inusual que tanto 1X, 2X ó 3X domine. Estos síntomas también pueden indicar problemas de acople. Una severa desalineación angular puede excitar muchas armónicas de 1XRPM. A diferencia de la soltura mecánica de tipo C, estas múltiples armónicas no tienen típicamente un incremento de ruido en el piso del espectro.					
B. Desalineación Paralela	1X RADIAL 2X 3X		La desalineación paralela posee síntomas de vibración similares a la angular pero muestra una alta vibración radial que se aproxima a 180° fuera de fase a través del acople. 2X es por lo regular mayor que 1X, pero su altura respecto a 1X es por lo general débil a el tipo de acople y construcción de este. Cuando cualquier desalineación Angular o Radial se vuelve severa, puede generar tanto picos de gran amplitud a altas armónicas (4X-8X) como también toda una serie de armónicas de alta frecuencia, similares en apariencia a la soltura mecánica. El tipo de acople y el material influyen de gran manera a todo el espectro cuando la desalineación es severa. No presenta por lo general un incremento de ruido en el piso.					
C. Desalineación de Rodamiento Inclinado Sobre el Eje	1X AXIAL 2X 3X	 <table border="1"> <tr> <th>FASE</th> </tr> <tr> <td>1 2:00</td> </tr> <tr> <td>2 8:00</td> </tr> <tr> <td>3 8:00</td> </tr> <tr> <td>4 11:00</td> </tr> </table>	FASE	1 2:00	2 8:00	3 8:00	4 11:00	Un rodamiento inclinado genera una vibración Axial considerable. Puede causar un movimiento torsional con un cambio de fase aproximado de 180° de arriba a abajo y/o de lado a lado cuando se mide en dirección Axial de la misma carcasa del rodamiento. Intentos de alinear el acople o balancear el rotor no aliviana el problema. Es necesario remover el cojinete e instalarlo correctamente.
FASE								
1 2:00								
2 8:00								
3 8:00								
4 11:00								

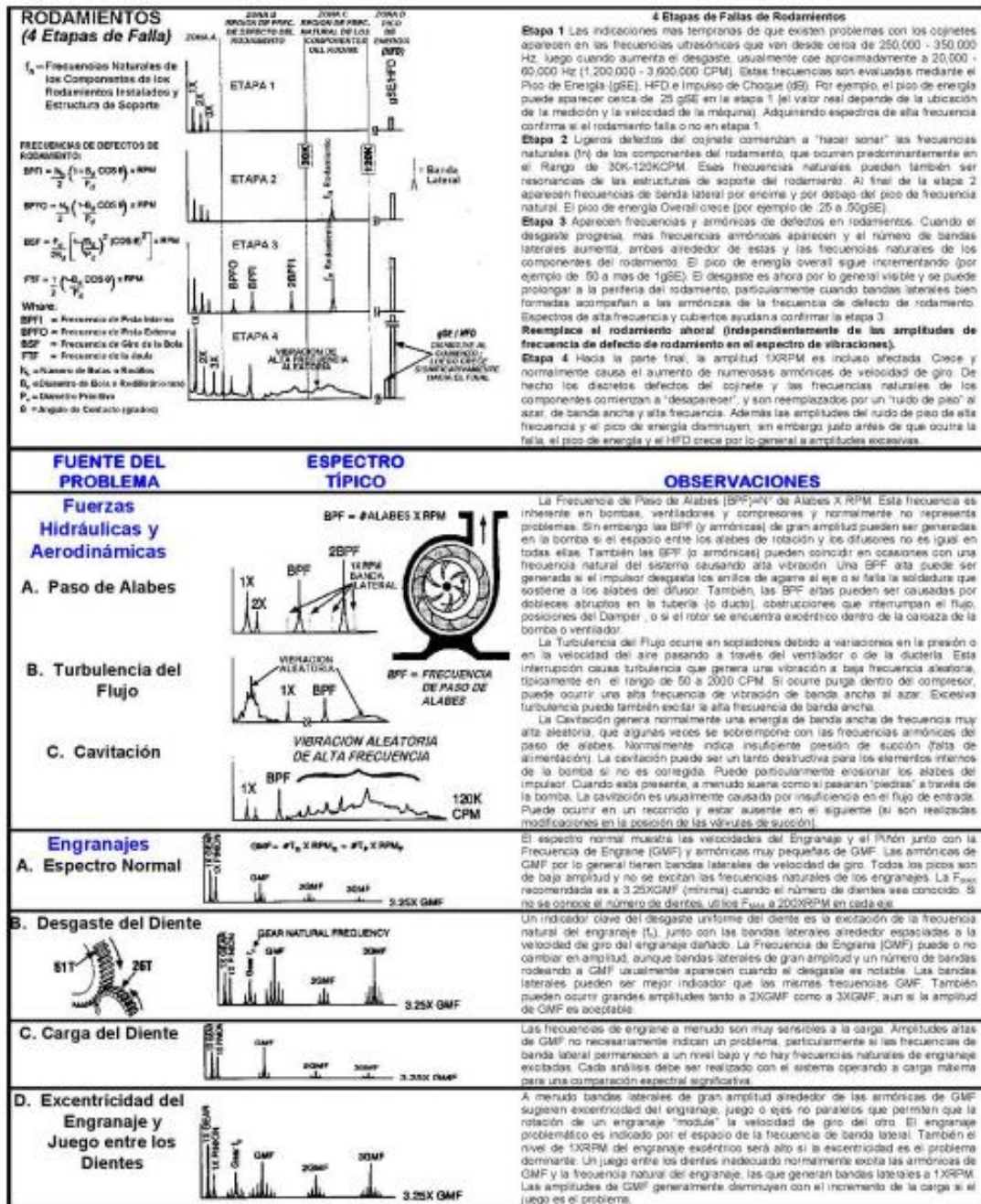
(Torres 2010)

Figura 29. Tablas de Charlotte parte 2

FUENTE DEL PROBLEMA		ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
<p>Resonancia</p>  <p>La resonancia ocurre cuando una frecuencia forzada coincide con una frecuencia natural del sistema, y puede causar una amplificación dramática de las amplitudes, lo que puede resultar en una falla prematura o incluso catastrófica. Esta puede ser una frecuencia natural del rotor, pero a menudo puede ser originada por el bastidor, la orientación, caja de engranajes e incluso las correas de transmisión. Si un rotor está o se aproxima a la resonancia puede ser prácticamente imposible balancearlo debido a el enorme cambio de fase que experimenta (90° en resonancia, cerca de 180° cuando la atraviesa). A menudo requiere el cambio de la frecuencia natural a una frecuencia mayor o menor. Generalmente las frecuencias naturales no cambian con un cambio en la velocidad, lo que ayuda a su identificación (exceptuando una máquina con cojinetes de gran tamaño o un rotor que tenga un voladizo significativo).</p>				
<p>Soltura Mecánica</p>  <p>La soltura mecánica está indicada para un espectro de vibración de tipo A, B o C. Tipo A es causado por soltura/debililitamiento estructural del pie de la máquina, la placa base o cimentación, también por una sedimentación deteriorada, soltura de los pernos que sujetan a la base y distorsión del bastidor o base (E, pista floja). El análisis de fase puede revelar una diferencia de 90° a 180° entre la medición Vertical de los pernos, pie de máquina, placa base o la base misma. Tipo B es generalmente causada por soltura de los pernos de la bancada, fisuras en la estructura del bastidor o en el pedestal del cojinete. Tipo C es normalmente generado por un ajuste inadecuado entre las partes componentes, que puede causar numerosas armónicas debidas a respuestas no lineales de partes flojas a fuerzas dinámicas del rotor. Causa un truncamiento de la Onda de Tiempo y un ruido elevado en el suelo del espectro. La tipo C es causada con frecuencia por el aflojamiento de un cojinete en su caja, por un espacio excesivo en la camisa o los elementos rodantes del rodamiento, un impulsor o eje flojo, etc. La fase tipo C es con frecuencia inestable y puede variar ampliamente de un arranque al siguiente. La soltura mecánica es a menudo altamente direccional y puede causar lecturas notablemente diferentes si se comparan niveles en incrementos de 30° en dirección radial alrededor de la carcasa del rodamiento. También note que la soltura podrá causar múltiples subarmónicas exactamente a 1/2 o 1/3X RPM (0.5X, 1.5X, 2.5X, etc.).</p> <p>NOTESE EL LEVANTAMIENTO DEL PISO INDICANDO SOLTURA.</p>				
<p>Roce (Fricción) del Rotor</p>  <p>El Roce del Rotor produce un espectro similar al de la soltura mecánica cuando las partes giratorias entran en contacto con los componentes fijos. La fricción puede ser parcial o en toda la revolución del rotor. Usualmente genera una serie de frecuencias, lo que por lo general excita una o mas resonancias. A menudo existen subarmónicas de fricción íntegra, de la velocidad de fraccionamiento (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, ... 1/n). Dependiendo de la ubicación de la frecuencias naturales del rotor. La fricción del rotor puede excitar numerosas frecuencias altas (similar al ruido de banda ancha que se produce al pasar una tiza por un pizarrón) puede ser muy grave y de corta duración si es causado por el eje haciendo contacto con el Babbit del cojinete. Una fricción anular total alrededor de toda la revolución del eje puede inducir una "precesión reversa" con el rotor girando rápidamente a la velocidad crítica en dirección opuesta a la rotación del eje (inherentemente inestable que puede llevar a una falla catastrófica).</p> <p>ONDA DE TIEMPO TRUNCADA DE FORMA PLANA</p>				
<p>Cojinetes</p> <p>A. Problemas por Desgaste o Juego.</p>  <p>Etapas posteriores del desgaste de cojinete son normalmente puestas en evidencia debido a la presencia de series completas de armónicas de velocidad de funcionamiento (hasta 10 o 20). Cojinetes gastados a menudo permiten altas amplitudes Verticales en comparación con las Horizontales, pero solo mostrarán un pico pronunciado a 1X RPM. Los cojinetes con soltura (juego) excesivo pueden permitir que un desbalance y/o desalineación menor cause una alta vibración que sería mucho menor si el juego del cojinete se ajustara a las especificaciones.</p> <p>NOTESE EL LEVANTAMIENTO DEL PISO INDICANDO SOLTURA.</p>				
<p>B. Inestabilidad por Remolino de Aceite</p>  <p>La inestabilidad por Remolino de Aceite ocurre a 40-48X RPM y a menudo es bastante grave. Se le considera excesiva cuando la amplitud excede el 40% de la holgura del cojinete. El remolino de aceite es una vibración de la película de aceite donde las desviaciones en las condiciones normales de operación (ángulo de disposición y radio de excentricidad) causa que una cuna de aceite "empuje" al eje dentro del cojinete. La fuerza desestabilizadora en dirección de la rotación resulta en un remolino (precesión hacia adelante). El remolino de aceite es inestable ya que incrementa las fuerzas centrífugas que aumentan las fuerzas del remolino. Puede causar que el aceite no soporte al eje, o puede convertirse en inestable cuando la frecuencia del remolino coincide con una frecuencia natural del rotor. Cambios en la viscosidad del aceite, presión de lubricación y cargas previas externas pueden afectar al remolino de aceite.</p>				
<p>C. Inestabilidad por Latigazo de Aceite</p>  <p>El Latigazo de Aceite puede ocurrir si la máquina opera a o sobre 2X la frecuencia crítica del rotor. Cuando el motor alcanza dos veces la velocidad crítica, el remolino estará muy cercano a la crítica del rotor y podrá causar una vibración excesiva que la película de aceite no sea capaz de soportar. La velocidad del remolino se "congela" a la crítica del rotor. No resesera este pico aun cuando se eleva mas y mas la velocidad. Produce una vibración subarmónica lateral adelantada precesional a la frecuencia crítica del rotor. Inherentemente inestable que puede llevar a una falla catastrófica.</p>				

(Torres, 2010)

Figura 30. Tablas de Charlotte parte 3



(Torres, 2010)

N. Sistema de Transmisión de Potencia

1. ¿Qué es un sistema de transmisión de potencia?

Un sistema de transmisión de potencia es una clase de mecanismo que está diseñado para transmitir la potencia de un elemento generador de potencia a un elemento de maquinaria deseado, para que esta pueda realizar las funciones para las que fue diseñada. Además de transmitir potencia, los sistemas de transmisión tienen la capacidad de modificar la velocidad para ajustarla a los parámetros necesarios. Los sistemas de transmisión de potencia más empleados en maquinaria actualmente son: sistemas de transmisión por fajas, sistema de transmisión por cadenas y sistemas de transmisión por engranajes. Cada uno de estos sistemas de transmisión presentan diferentes características que los hacen ideales para diferentes tipos de aplicaciones.

2. Sistema de transmisión por fajas

Un sistema de transmisión de potencia por fajas se utiliza para transmitir potencia de un eje a otro, este utiliza una faja flexible la cual está montada a poleas que están conectadas a los ejes mencionados. Tiene la característica de no realizar una transmisión exacta, esto debido al deslizamiento entre la faja y las poleas del sistema. Una de las principales ventajas de un sistema de transmisión por bandas es que, a diferencia de sistemas de transmisión por engranajes, permite una separación entre los ejes de transmisión. Otra ventaja es que, estas no requieren ningún tipo de lubricación, por lo que su mantenimiento es más sencillo que en otros sistemas de transmisión de potencia. Otras características notables de las fajas son, buena absorción de fuerzas durante el arranque y frenados y su bajo soporte a la abrasión. Existen diferentes tipos de fajas, las cuales han sido diseñadas y modificadas para mejorar el desempeño en áreas específicas.

Fajas planas:

Las fajas planas se caracterizan por ser el primer tipo de fajas utilizado en la industria. Consisten en una banda plana de caucho que se coloca sobre la superficie externa de las poleas. Una limitante de este tipo de fajas es la potencia que pueden transmitir, ya que, si esta es muy alta, la banda comenzará a deslizarse y la transmisión será cada vez más ineficiente. Los fabricantes especifican el modelo utilizando el diámetro externo de la polea, por lo que las relaciones de transmisión son calculadas utilizando ese dato.

Figura 31. Poleas con fajas planas



(DINAMICA, 2010)

Fajas tipo en V:

Las fajas en tipo V fueron diseñadas para reemplazar las fajas planas en ocasiones que la potencia sea demasiado alta, estas son colocadas en poleas con ranuras moldeadas con la misma forma de la faja. El ángulo de fabricación de las bandas es un ángulo estandarizado que, generalmente, varía entre 34° y 38° . Al transmitir la potencia, la tensión provoca que la faja se introduzca dentro de la ranura y esto aumenta la fuerza normal entre las paredes de la polea y la banda, permitiendo que el torque transmitido sea más elevado. Debido a que la banda se introduce dentro de la ranura en la polea, el tipo de banda V se especifica utilizando el diámetro de paso y no el diámetro externo como es el caso de las poleas planas.

Figura 32. Fajas tipo V



(ECORSA, 2015)

3. Sistema de transmisión por cadenas

Los sistemas de transmisión de potencia por cadenas utilizan una cadena que está montada a dos catarinas acopladas a los ejes de transmisión. Presenta varias similitudes con las bandas con la necesidad de lubricación como su diferencia más notable. Algunas características positivas de las cadenas es que son capaces de mantener una sincronización más exacta que las bandas, tienen una vida más duradera que las bandas, son capaces de transmitir torques más altos debido a que no dependen de la fricción. Una de las desventajas de estos sistemas es el costo, pues este es más elevado que en las bandas.

Figura 33. Sistema de cadenas



(Ustsubaki, 2018)

4. Sistema de transmisión por engranajes y reductores cicloidales

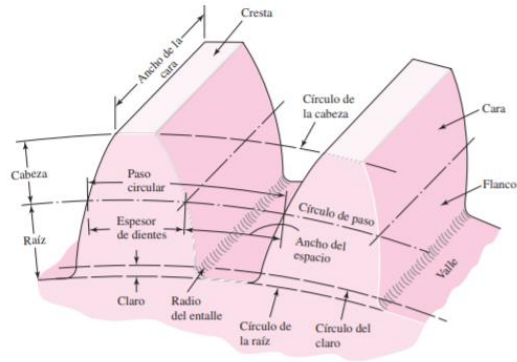
Los sistemas de transmisión de engranajes utilizan ruedas dentadas que transmiten la potencia del motor al eje donde se necesita esa potencia. Al igual que las cadenas y fajas, los engranajes pueden modificar la velocidad y el torque transmitido. Los engranajes se caracterizan por tener una eficiencia muy elevada y tienen la desventaja de no ser adecuados para distancias entre centros muy amplias. En comparación con los sistemas de transmisión de bandas y cadenas, los engranajes tienen un precio más elevado, esto debido a la manufactura y los materiales requeridos para realizar los engranajes. En la manufactura de engranajes para sistemas de transmisión, se utiliza generalmente dos tipos de dientes, rectos y dientes helicoidales.

a. Engranajes de dientes rectos:

Los engranajes rectos son aquellos que poseen dientes paralelos al eje de simetría de este, lo que les permite ser más fácil de maquinar y su costo es menor en comparación con los otros tipos de engranajes. Una desventaja que presentan este tipo de engranajes es que, solo pueden

engranar si sus ejes son paralelos. Una desventaja que se presenta en los engranajes rectos es que, estos son el tipo de engranaje más ruidoso (Norton, 2009).

Figura 34. Engranajes de dientes rectos



(Budynas, 2012)

b. Engranajes de dientes helicoidales:

Los engranajes helicoidales, a diferencia de los engranajes rectos, son engranajes que forman un ángulo helicoidal con respecto al eje del engranaje. Estos tienen la característica de ser más silenciosos que los engranajes de dientes rectos. Otra de sus características es que, si se requiere colocar los engranajes de forma que sus ejes sean paralelos, los dientes de estos deben de ser opuestos. (Norton, 2009)

Figura 35. Engranajes de dientes helicoidales



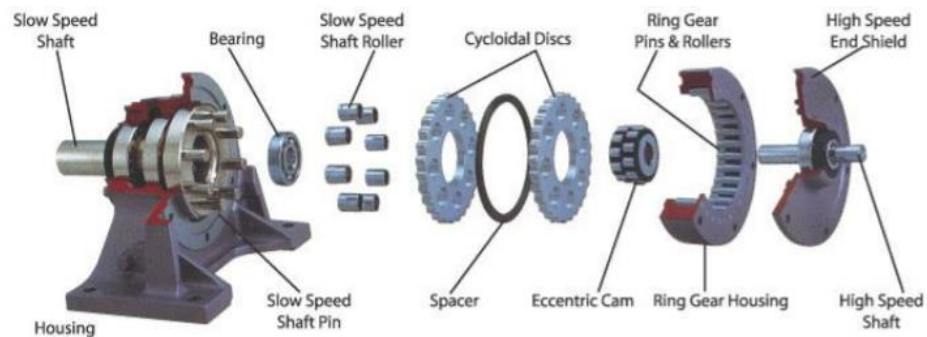
(khkgears, 2015)

c. Reductores cicloidales:

Los reductores cicloidales tienen un principio de movimiento excéntrico, el eje de entrada de potencia se encuentra adherido a una leva excéntrica que gira dentro de un cojinete de rodillos, este transmite el movimiento rotativo a un engranaje cicloidal que gira de manera excéntrica dentro de un engranaje tipo anillo. A diferencia de los reductores de dientes convencionales, realizan la transmisión de potencia manteniendo un contacto de 67% de los componentes en cada momento, esto permite que soporten cargas intermitentes de hasta 500% más elevadas que la carga para la que fue diseñado. Una de las ventajas más grandes de los reductores cicloidales es que, son significativamente menores y requieren de una menor cantidad de componentes que un reductor convencional con la misma relación de reducción. Como desventaja, los reductores cicloidales de dimensiones muy elevadas pueden sufrir de vibraciones elevadas debido a la excentricidad de su movimiento. Cabe destacar que en el reductor cicloidal, la orientación de giro del eje de salida siempre es contraria a la rotación de giro del eje de entrada.

Dentro de las partes principales para el funcionamiento de los reductores cicloidales se pueden distinguir las siguientes partes: El eje de entrada, el disco cicloidal, una leva excéntrica, los pines fijos a la carcasa y el eje de salida. En la siguiente figura se pueden observar los componentes de un reductor.

Figura 36. Componentes del reductor cicloidal.



(Khkgears, 2015)

Existen reductores cicloidales de una, dos y tres etapas. Los reductores de una etapa son capaces de lograr una relación de hasta 119:1. Los reductores de dos etapas son capaces de llegar hasta las 7569:1 y los de tres etapas son capaces de llegar hasta 659,503:1. (Sumitomo, 2017)

Para el cálculo de relación de velocidad es necesario saber el número de dientes en el disco cicloidal y el número de pines fijos en la carcasa del reductor, y la ecuación para describirla es la siguiente:

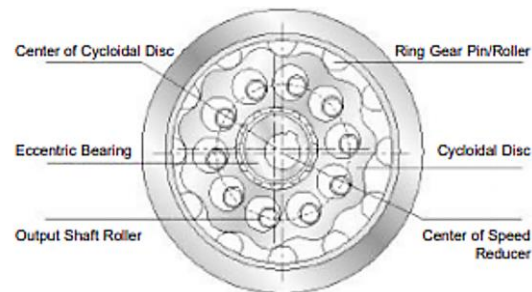
$$i = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1} \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

Z_1 = Número de dientes en el disco cicloidal.

Z_2 = Número de pines en la carcasa.

Figura 37. Mecanismo de reducción cicloidal



(Dinámica, 2010)

5. Materiales

Para poder cumplir con las características mencionadas, los sistemas de transmisión de potencia son elaborados con materiales específicos. Se debe de tomar en consideración los materiales a la hora de analizar los sistemas de transmisión de potencia, pues una buena selección de estos puede traer beneficios a la maquinaria donde se instalará el sistema de transmisión.

a. Materiales utilizados en sistema de transmisión por fajas:

En fajas, se utilizan materiales con propiedades elásticas, uno de los materiales más comunes es el cuero curtido. El cuero curtido es capaz de transmitir potencias elevadas manteniendo una larga duración si las condiciones son adecuadas. Si el ambiente de operación contiene humedad o elevada radiación solar, las fajas de cuero tendrán una vida reducida drásticamente. Otra característica es que, se debe mantener operando a una velocidad moderada.

Los cauchos reforzados son materiales compuestos que presentan características muy deseables para la aplicación de transmisión de potencia. Estos constan de caucho que está reforzado en el interior con cuerdas de nylon o acero, esto los hace ideales para transmisión de potencias altas sin tener que aumentar las dimensiones de las fajas. Son capaces de trabajar a velocidades elevadas y tienen una resistencia mayor a los ambientes de humedad y radiación que las bandas de cuero. (González, Correas Planas, 2006).

b. Materiales utilizados en sistemas de transmisión por cadenas:

Las cadenas de transmisión están realizadas generalmente a partir de acero, y el acero se elige a partir del ambiente donde la cadena está trabajando. Se utilizan aleaciones de níquel y zinc en ambientes de alta corrosión y se utiliza acero inoxidable cuando la cadena se encuentra en contacto con agua.

c. Materiales utilizados en sistemas de transmisión por Engranajes o cicloidales:

Los reductores de engranajes pueden ser realizados con una amplia gama de materiales, estos pueden ser fabricados en polímeros, aluminio y aceros. Los reductores cicloidales comerciales por otro lado, solo se encuentran fabricados en aceros de alta resistencia debido a su tipo de aplicaciones.

O. MANTENIMIENTO

1. Lubricación

“La lubricación es la forma más efectiva para reducir la fricción y el desgaste” (Groover, 2012). Los lubricantes tienen como propósito reducir los rozamientos en las partes móviles, esto hace que el movimiento sea más sencillo de realizarse. Dos de los requerimientos básicos de los lubricantes es que soporten presiones altas sin que la película de lubricante se rompa y que puedan actuar como refrigerantes. Una buena lubricación aporta beneficios como reducción de desgaste en las piezas, ahorro de energía, reducción de ruido y disminuye el mantenimiento emergente en la maquinaria. Se debe de tener consideraciones a la hora de seleccionar lubricantes, pues existen diferentes factores que pueden alterar las características de los lubricantes.

Figura 38. Lubricación en un conjunto de engranajes



(Sánchez Marín, 2006)

2. Factores que afectan la lubricación.

Velocidades altas modifican las propiedades de la película de lubricación, algo que puede afectar las funciones del lubricante en el dispositivo. Otro de los factores que afectan las propiedades de los lubricantes es la temperatura. Altas temperaturas provocan una modificación en la viscosidad del aceite que conforma la grasa y esto hace que pierdan su habilidad lubricante, además, si el lubricante está expuesto a temperaturas altas por un periodo de tiempo muy largo, ocurrirá una oxidación lo que forma depósitos que pueden obstruir el flujo del lubricante.

Mantener una limpieza en la maquinaria prolonga la vida útil de los lubricantes y de la maquina en general. Los contaminantes son responsables de aumentar la oxidación y descomposición de los lubricantes, provocando que las propiedades de estos se alteren.

3. Tipos de lubricantes

En la industria los lubricantes se dividen en dos ramas, líquidos y sólidos. Los más utilizados en la actualidad son los lubricantes líquidos, pues son más económicos y fáciles de aplicar. Además, sus propiedades a bajas temperaturas son más estables que en los lubricantes sólidos. Los lubricantes sólidos como las grasas son utilizados cuando los aceites no pueden utilizarse por su fluidez.

a. Lubricantes líquidos:

Este tipo de lubricantes se refiere a los aceites. Los aceites son utilizados cuando la temperatura es elevada. Estos no contienen materiales sólidos. Los aceites se subdividen en minerales-sintéticos y en aceites con base animal. Los aceites de base animal tienen un uso muy limitado, estos se oxidan con facilidad y terminan siendo gomosos. Las temperaturas altas transforman los aceites animales en ácidos dañinos para la salud de las personas (González, 2007).

Los aceites minerales y sintéticos tienen un uso muy extendido en la industria, los aceites minerales están hechos a base de petróleo y no contienen compuestos reactivos. Los aceites minerales de calidad elevada son los más utilizados con rodamientos debido a que no afectan la vida de servicio de la maquina donde están empleados. Los aceites sintéticos son aceites más especializados, su viscosidad es independiente de la temperatura dentro del rango de 70C a 200C.

b. Grasas:

Las grasas lubricantes se definen como sólidos o semifluidos y son el resultado de la dispersión de un espesante en un líquido con características lubricantes. Estas generalmente son clasificadas a partir de su grado de fluidez y también se clasifica según sean grasas minerales, sintéticas y totalmente sintéticas. Dentro de las ventajas de las grasas en comparación con los aceites es que, estas tienen una mayor adherencia a las superficies, mejor capacidad de sellado y aislamiento del medio, mayor protección contra el desgaste, mejor lubricación a altas cargas y bajas velocidades, mejor protección a la corrosión y absorción a ruido y vibraciones más alta. Como desventajas en comparación a los lubricantes se destaca que, las grasas no pueden ser utilizadas para evacuar calor a diferencia de los lubricantes y estas tampoco son capaces de trabajar a regímenes de velocidad muy elevados. (Cabello, 2013).

Grasas comerciales premium ESSO Unirex N2:

Dentro del grupo de grasas, existen grasas denominadas “premium”, estas no solo ofrecen mejores propiedades de lubricación sino además su tiempo de vida es más prolongado que las grasas convencionales. Estas grasas fueron diseñadas para soportar ambientes corrosivos y abrasivos.

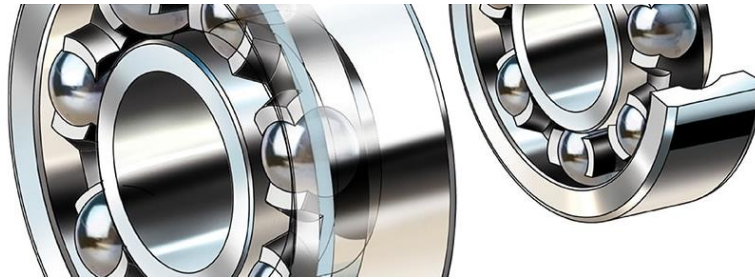
A continuación, se mencionarán características de esta serie de grasas:

La grasa contiene un espesante de complejo de litio que confiere resistencia al reblandecimiento eso hace que la grasa no presente desgastes en temperaturas de hasta 190°C de operación.

Las pruebas de laboratorio con cojinetes muestran que la grasa presenta un extraordinario rendimiento a temperaturas de los cojinetes o componentes rotativos, mayores de 120°C.

Los requisitos de potencia de arranque son bajos a temperaturas de hasta al menos -20°C. (Exxonmobil, 2017)

Figura 39. Ubicación de Grasa lubricante en cojinete.



(Mobil, 2016)

4. Técnicas de mantenimiento

Se define mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible. (Garrido, 2010) . El mantenimiento básicamente se subdivide en dos grupos, de corrección y de prevención.

a. Mantenimiento correctivo:

Este tipo de mantenimiento es el que se enfoca mayormente en corregir los problemas y fallas conforme van sucediendo en el equipo, se considera este mantenimiento como el de menor inversión inicial, aunque los costos de operación ligados a este tipo de mantenimiento pueden ser muy elevados. Este tipo de mantenimiento se recomienda cuando la ocurrencia y repercusión de las fallas es baja.

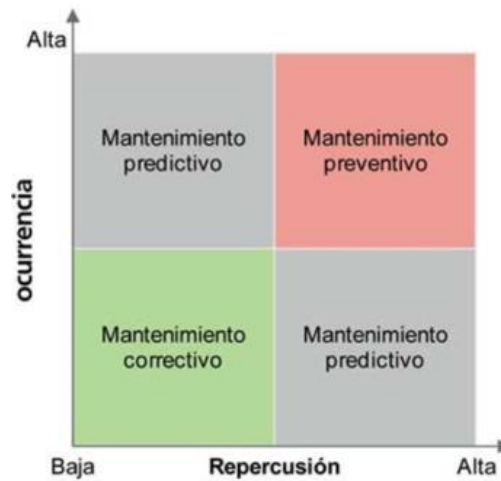
b. Mantenimiento preventivo:

Este tipo de mantenimiento se enfoca en garantizar el funcionamiento de un equipo durante un periodo de tiempo establecido, así permitiendo que no haya interrupciones en la operación de este. Este mantenimiento requiere una inversión más elevada que el correctivo, pero gracias a este los costos de operación y fallas son reducidos. Este tipo de mantenimiento se recomienda cuando la ocurrencia y repercusión de las fallas es alta.

c. Mantenimiento predictivo:

El mantenimiento predictivo es una técnica que permite pronosticar en que punto fallará una maquina o dispositivo en el futuro, esto nos permite crear un plan para dar mantenimiento o reemplazar dicho objeto antes de que este falle por completo y sea inoperable. Para realizar el mantenimiento predictivo se debe de establecer un historial del componente y se debe de monitorear durante un largo periodo de tiempo para poder tener la información suficiente para poder predecir con precisión en diversas situaciones.

Figura 40. Gráfica de selección de mantenimiento.



(González, 2007)

P. Acoples

1. ¿Qué es un acople mecánico?

Dispositivo o elemento mecánicos cuya función es conectar dos ejes en sus extremos para la transmisión potencia o velocidad de un eje a otro. También tiene como función prolongar las líneas de transmisión. (Piovan, 2014)

2. ¿Tipos de acoples mecánicos?

a. Acoples rígidos:

Los acoples rígidos conectan a los ejes de manera que no permiten el desplazamiento relativo entre ambos ejes, sin embargo, posee una tolerancia para el desajuste o juego axial. Restringir el movimiento relativo entre ejes permite maximizar el rendimiento de las máquinas debido a la disminución de pérdidas en el sistema. Estos acoples son convenientes en situaciones donde la presión en el par de torsión es importante, también donde la alineación de los ejes pueda mantenerse con mucha exactitud tanto en la instalación como durante el funcionamiento. (Mott, 2006)

b. Acoples rígidos de manguito:

Son acoples que cierra o se ajustan por interferencia, pueden ser de una pieza (Figura No.41) o de dos piezas (Figura No.42), la transmisión se realiza mediante el uso de chavetas o ajuste de presión (tornillos). Son utilizados en transmisiones de baja potencia o bajo torque. (Sánchez Marín & Pérez González, 2006)

Figura 41. Acople rígido de una pieza



(RULAND, 2018)

Figura 42. Acople rígido de dos piezas



(RULAND, 2018)

c. Acoples rígidos de platillos o bridas:

Los acoples de platillos o bridas consisten en la utilización de dos bridas, ubicadas en cada eje que se atornillan entre sí. Se emplean en ejes de igual o diferente diámetro. (González, Mantenimiento mecánico de máquinas, 2007)

Figura 43. Acople de platillo



(RULAND, 2018)

d. Acoples flexibles:

Los acoples flexibles están diseñados para transmitir un par torsional uniformemente, permiten cierta desalineación axial, radial y angular. El desalineamiento es absorbido por juntas, enlaces o componentes del acople.

e. Acoples de engranaje interno:

Este tipo de acoples están conformados por dos mitades; una mitad interior y la cubierta exterior. La mitad interior posee un engranaje externo y va conectada a los ejes; la cubierta exterior posee un engranaje interno y va conectada con la mitad interior. Están diseñados para manejar grandes cargas, altas potencias y bajas velocidades.

Figura 44. Detalle de Acople de engranaje interno



(Grupo SKF, 2015)

f. Acoples de cadena:

Los acoples están contruidos de dos piñones tallados para permitir desalineamiento angular y paralelo, están unidos por una cadena doble desmontable. Son ideales para transmitir alto torque a medias y bajas velocidades.

Figura 45. Acople de cadenas



(INTERMEC, 2016)

g. Acoples de cruceta o de mandíbula:

Los acoples de cruceta transmiten el par de torsión por medio de una cruceta elastómera (usualmente caucho). La cruceta de elastómero protege a las máquinas de choques repentinos, vibraciones y sobrecargas ocasionadas por la desalineación de los ejes. Son ideales para transmisión de baja potencia y alta velocidad, también es adecuado para aplicaciones de arranques frecuentes.

Figura 46. Acople de mandíbula



(Bervina, 2018)

3. Cuñas

Las cuñas son elementos de conexión cuya función es la transmisión de potencia y torque de los ejes a cualquier elemento de transmisión. Estas son desmontables para poder mantener un montaje y mantenimiento más sencillo. Estas se instalan dentro de ranuras axiales maquinadas en el eje de transmisión de potencia. Las dimensiones de una cuña pueden ser obtenidas a través tablas estandarizadas por diferentes asociaciones de ingeniería mecánica. A continuación, se puede observar en la Figura No.47 de dimensiones de cuñas:

Figura 47. Dimensiones para cuñeros (in) (cc)

Diámetro del eje [pulg]	Anchura y profundidad del cuñero [pulg]	Cuña de sección cuadrada [pulg]	Diámetro del prisionero [pulg]
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8 a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8 a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1-1/4 a 1-3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1-3/8 a 1-3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1-3/4 a 2-1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2-1/4 a 2-3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2-3/4 a 3-1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3-1/4 a 3-3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3-3/4 a 4-1/2	1 x 1/2	1 x 1	3/4
4-1/2 a 5-1/2	1-1/4 x 5/8	1-1/4 x 1-1/4	7/8
5-1/2 a 6-1/2	1-1/2 x 3/4	1-1/2 x 1-1/2	1
6-1/2 a 7-1/2	1-3/4 x 7/8	1-3/4 x 1-3/4	1-1/4
7-1/2 a 9	2 x 1	2 x 2	1-1/4
9 a 11	2-1/2 x 1-1/4	2-1/2 x 2-1/2	1-1/4

Q. Cojinetes

1. Vida de un cojinete

La medida “vida” de un cojinete como tal, se define como el número de revoluciones o el número de horas de trabajo del cojinete hasta que se presente una falla. En condiciones ideales, la American Bearing Manufacturer Association (ABMA) establece que una falla en cojinetes ocurre desde el primer indicio de que existe fatiga en este, generalmente se dice que un cojinete falló si existe picadura en un área de 0.01 in², aunque este valor tiene variaciones de fabricante en fabricante. (Budynas, 2012)

Para calcular la vida útil de cojinetes, se utilizan las ecuaciones desarrolladas por la ABMA las cuales son aplicadas por los proveedores de cojinetes más importantes a nivel mundial, como SKF, NTN y Timken. Utilizando como base el catálogo de rodamientos SKF, el cálculo de vida útil de cojinetes se realiza de la siguiente manera.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right)L_{10}$$

$$L_{10m} = a_1 a_{correctivo} L_{10}$$

$$L_{10mh} = \left(\frac{10^6}{60n}\right) L_{10m}$$

Donde:

L_{10} = vida nominal básica [Millones de revoluciones]

L_{10h} = vida nominal básica [Horas de funcionamiento]

L_{10m} = vida nominal real [Millones de revoluciones]

L_{10mh} = vida nominal real [Horas de funcionamiento]

a_1 = factor de ajuste de la vida útil para una mayor confiabilidad (Figura No.48, valores que cumplen con la norma ISO 281)

$a_{correctivo}$ = factor de modificación de la vida (Figura No.49 y 50)

C = capacidad de carga dinámica básica [kN]

P = carga dinámica equivalente del rodamiento [kN]

n = velocidad de giro [r. p. m.]

$p = 3$ en rodamientos de bolas, $3/10$ en rodamientos de rodillos.

(Grupo SKF, 2015)

Con el objetivo de agregar un punto de comparación entre los cálculos de vida útil de rodamientos, las ecuaciones de vida útil básica en millones de revoluciones y la vida útil básica expresada en horas del catálogo de la marca "Nose-Seiko" se pueden observar a continuación.

$$L_{10} = \left(\frac{Cr}{Pr}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right) L_{10}$$

L_{10} = vida nominal básica [Millones de revoluciones]

L_{10h} = vida nominal básica [Horas de funcionamiento]

Cr = capacidad de carga dinámica básica [N]

Pr = carga dinámica equivalente del rodamiento [N]

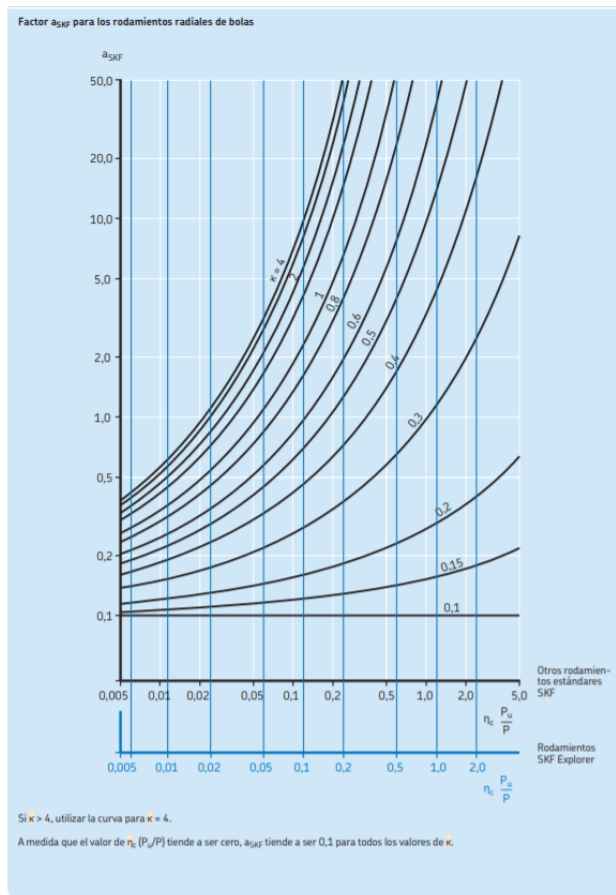
n = velocidad de giro [r. p. m.]

Figura 48. Valores que cumplen con la norma ISO 281

Valores del factor de ajuste de la vida útil a_1			
Confiabilidad	Probabilidad de falla	Vida nominal SKF	Factor
%	n	L_{nm}	a_1
		millones de revoluciones	-
90	10	L_{10m}	1
95	5	L_{5m}	0,64
96	4	L_{4m}	0,55
97	3	L_{3m}	0,47
98	2	L_{2m}	0,37
99	1	L_{1m}	0,25

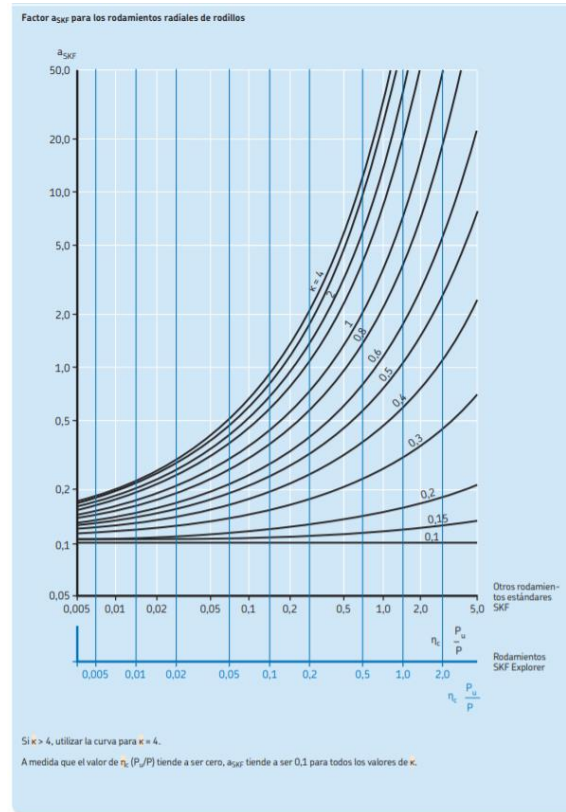
(Grupo SKF, 2015)

Figura 49. Valor correctivo para rodamientos de bolas



(Grupo SKF, 2015)

Figura 50. Valores correctivos para rodamientos de rodillos



(Grupo SKF, 2015)

R. Matriz de decisión

1. ¿Qué es una matriz de decisión?

Es un gráfico utilizado para identificar y analizar la tasa de la fuerza de las relaciones entre un conjunto de información, para la toma de decisiones. Una matriz de decisión debe de contener:

a. Alternativas:

Representa las filas de la matriz, para ser consideradas como válidas deben de tener las siguientes características: ser posible, ser controlable por el decidor, estar orientada a cumplir por lo menos con uno de los objetivos y ser mutuamente excluyentes con las demás alternativas.

b. Estados naturales:

Se ubican en las columnas de la matriz, son variables no controladas, representa las situaciones o sucesos en los que no se pueden influir y que condicionan la decisión que se tome.

c. Resultados:

Son ubicados en las intersecciones entre filas y columnas de la matriz, se colocan los resultados esperados en cada una de las estrategias y su respectivo estado natural.

V. METODOLOGÍA

A. Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico

1. Análisis financiero

Previo a la fase de diseño se realizó un análisis financiero, en el cual la municipalidad de Panajachel planteó el tiempo límite para recuperar el dinero invertido en la construcción de la trituradora. Tomando como base el tiempo solicitado por la municipalidad se elaboró un cálculo, tomando en cuenta el precio de la electricidad, inflación, precio de venta del vidrio triturado y cantidad de material vendido mensualmente; para determinar el precio máximo que podía tener la trituradora para que la inversión fuera rentable para la municipalidad.

El precio por kWh utilizado fue el último registrado por DEOCSA, la cual es la empresa encargada de la distribución eléctrica en el departamento de Sololá. El precio utilizado fue de Q1.10.

La tasa de inflación utilizada fue el valor promedio del año 2017 según el instituto nacional de estadística, con un valor de 4%. Este porcentaje se utilizó para poder determinar el valor de las ganancias de los siguientes meses en el primer mes de operación, todo lo anterior con el fin de encontrar el valor presente neto.

Para determinar el valor presente se utiliza la siguiente fórmula:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Donde:

VP = Valor presente

VF = Valor futuro.

i = tasa de interes (inflación)

n = Número de períodos analizados.

2. Elaboración de matriz de requerimientos

La matriz de requerimientos se construyó de forma grupal con la información recopilada por parte de cada módulo durante las visitas al centro de acopio en Panajachel. La información recopilada fue acerca de la disponibilidad de espacio, limitaciones físicas y educativas de los

futuros usuarios, tipo de instalación eléctrica, centros de venta de repuestos cercanos al centro de acopio, posibilidades económicas de la municipalidad y cantidad de material de desecho ingresado diariamente. Los requerimientos se clasificaron en tres rubros principales, los cuales son: funcionales, operacionales y limitantes. Para poder identificar con mayor facilidad el requerimiento se le asignó un código correspondiente a su tipo y además se le asignaron las siglas que identifican a que módulo corresponde el requerimiento. Las siglas utilizadas fueron las siguientes:

- ST para el sistema de trituración.
- STP para el sistema de transmisión de potencia.
- ET para el módulo de estructura.
- SE para el módulo de ingeniería de sistemas y sistema eléctrico.

3. Elaboración de matriz de verificación y validación

En la matriz de verificación y validación se relacionó cada requerimiento con un tipo de verificación. Se utilizaron cuatro formas de verificar, las cuales están basadas en la literatura de Gebara y Spencer. Los métodos de verificación son:

- Análisis, por medio de un modelo matemático.
- Inspección, puede ser de forma visual o utilizando un instrumento de medición que no sea de mayor complejidad
- Prueba, se utiliza el sistema.
- Revisión de diseño, consiste en una revisión de los planos del sistema.

Es importante mencionar que los métodos de verificación no son únicos, esto quiere decir que durante el proceso de diseño existen cambios en el sistema y cada uno de estos cambios se debe verificar para asegurar que siga cumpliendo con los requerimientos en los cuales incurre. Para poder cumplir con lo anterior se calendarizó una reunión grupal de forma semanal para discutir el avance del proyecto y los cambios realizados. Para documentar todos los cambios realizados a lo largo del proyecto, con ayuda de una capeta de Google Drive, se archivaban los avances y se nombraban con el mecanismo modificado y su respectiva fecha de modificación.

Esta matriz se subdividió en dos partes, una matriz para análisis y revisión de diseño, y otra matriz para inspección y prueba. La división anterior se realizó debido a que los métodos de inspección y prueba necesitan del componente físico y por lo tanto proporcionaba mayor facilidad tener esta separación a la hora de realizar estas verificaciones. Para el control de todos los avances se utilizó el cronograma de trabajo, en el cual se identificaban las actividades por realizar y las realizadas.

4. Pruebas de integración

Una vez se haya completado el montaje de los diferentes componentes de la trituradora se procederá a realizar una prueba de integración, durante esta prueba se evaluará que la trituradora cumpla con todos los requerimientos planteados. La fase de prueba tendrá una duración de un mes, durante el cual se evaluará su desempeño, seguridad y que tan intuitivo es el uso de la máquina. Posterior a estas pruebas realizadas por los integrantes del grupo y personas pertenecientes a la universidad, se procederá a realizar pruebas en el centro de acopio. Las pruebas en el centro de acopio constarán de dos partes principales, las cuales son una evaluación final del desempeño de la máquina trabajando en condiciones reales el día de la entrega y una capacitación para el personal que estará a cargo de la máquina en el centro de acopio.

5. Diseño del sistema eléctrico

Uno de los requerimientos del sistema eléctrico es que este debe poder manejarse de forma intuitiva, para poder cumplir con lo anterior se realizaron los siguientes pasos:

- Se investigó sobre tres diferentes sistemas de encendido y apagado. Se elaboró el diseño eléctrico y un esquema visual de cada uno.
- Se elaboró una encuesta para los futuros usuarios, en la cual se mostraba el esquema visual de los diferentes sistemas eléctricos.
- Se evaluó cuál de los sistemas les resultaba a los usuarios más intuitivo de utilizar y más aceptable visualmente. Para lo anterior se les preguntó a los futuros usuarios dónde se prendía y apagaba cada sistema, y cual les resultaba más agradable visualmente. Se calificó con 10 al sistema que tuviera más respuestas positivas y con una regla de 3 inversa se fueron determinando las puntuaciones de los demás sistemas.

Adicionalmente a estas preguntas a los usuarios se calificó la facilidad de instalación de cada sistema, la facilidad de reparación de cada sistema con los materiales y repuestos disponibles en Sololá, la seguridad eléctrica ante sobrecargas y humedad que proveía cada sistema y el costo de cada uno. Todos los rubros anteriores se calificaron con el mismo método de las preguntas anteriores, dándole 10 puntos al sistema que represente la mejor opción y con regla de 3 inversa se calculó la puntuación de cada uno de los restantes.

La facilidad de instalación se evaluó por medio del tiempo que tomaba instalar por completo cada sistema; para la facilidad de reparación se determinó con una muestra de diez ferreterías en el municipio de Panajachel, en las cuales se examinó la existencia de repuestos para los diferentes sistemas, teniendo una puntuación de 10 el sistema que más repuestos tenga en existencia.

6. Elaboración del Manual de Usuario

Al haber culminado la fase de elaboración y ensamblaje de la trituradora, se elaboró un manual de usuario, en el cual se incluyó el equipo de seguridad necesario que se debe tener para utilizar la trituradora, mantenimiento necesario que se debe dar a sus componentes y los respectivos pasos para realizarlo, posibles problemas y sus respectivas soluciones a la hora de utilizar la trituradora, y por último las normas de seguridad correspondientes al uso de la misma.

B. Trituración

1. Comparación entre tipos de trituradoras y características

Con base en los parámetros de interés para la elaboración del proyecto, se elaboró una matriz en la cual se realiza la comparación de cuatro trituradoras. En esta se asigna una ponderación a cada característica y posteriormente se le proporciona una puntuación, dicha puntuación es un valor en 1 y 3 en donde 1 es lo menos deseable y 3 es los más deseable.

Cuadro 5. Matriz para toma de decisiones

Característica	Ponderacion	Tornillo		Mandibula		Martillos		Martillos modificada	
		Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación
Capacidad	5%	2	0.1	3	0.15	1	0.05	1	0.05
Tamaño de partícula	10%	1	0.05	3	0.15	1	0.05	3	0.15
Seguridad	20%	1	0.05	1	0.05	2	0.1	3	0.15
Mantenimiento	10%	2	0.1	2	0.1	3	0.15	2	0.1
Manufactura	20%	1	0.05	1	0.05	2	0.1	2	0.1
Tamaño de la maquina	5%	2	0.1	2	0.1	2	0.1	2	0.1
Costo	30%	1	0.05	2	0.1	2	0.1	3	0.15
Total			0.5		0.7		0.65		0.8

(Fuente: Elaboración propia)

2. Cálculo de potencia

Para determinar la potencia necesaria para generar la ruptura de vidrio se utiliza la ley de bond y el índice de trabajo que se encuentra en Cuadro No. 1. La ley de Bond puede ser expresada con la siguiente ecuación.

$$P = 1.46 * Wi * T * \sqrt{\frac{1}{Di}} - \sqrt{\frac{1}{Df}}$$

En donde Wi es el índice de triturabilidad o índice de trabajo, T es la cantidad de vidrio a triturar en toneladas por hora, Di es el diámetro inicial de la partícula y Df es el tamaño final de la misma.

Para este cálculo se asume que se tritura 1 tonelada de vidrio por tiempo de trabajo y cada tiempo de trabajo se define como 2 horas. Además, se establece que el tamaño máximo que se puede triturar es de 14.5 in y el tamaño de partícula deseado es de 2 pulgadas.

La ecuación proporcionara un valor teórico mínimo al cual posteriormente se le aplicara un factor de seguridad. Al obtener este valor se acercará a la medida comercial más cercana, siempre tomando en cuenta que esta potencia debe funcionar con diferentes tipos de martillos.

3. Velocidad de rotación

Mediante un modelo experimental se realizó un ensayo de fractura de diversas marcas de botellas y calibres de vidrio el cual se encuentra disponible en el Cuadro No. 3.

Figura 51. Pruebas experimentales de fractura



(Fuente: Elaboración propia)

Para el cálculo de la velocidad de rotación se utiliza la fuerza promedio la cual genera la ruptura del vidrio, se utiliza un análisis energético para determinar la velocidad de rotación mínima en el eje. Para ello se asume que únicamente los últimos tres eslabones estarán impactando las botellas y un comportamiento lineal. Obteniendo la siguiente ecuación para determinar dicha velocidad.

$$W = \frac{\sqrt{\frac{m * g * h * 2}{M}}}{r}$$

En donde m hace referencia a la masa utilizada para las pruebas de ruptura, g a la gravedad de la tierra, h es la altura promedio que genera la ruptura del vidrio, M es la masa de tres eslabones de la cadena y r es el radio de rotación del eje.

Esta posteriormente es probada experimentalmente para determinar que no exista enrollamiento en el eje de trituración. Se hace girar el eje de prueba a diferentes RPM con la longitud de cadena establecida para observar el comportamiento de esta.

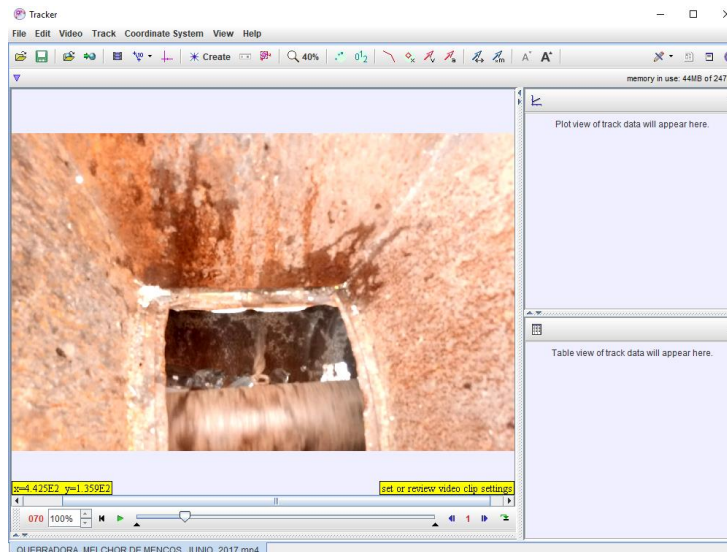
Figura 52. Pruebas experimentales de velocidad de rotación



(Fuente: Elaboración propia)

Adicionalmente se analiza un video proporcionado por el grupo VICAL, con el objetivo de determinar la velocidad de rotación de su eje de trituración. Para realizar dicho análisis se identifica la frecuencia con la que aparece un segmento de la cadena en específico, en un periodo determinado de tiempo.

Figura 53. Análisis de video en Tracker.



(Fuente: Elaboración propia)

4. Diseño de eje

Con base en la información obtenida con las pruebas experimentales y lo requisitos del proyecto. Se establece un diseño el cual puede adaptarse a múltiples sistemas de transmisión y de trituración, ya que este puede utilizar martillos rígidos o flexibles.

Para obtener el diámetro mínimo del eje, se utiliza el peso conjunto de los insertos y de la cadena como una carga radial, utilizando el par de torsión proporcionado por el reductor para dicho calculo. Se utilizan las siguientes ecuaciones para obtener el diámetro mínimo del eje.

- ED-Goodman

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

- ED-Gerber

$$d = \left(\frac{8nA}{\pi S_e} \left\{ 1 + \left[1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

- ED-ASME elíptica

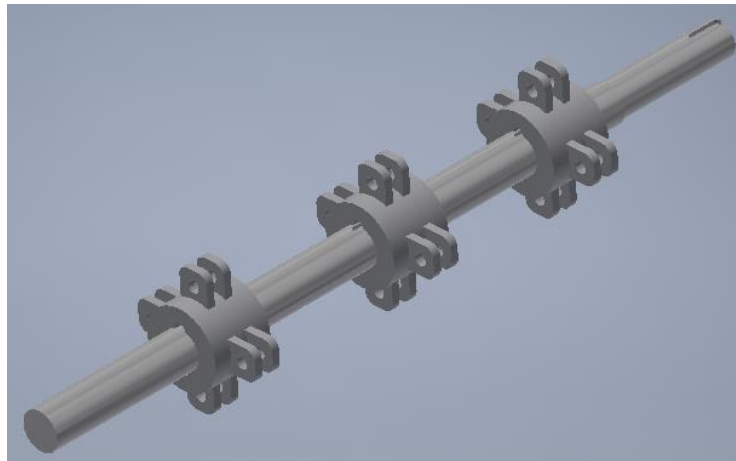
$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right)^{1/3}$$

- ED-Soderberg

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

Siendo la ecuación de Soderberg la más conservadora de las ecuaciones anteriormente planteadas.

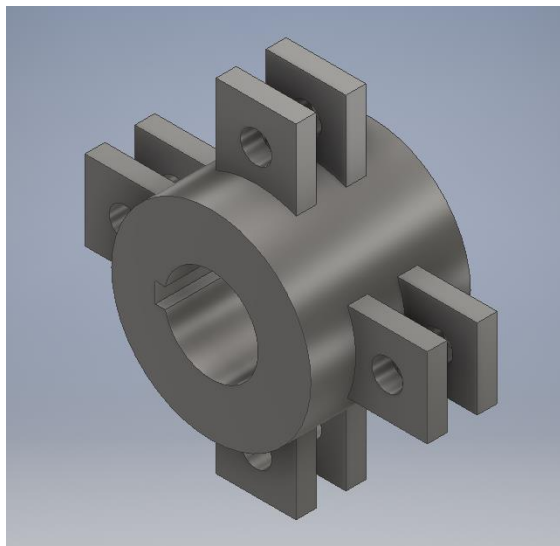
Figura 54. Modelo 3D del eje de triturado



(Fuente: Elaboración propia)

Para que el sistema puede utilizar ambos tipos martillos se implementaron insertos en los cuales se les puede colocar cadena de 5/16 de pulgada o un martillo de sólido de 1/4 de espesor. Para la unión de las aletas del inserto se realiza una soldadura con el electrodo 6013. Durante la etapa de pruebas se tiene previsto utilizar únicamente dos martillos por inserto y en el caso que no se genere la ruptura se utilizarán cuatro martillos.

Figura 55. Modelo 3D del inserto del sistema de trituración



(Fuente: Elaboración propia)

Para el obtener el factor de seguridad en la soldadura se define el esfuerzo máximo el cual puede soportar tanto el material de la soldadura como el material de los insertos. Posteriormente

es necesarios determinar el área de la garganta en el cual se efectuará el esfuerzo de tensión, para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$A = 0.707h(2b + d)$$

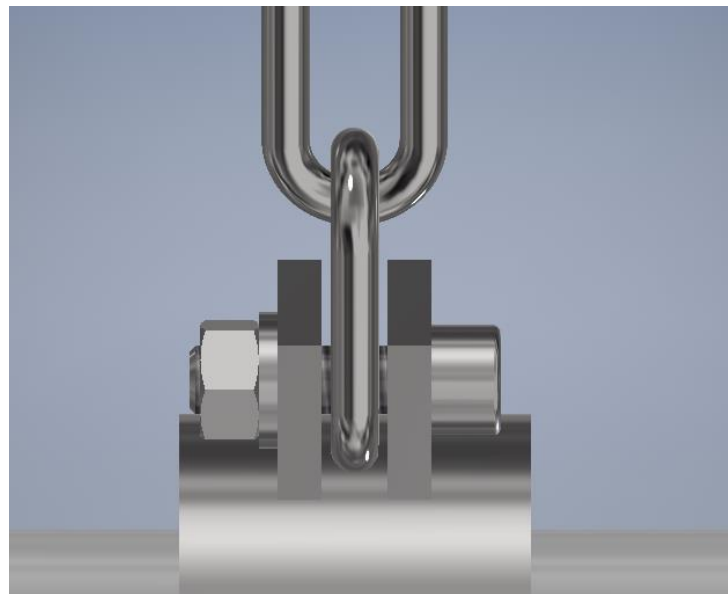
Donde h es la altura de la garganta, b es el espesor de la platina y d es el ancho de la platina. Para obtener la fuerza máxima a la cual puede ser sometida la soldadura se utiliza la siguiente ecuación.

$$Fm = \tau A$$

Donde Fm es la fuerza máxima que soporta la soldadura, τ es el esfuerzo que soporta el material y A es el área de la garganta, para obtener el factor de seguridad se divide la fuerza máxima por la fuerza centrípeta de la cadena.

Para generar la sujeción de las cadenas con los insertos se utiliza pernos tipo Allen y tuercas, estos pernos poseen un diámetro de 10mm en la sección que no posee rosca. Adicionalmente para garantizar una sujeción adecuada se utiliza arandelas de presión para evitar que la unión pierda tensión con el tiempo.

Figura 56. Modelo 3D del método de sujeción.



(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura No.15 se genera un esfuerzo cortante, generado por la fuerza centrífuga que produce la cadena al rotar. Para obtener el esfuerzo máximo al cual puede ser sometido el siguiente perno se utiliza la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde F es la fuerza centrífuga generada por la cadena, A es el área transversal del perno y τ es el esfuerzo admisible en el perno. Este cálculo proporcionara la fuerza máxima a la cual puede ser sometida el perno si fallar. La fuerza centrífuga de la cadena se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$F_c = m * w^2 * r$$

Donde hace m referencia a la masa de la cadena, w es la velocidad angular del eje y r es el radio de rotación. Para obtener el factor de seguridad se debe dividir la fuerza que soporta el perno por la fuerza centrífuga que genera la cadena.

Se utilizan cuñas cuadradas las cuales fueron seleccionas en el catálogo de Intermec, ellos recomiendan que para un eje que posee un diámetro de que se encuentre entre 7/8" y 1 ¼ se debe utilizar una cuña de ¼ pulgada por ¼ de pulgada.

Figura 57. Especificación de cuña del catálogo de Intermec.

TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR EN PULGADAS DE SECCIÓN CUADRADA

SECCIÓN CUADRADA 

Diámetro del eje [pulg]	Anchura y profundidad del cuñero [pulg]	Cuña de sección cuadrada [pulg]	Diámetro del prisionero [pulg]
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16
5/8+ a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16
7/8+ a 1-1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4
1-1/4+ a 1-3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16
1-3/8+ a 1-3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8
1-3/4+ a 2-1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2
2-1/4+ a 2-3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8
2-3/4+ a 3-1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8
3-1/4+ a 3-3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4
3-3/4+ a 4-1/2	1 x 1/2	1 x 1	3/4
4-1/2+ a 5-1/2	1-1/4 x 5/8	1-1/4 x 1-1/4	7/8
5-1/2+ a 6-1/2	1-1/2 x 3/4	1-1/2 x 1-1/2	1
6-1/2+ a 7-1/2	1-3/4 x 7/8	1-3/4 x 1-3/4	1-1/4
7-1/2+ a 9	2 x 1	2 x 2	1-1/4
9+ a 11	2-1/2 x 1-1/4	2-1/2 x 2-1/2	1-1/4

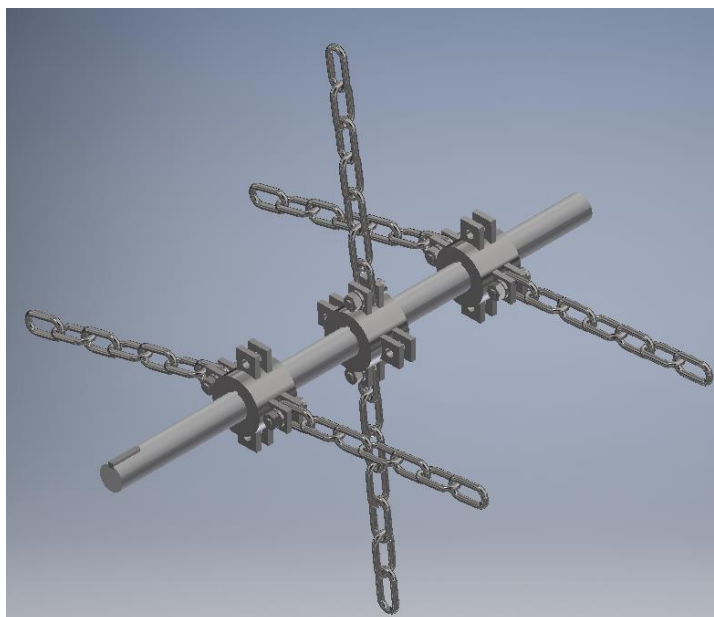
(Fuente: Catálogo Intermec)

Para calcular el factor de seguridad de las cuñas se utiliza la siguiente ecuación, utilizando las propiedades de un acero AISI 1018.

$$n = \frac{S_{sy}}{F} * (tl)$$

Obteniendo de esta forma un diseño 3D que cumple con los requisitos anteriormente establecidos. Permitiendo utilizar cualquier sistema de transmisión de potencia sin comprometer la funcionalidad del eje de trituración.

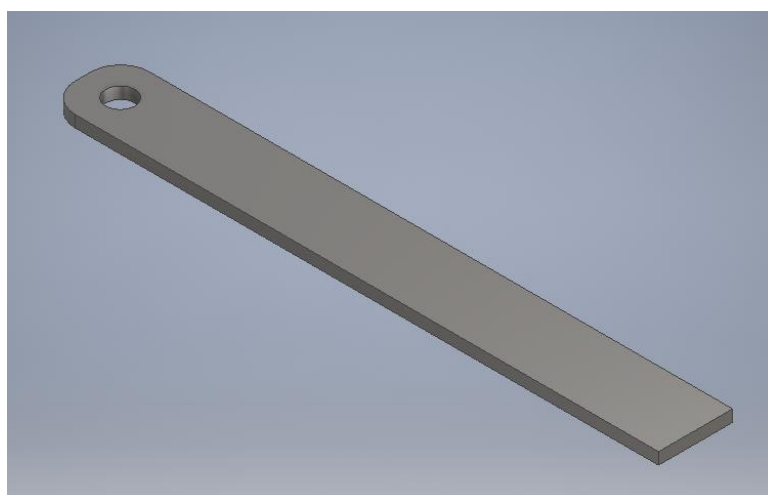
Figura 58. Modelo 3D del ensamblaje del eje de trituración



(Fuente: Elaboración propia)

En el caso que las cadenas no logren generar la ruptura del vidrio si tiene previsto utilizar martillos sólidos, estos se manufacturan con un de perfil rectangular de con un espesor de $\frac{1}{4}$ in. Este se puede observar en la Figura No.59.

Figura 59. Modelo 3D de martillos sólidos

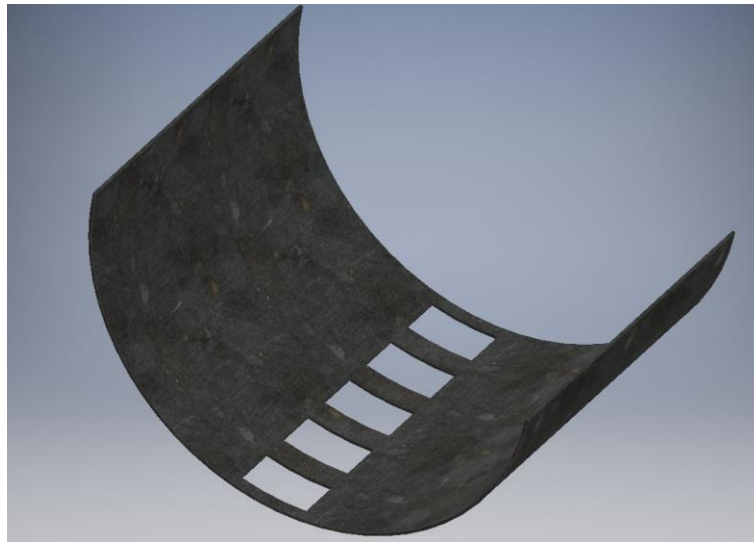


(Fuente: Elaboración propia)

5. Tamiz de cribado de salida

Para el tamiz se utilizará una lámina de hierro negro de un octavo de pulgada de espesor, a la cual se le realizarán perforaciones de 2.5in X 3in en la parte inferior con el objetivo de evacuar el material. A este también se realizará aberturas circulares de un diámetro de 2.5in el cual permitir el rolado de la misma, estos serán cubiertos posteriormente para evitar que el material salga aleatoriamente.

Figura 60. Modelo 3D del tamiz de cribado



(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura No.60 la placa forma un semicírculo con el objetivo de facilitar la evacuación del material, al mismo tiempo esta configuración impide que el material se quede estancado en la cámara de trituración.

Existe una separación de dos pulgadas aproximadamente entre la parte inferior de la cámara de triturado y el último eslabón de la cadena que se encuentra acoplada al eje, esto con el objetivo generar un espacio libre en el cual las partículas que poseen un tamaño más reducido puedan estar sin ser triturada.

Esta sección será soldada a la estructura principal de la trituradora de vidrio, al igual que las secciones de la lámina las cuales serán empleadas para tapar los agujeros de 2.5 pulgadas.

6. Manual de pruebas

Se genera un manual de pruebas con el objetivo de estandarizar las pruebas que se realicen, al igual que se describirán las medidas de seguridad a tomar por parte de los alumnos que estén involucradas en las mismas. Este se encuentra disponible en el anexo No.3. El manual de pruebas contendrá los siguientes aspectos para garantizar la calidad de las pruebas y la seguridad de los estudiantes:

- Información de los estudiantes que participan en las pruebas
- Medidas de seguridad
- Herramientas equipo y material necesario
- Inspecciones previas a realizar las pruebas
- Tipos de pruebas a realizar

7. Pruebas en Universidad del Valle de Guatemala

Las pruebas efectuadas en la Universidad del Valle de Guatemala se realizan con el fin de garantizar la seguridad de los operarios, al igual que pretenden determinar la capacidad para triturar vidrio de esta. Se desarrollan diversas pruebas que tiene como fin verificar los puntos anteriormente descritos. En cada prueba se evaluará el tamaño de partícula y se verifica si se generan daños durante el proceso de triturado. Se describen cada una de las pruebas a realizar.

El procedimiento detallado de cada una de las pruebas se encuentra en el manual de pruebas, adicionalmente en el mismo se encuentra las herramientas a utilizar y la ubicación en la cual se realizará las pruebas.

Prueba de bajo volumen:

Esta prueba consiste en seleccionar una botella de 500ml y colocarla dentro de la trituradora mientras esta se encuentra en funcionamiento, posteriormente se apaga la máquina y se evalúa el tamaño de partícula obtenido. Se repite este proceso para botellas de diferentes tamaños y de diferentes espesores de pared.

Prueba de volumen de trabajo:

La siguiente prueba consiste en introducir 10 botellas de 500ml dentro de la maquina en funcionamiento, después de haber introducido las botellas se espera a que todo el material termine de salir de la cámara de triturado y posteriormente se apaga la maquinaria. Se realiza una evaluación del tamaño de partícula.

Prueba de sobrecarga:

Esta prueba consiste en introducir botellas de vidrio mientras que la maquina está en funcionamiento, hasta que se genera una falla o que se acumule tanto vidrio en la cámara de triturado que impida la salida de este. Se apagará la máquina y se analizará el tamaño de partícula. Se realiza esta prueba con el objetivo de determinar el caudal máximo de que se puede triturar, al igual que el efecto que tiene sobre los componentes de la misma.

Prueba de trabajo regular:

Esta consiste en tritura de una forma constante simulando las condiciones del centro de acopio. Con el objetivo de determinar el caudal de trituración y verificar cuánto vidrio se puede triturar en una hora. En el caso de que no se posea suficiente vidrio para la prueba se extrapolara utilizando la información obtenida. Posterior a realizar la trituración se analizará el tamaño de partícula obtenido.

Prueba de posible mala utilización:

Esta prueba tiene como objetivo simular algunos de los malos manejos de la trituradora, se analizarán los siguientes casos.

- Introducir un costal junto con las botellas de vidrio
- Introducir cuerpos extraños durante el proceso de trituración
- Introducir botellas de vidrio mientras que la trituradora se encuentra apagada
- Introducir un elemento que se pueda enrollar en el eje de trituración

C. Carcasa y estructura

1. Desarrollo de conceptos

Requisitos y limitantes para diseño:

Para la realización de todos los conceptos, se tomó en cuenta una lista de requisitos y limitantes para cada uno de estos. Los requisitos y limitantes se pueden observar en los cuadros 25, 26 y 27. Las modificaciones de dichos conceptos se realizaron buscando los requerimientos y limitantes se cumplieran de una mejor manera.

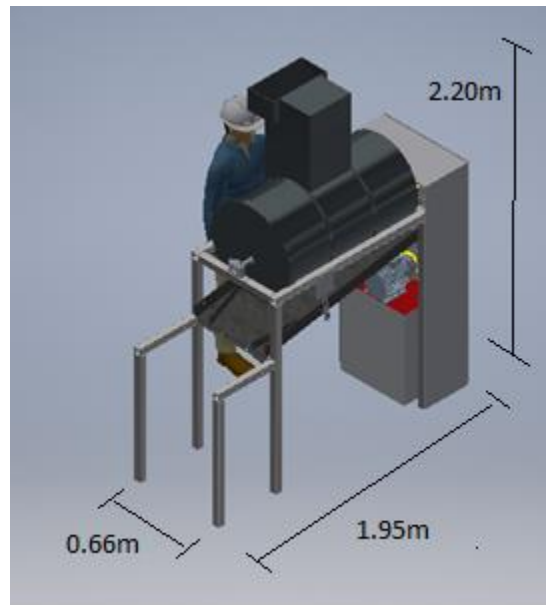
Diseño de conceptos:

Con base en los objetivos y requisitos se realizaron los primeros conceptos con el software *Autodesk Inventor 2018*, versión estudiantil. Los requisitos que más peso tuvieron al momento del diseño fueron los que involucraban la comodidad y seguridad del usuario al momento de operar la máquina. Se realizaron cuatro conceptos en total, los cuales fueron cambiando progresivamente gracias a retroalimentación del personal que operará la trituradora y de catedráticos de la Universidad del Valle.

Como se puede apreciar en las figuras número 61 y 62, el primer diseño constaba de un barril de 80 galones como tambor de la trituradora, la toma de material a una altura considerable (aproximadamente 2.2 m), un mecanismo de transmisión de potencia por medio de fajas (totalmente cubierto) y una parte inferior inclinable para permitir el desliz del material triturado. Los principales problemas de este diseño era el peso de la trituradora misma debido a sus dimensiones y la complejidad de operación que presentaría al personal del centro de acopio debido a la altura de la toma de material. Otro importante aspecto del primer concepto es que la trituración del material se realizaba por medio de “lotes”, es decir, se ingresaba el material en su totalidad a la trituradora, se realizaba la trituración y posteriormente se liberaba el material.

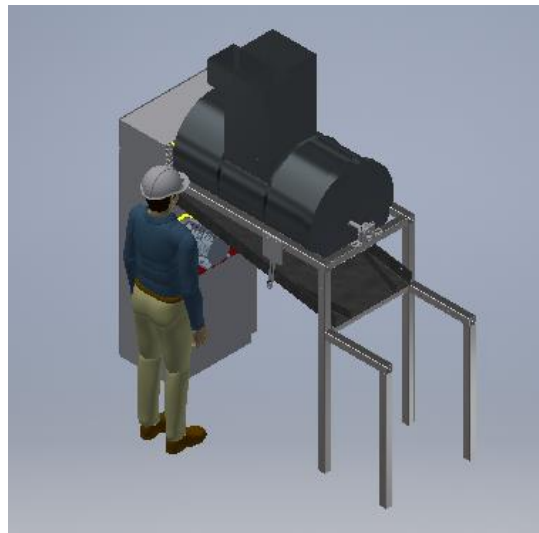
Este concepto se realizó teniendo en mente el costo de producción, ya que realizar un mecanismo de transmisión por medio de fajas, como lo determinó el módulo de transmisión de potencia, sería la opción más económica. También se reduciría el costo al utilizar un barril de 80 galones ya que se tiene un fácil acceso a estos, teniendo un precio de venta de aproximadamente Q200.00

Figura 61. Parte frontal de primer concepto de trituradora



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 62. Posterior de primer concepto de trituradora

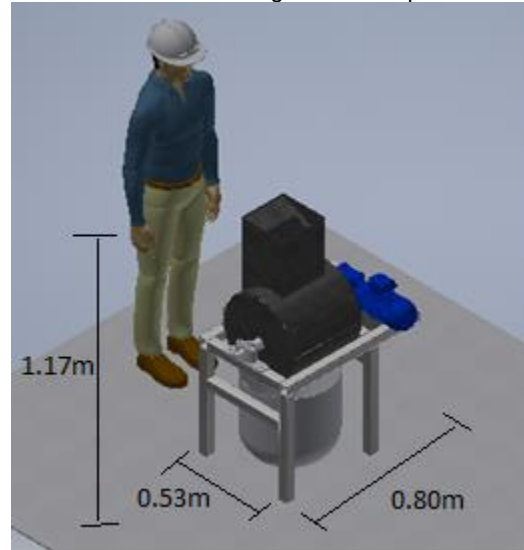


(Fuente: Elaboración propia)

Para la realización del segundo concepto, el cambio más relevante realizado en la carcasa fue el descarte de la utilización del barril de 80 galones, cambiándolo por una lámina rolada, reduciendo así las dimensiones. Se redujo la altura de la trituradora debido al cambio de mecanismo de transmisión de potencia, se eliminó la superficie inferior inclinable y se eliminaron los tubos de apoyo para los costales.

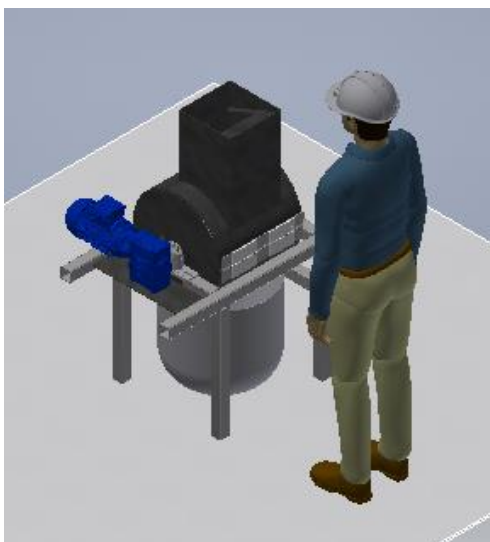
La razón principal de todos estos cambios fue la difícil operación que presentaría la trituradora debido a sus grandes dimensiones y al sistema de “lotes” de trituración previamente mencionado. Este sistema fue sustituido por uno de trituración y extracción de material continuo, por medio de perforaciones acorde al tamaño de partícula deseado en la parte central del tambor inferior, como se puede ver en las figuras No.63, 64 y 65.

Figura 63. Parte frontal de segundo concepto de trituradora



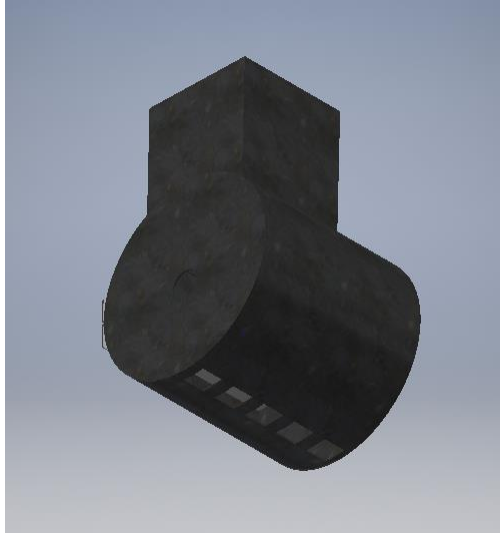
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 64. Parte posterior de segundo concepto de trituradora



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 65. Parte inferior de segundo concepto

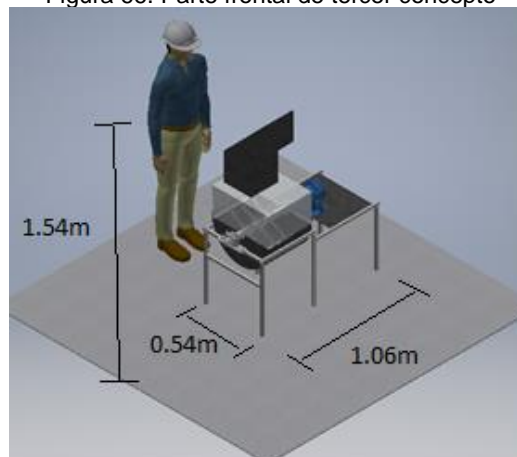


(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto al tercer concepto, se realizaron pocos cambios respecto al segundo. Los principales cambios fueron: el cambio de ángulo de la toma de material, el cambio de geometría del tambor superior y la adición de una mesa para apoyar el motor y el reductor.

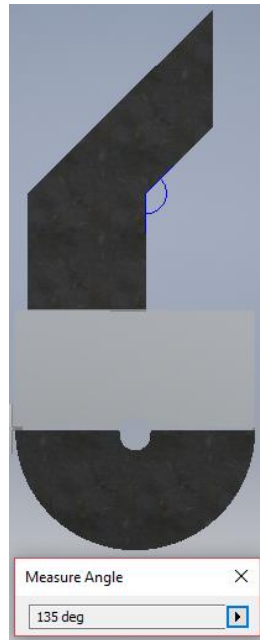
La razón del cambio del tambor superior se debe principalmente a la complejidad de acoplar esta pieza con la toma de material, ya que realizar una soldadura SMAW en una superficie plana es mucho más sencillo que realizarla en una superficie curvada. Otra razón del cambio de forma fue el poco valor agregado que ésta aportaba a la estructura, únicamente complicaba el proceso de manufactura. Los cambios de los ángulos de la toma se deben a la seguridad del usuario, ya que, al ser la toma de material recta, existía la posibilidad de accidentes ingresando alguna extremidad del cuerpo. Por último, la presencia de la mesa se debe a la necesidad de la alineación entre el motor y el reductor con el eje.

Figura 66. Parte frontal de tercer concepto



(Fuente: Elaboración propia)

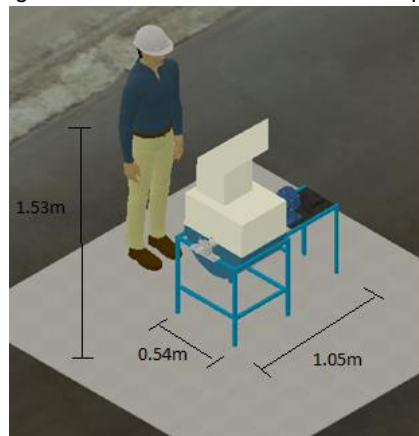
Figura 67. Ángulo de toma de material de tercer concepto



(Fuente: Elaboración propia)

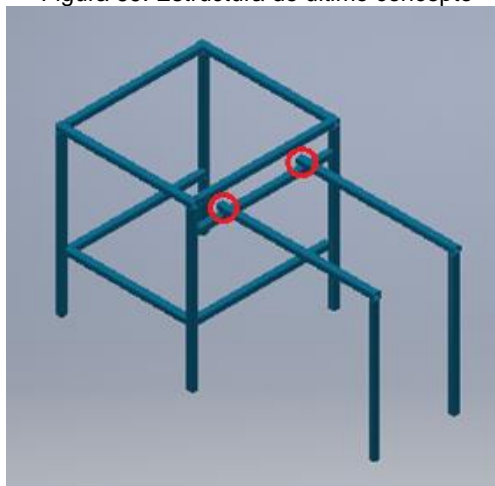
El último concepto realizado no tuvo demasiados cambios en la carcasa más allá de lo estético. En cuanto a la estructura, fue añadido un perfil en la parte inferior para dar más soporte a la estructura. También se añadió un perfil extra (igual a los usados en el resto de la estructura) para soporte de la estructura de la mesa del reductor como se puede observar en la Figura No.68. Este último cambio se realizó para facilitar el acoplamiento de la mesa del reductor, ya que esta se diseñó a modo fuese removible. Esta se acopla por medio de 2 tornillos de 12mm de diámetro y 70mm de longitud; los puntos donde se colocan los tornillos están señalado en las figuras 69 y 70. Otro cambio notable fue la reducción del tamaño de la mesa del reductor; esto debido a que no se requería un área demasiado grande para colocar el reductor y el motor.

Figura 68. Vista frontal de último concepto



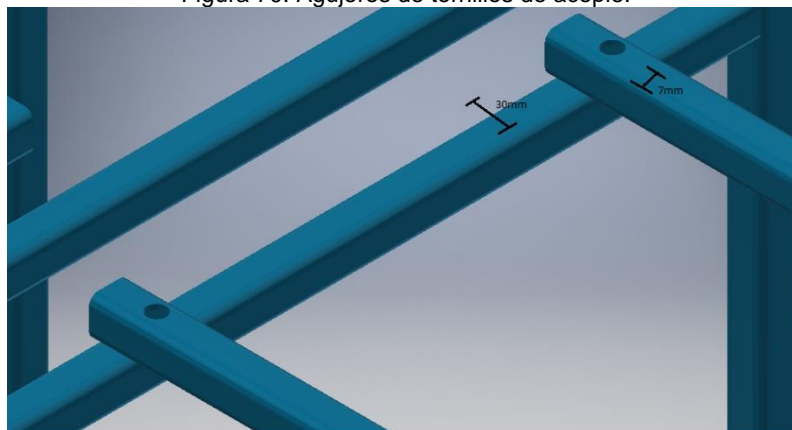
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 69. Estructura de último concepto



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 70. Agujeros de tornillos de acople.



(Fuente: Elaboración propia)

Para la selección de los conceptos, se tomaron en cuenta los siguientes factores: facilidad de manufactura (guiándose por el tiempo aproximado que llevaría), dimensiones generales y riesgo de seguridad para el usuario. La ponderación de estos factores se puede ver en el Cuadro 6. Para dicha ponderación, 1 representa el valor más bajo y 5 el más alto.

Cuadro 6. Selección de conceptos

No. de Concepto	Facilidad de manufactura	Dimensiones	Seguridad	Total
1er	3	1	2	6
2do	2	5	3	10
3er	3	3	5	11
4to	4	4	5	13

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 7. Ventajas y desventajas de conceptos

No. de concepto	Ventajas	Desventajas	Razón de selección
1er	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de obtención del tambor • Mecanismo de transmisión más simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones no se acoplaban a las limitaciones y requerimientos. • Entrada de material en un punto muy alto. • Trituración por medio de lotes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Primera iteración de diseño, se buscó la manufactura más simple.
2do	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil transporte debido a dimensiones reducidas. • Salida de material directamente debajo de la trituradora 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de material recta, lo que facilitaba accidentes. • Dificultad de manufactura del tambor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las dimensiones se acoplaban a los requisitos y limitantes.
3er	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de material con ángulo para evitar accidentes. • Geometría de tambor superior facilita el acople de la toma de material. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil transporte debido a fijación de mesa de reductor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de manufactura y practicidad en comparación con concepto anterior.
4to	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil transportabilidad al realizar un acople no fijo de la mesa del reductor. • Dimensiones se ajustan a requerimientos y limitantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se considera tiene desventajas en comparación a los demás conceptos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El concepto que se acopla mejor a las necesidades del centro de acopio, requerimientos y limitantes.

(Fuente: Elaboración propia)

2. Proceso de manufactura

El primer paso del proceso de manufactura fue la selección del material a utilizar en la trituradora. El material seleccionado para toda la estructura y carcasa fue el acero 1018, debido a su facilidad de obtención en el medio local (se preguntó a 2 ferreterías en Panajachel: (CEFEMATCO y Mayasersa Home Center), precio bajo y alta resistencia a la fluencia. Posterior a esto se seleccionaron los grosores de los perfiles y láminas a utilizar.

En el caso de la estructura, fue seleccionado un perfil estructural (tubo cuadrado), chapa 11, de 1x1 pulgadas. En cuanto a la carcasa, se utilizó perfil angular de 1X1 pulgadas, chapa 11, para realizar el esqueleto, y lámina con un grosor de 1.6mm aproximadamente.

Figura 71. Corte de tubo cuadrado



(Fuente: Elaboración propia)

Posterior a la selección del material, se procedió al corte de este. En el caso del perfil cuadrado y angular fue utilizada una sierra manual, para el corte de la lámina se utilizó una cortadora plasma, como se puede observar en las figuras 71 y 72 respectivamente. Ambos procesos se realizaron siguiendo los debidos protocolos de seguridad y utilizando el equipo de protección necesario.

Figura 72. Corte de lámina negra



(Fuente: Elaboración propia)

Una vez realizados todos los cortes de material necesarios de la estructura y la carcasa (ver anexo 6 para planos de las piezas fabricadas), se procedió a unir el perfil cuadrado para formar la estructura. Para dicho proceso se utilizó soldadura por arco metálico protegido. De igual manera,

se construyó el esqueleto de la toma de material y el tambor superior de la trituradora, haciendo el uso de perfil angular.

Figura 73. Unión de estructura



(Fuente: Elaboración propia)

Una vez terminados los procesos anteriores, se procedió a adherir la lámina negra a la toma de material y al tambor superior. Posteriormente, se unieron estas dos piezas entre sí, como se puede apreciar en la Figura no. 74.

Figura 74. Unión de toma de material con tambor superior



(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a la manufactura del tambor inferior, se roló la lámina a utilizar, con un grosor de 3.175mm, para luego soldarla al tambor superior. Dada la dificultad del proceso del rolado, se abrió una serie de agujeros en toda el área de la lámina. Es importante mencionar que los agujeros mencionados no son los que se pueden apreciar en la Figura 75, esos son los agujeros de salida del material.

Figura 75. Rolado de lámina de tambor inferior



(Fuente: Elaboración propia)

El costo total de los materiales utilizados en la manufactura de la carcasa y la estructura se pueden ver detallados en el Cuadro 8. Las cantidades enlistadas en el cuadro no son las cantidades utilizadas en los procesos, sino la cantidad de material comprada, ya que, en algunos casos, como el de la lámina, la venta de ésta se realizaba únicamente en láminas de 8mX4m.

Cuadro 8. Cantidades y precio de materiales

Material	Tamaño/Tipo	Cantidad	Precio (Q)
Electrodos	6013	140	120
Tubo cuadrado	Chapa 11, 1X1	12 m	130
Perfil angular	Chapa 11, 1X1	12 m	130
Lámina	0.0625 mm	32 m ²	720
Lámina	0.1250 mm	32m ²	1200
Costo total			2300

(Fuente: Elaboración propia)

3. Análisis de vibraciones

1. Enfoque

Para asegurar un buen funcionamiento de la trituradora, se decidió era necesario realizar pruebas de vibraciones presentes en la máquina durante su funcionamiento. Se decidió estas se llevasen a cabo en ambas chumaceras del eje (se aprecian en las figuras 34 y 35) y en la carcasa. Para esto se utilizó un medidor de vibraciones y un acelerómetro. Se hace una única medición por cada elemento ya que el medidor de vibraciones realiza varias mediciones por segundo para llegar a un resultado final.

2. Medidas de seguridad

Para realizar las mediciones, la única medida de seguridad que se tomó fue evitar el contacto con las partes móviles. No se requería el uso de guantes ni protección ocular o auditiva, ya que durante las mediciones no se trituró material.

3. Equipo

Cuadro 9. Materiales para medición de vibraciones

Cantidad	Material
1	Medidor de vibraciones <i>Fluke 810 vibration tester</i>
1	Acelerómetro con montaje por imán
1	Cable para conexión de sensores

(Fuente: Elaboración propia)

4. Descripción del procedimiento

Cuadro 10. Procedimiento para medición de vibraciones

Paso	Procedimiento
1	Encender el medidor de vibraciones.
2	Conectar el acelerómetro al medidor por medio del cable.
3	Adherir el acelerómetro al punto de medición utilizando el imán del acelerómetro.
4	Seleccionar un montaje de eje horizontal para realizar las mediciones.
5	Poner la trituradora en funcionamiento.
6	Mover el dial y seleccionar la opción "Comenzar mediciones" y esperar aproximadamente 1 minuto por los resultados.
7	Desplegar las gráficas resultantes de las mediciones.

(Fuente: Elaboración propia)

5. Desviaciones del procedimiento

Las mediciones de vibraciones en la carcasa no pudieron ser realizadas debido a las limitaciones del medidor de vibraciones utilizado, ya que este es capaz de realizar lecturas únicamente en chumaceras y ejes. Los demás procedimientos se pudieron realizar sin ningún inconveniente.

Figura 76. Lectura de vibraciones en chumacera 1



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 77. Lectura de vibraciones en chumacera 2.



(Fuente: Elaboración propia)

4. Cálculo de esfuerzos, deformación, factor de seguridad y frecuencia natural

Para realizar el cálculo de factores de seguridad y esfuerzos presentes en la estructura de la trituradora se utilizó *ANSYS workbench 18.2*. Para modelar la estructura de la manera más real posible, en un análisis estático, se pusieron seis soportes fijos, uno en cada pata, y se distribuyeron las cargas únicamente en las caras de los perfiles que la soportan. También se realizó una corrida con los soportes como soportes sin fricción, para analizar el peor de los casos. Para el cálculo de las frecuencias naturales de la estructura, se utilizó un análisis modal en el software. Este análisis se hizo sin precarga, utilizando seis soportes fijos en las patas, dejando todos los campos de análisis con los valores preestablecidos por el programa.

Para todos los análisis realizados en *ANSYS workbench 18.2*, las condiciones que se utilizaron en los distintos mallados (mesh) son las siguientes:

Figura 78. Tamaño del mallado usado.

Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Initial Size Seed	Assembly
Span Angle Center	Coarse
Bounding Box Di...	1.32440 m
Minimum Edge L...	4.7124e-003 m

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 79. Calidad del mallado usado.

Quality	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	0.95429
Max	0.99448
Average	0.97439
Standard Deviati...	2.01e-002

(Fuente: Elaboración propia)

Es especialmente importante la calidad del mallado, la cual se puede ver en la Figura 79, ya que esta indica que tan acertado es el mallado utilizado en el cuerpo. En este caso, el medio de

análisis utilizado para medir la calidad fue la calidad ortogonal, la cual indica que mientras más cercano se encuentra el valor promedio a 1, más acertado es el mallado utilizado. En los análisis realizados, el mallado promedio fue de 0.97, esto indica un mallado muy acertado y confiable para realizar un análisis.

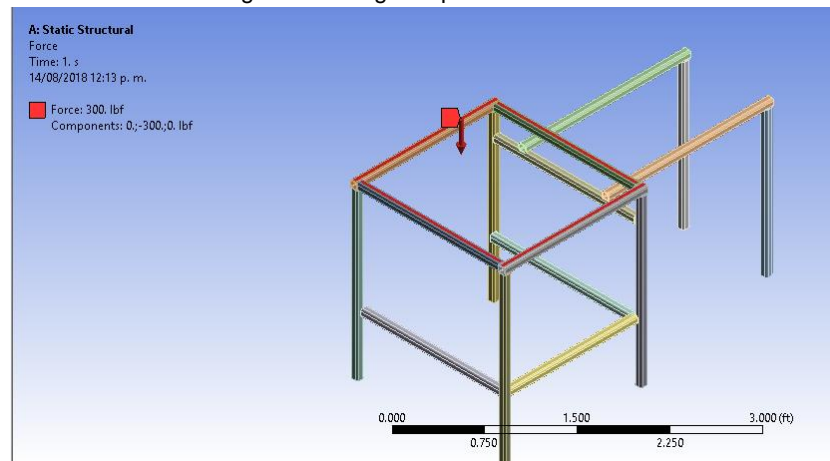
La carga estática asignada para los perfiles del tambor superior e inferior fue de 300 lb. La razón de esta carga es por el peso estimado de ambos tambores, el eje, el vidrio que se cargará desde la toma de material y objetos imprevistos que se encuentren recostados sobre el tambor superior. En cuanto a la carga soportada por los perfiles de la mesa del motor y reductor, también se modeló con 300 lb. Esto se debe por el peso del motor, el reductor, la lámina a la cual éstos se anclan y objetos imprevistos que se recuesten sobre la lámina. Los pesos estimados por elemento se pueden ver apreciados en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Peso de elementos

Perfiles de tambor		Perfiles de mesa	
Elemento	Peso (lb)	Elemento	Peso (lb)
Vidrio	60	Estructura y carcasa	30
Estructura y carcasa	70	Motor	25
Imprevistos	170	Reductor	35
		Imprevistos	210
Total	300	Total	300

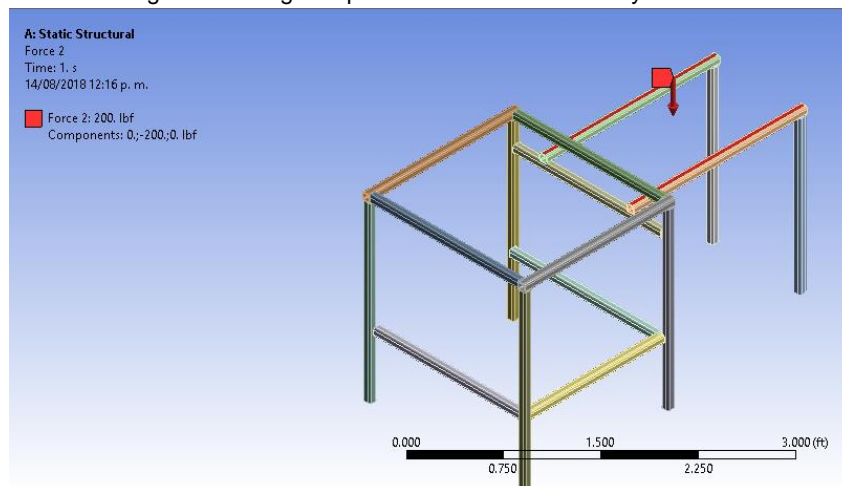
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 80. Carga en perfiles de tambor



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 81. Carga en perfiles de mesa de motor y reductor



(Fuente: Elaboración propia)

5. Realización de matriz de riesgos

Para la realización de la matriz de riesgos se hicieron varias estimaciones de tiempos y gravedad de posibles fallas en los diferentes elementos de la estructura y carcasa de la trituradora, así como los niveles de riesgo que estas presentan. Se realizaron estimaciones de las fallas ya que, al ser un primer prototipo y contar con recursos limitados, no se podía permitir una falla por funcionamiento o mal manejo de la maquinaria. Para asegurar las estimaciones no fuesen poco reales, se tomó en cuenta las propiedades de los materiales utilizados y el ambiente en el cual la trituradora trabajaría.

Para clasificar cada una de las fallas posibles, se clasificaron en tres niveles de severidad y tres de probabilidad de falla. Los niveles de severidad son: ligeramente dañino (LD), dañino (D) y extremadamente dañino (ED). En cuanto a las probabilidades de falla, se clasificaron en: baja (B), media (M) y alta (A). Una vez clasificada la falla analizada, se procedió a ubicarla en la matriz creada para saber el riesgo que corren los usuarios en caso se presente la falla, como se puede observar en el Cuadro No.12.

La probabilidad de los riesgos se considera baja si es un riesgo ocasional que puede no ocurrir de manera diaria u ocurre pocas veces por semana, nunca han ocurrido o suceden por coincidencias. Se considera una probabilidad media si es un riesgo completamente posible que se puede replicar en condiciones similares. Se considera una probabilidad alta si se corre un riesgo permanente con la ocurrencia de la falla, es evidente y detectable.

Cuadro 12. Matriz de riesgos utilizada.

		Severidad		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

(Cementos progreso)

Los resultados obtenidos con la matriz de riesgo se tomaron muy en cuenta para la realización de los manuales de seguridad y solución de problemas.

6. Realización de manual de mantenimiento y seguridad

En conjunto con el módulo de Ingeniería de sistemas, se realizó una serie de posibles fallas de la carcasa y estructura, su ubicación, causa y su posible solución. Añadido a esto, se enlistó una serie de acciones y reglas generales que los usuarios de la trituradora deben seguir para asegurar la seguridad al utilizar la trituradora.

Para la realización del manual de mantenimiento se consideraron posibles fallas de la estructura y carcasa. En el caso del manual de seguridad, se consideraron las malas prácticas de los usuarios para realizar una guía de comportamiento al utilizar la trituradora u observar fallas en la misma.

D. Transmisión de potencia

1. Comparación entre sistemas de transmisión

Para poder seleccionar el sistema de transmisión de potencia con la capacidad de cumplir con los objetivos y requerimientos del proyecto se creó un cuadro de comparación entre las características generales de los sistemas de transmisión de potencia.

El cuadro fue construido utilizando información y características específicas de cada uno de los sistemas de transmisión aplicables para este proyecto. El cuadro comparativo se dividió en fajas, cadenas y cajas reductoras y se hizo énfasis especial en las características aplicables para este proyecto.

Cuadro 13 Comparación teórica entre las propiedades generales de los sistemas de transmisión

Sistema de transmisión	Ventajas de uso	Desventajas de uso
(Cajas reductoras) Engranajes y reductores cicloidales	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden funcionar en un espacio más reducido. - Se utiliza para transmitir potencias más elevadas que en comparación con los otros sistemas. - Pueden funcionar a velocidades de hasta 1,00,000 de RPM - Eficiencia mecánica de 92% hacia arriba. - Se puede mejorar su tolerancia a esfuerzos sin necesidad de cambiar sus dimensiones (materiales y tratamientos térmicos) - La relación de transmisión es constante en todo momento. - Instalación sencilla debido a dimensiones y alineación. 	<ul style="list-style-type: none"> - El precio más elevado en comparación con los otros sistemas de transmisión. - Mayor dificultad de manufacturado - Requiere lubricación periódicamente. - El margen de error en el ensamblaje es mínimo.
Fajas	<ul style="list-style-type: none"> - Producen un menor sonido que las cadenas y los engranajes de dientes rectos. - El costo es bajo. - Eficiencia de hasta 95% al utilizar bandas síncronas. - Pueden servir como protección para el motor y los mecanismos ya que si hay un atasco estas permiten deslizamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tener una tensión alta puede provocar deslizamiento al tener velocidad muy baja, si la faja es plana. - Si la faja es síncrona, el precio se eleva.
Cadenas	<ul style="list-style-type: none"> - Permite mayor distancia entre ejes. - Soportan altas temperaturas debido a los materiales de fabricación, una cadena de acero puede soportar más de 200 grados centígrados (utilizando grasa para alta temperatura) - Permite menor distancia entre ejes. - Se puede transmitir potencia a más de dos ejes al mismo tiempo. - Tienen un costo reducido y se pueden encontrar con facilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden sobre pasar los 60 db. - El sprocket puede dañar el rodillo si la tensión no está bien ajustada. - No mantiene una sincronización tan alta como los otros sistemas de transmisión. - El ambiente abrasivo reduce su vida útil.

(Fuente: Elaboración propia)

2. Reducción del sistema de transmisión

El motor seleccionado para la trituradora tiene una potencia de 1 hp y su velocidad es de 1790 RPM. En conjunto con el módulo encargado de la selección del motor, y la velocidad final requerida por el módulo de trituración que es de 225 RPM, se determinó que la relación necesaria para el funcionamiento de la trituradora es de 8:1 como se muestra a continuación:

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{RPM_E}{RPM_S} \text{ Ecuación 2}$$

$$\frac{1790}{225} = 7.95 \approx 8$$

Donde:

RPM_E = Velocidad de entrada en el reductor.

RPM_S = Velocidad de salida en el reductor.

3. Comparación de costos de mantenimiento

Una vez terminado el cuadro de comparación entre características, se realizó un siguiente cuadro comparativo entre el costo de mantenimiento proyectado para tres años de operación de fajas y cadenas contra el costo y mantenimiento para tres años de operación de reductores. Se dividió los sistemas de transmisión en dos grupos, fajas junto con cadenas y reductores de engranajes junto a reductores cicloidales. Estos grupos fueron formados tomando en cuenta las similitudes en costos iniciales, esto para poder comprar los costos generales (costo inicial y costo de operación) y además, se utilizó para informar a la municipalidad y obtener su opinión sobre los dos grupos de sistemas de transmisión que fueron analizados. Para la creación de este cuadro se utilizó información recabada en diferentes cotizaciones de lubricantes y repuestos para los sistemas. Utilizando los manuales de mantenimiento de posibles sistemas a utilizar se obtuvo la cantidad de mantenimientos y el tipo de mantenimiento a realizarse en periodos de tiempo establecido. Se puede resaltar que, este cuadro de comparación entre costos de mantenimiento toma el peor de los casos para ambos grupos.

Cuadro 14 Costo de mantenimiento de cadenas y fajas.

Año	Costo (Q)	Detalle
1	GTQ 680	Aplicación de grasa en la cadena de forma semanal con un costo mensual de GTQ 30.00 y reemplazo de cadena/faja anual.
2	GTQ 930	Aplicación de grasa en la cadena de forma semanal, tensionar cadena y fajas. Reemplazo del sistema total (cojinetes, fajas, cadena y poleas) Y Aplicación de grasa en la cadena de forma semanal con un costo mensual de GTQ 30.00
3	GTQ 680	Aplicación de grasa en la cadena de forma semanal con un costo mensual de GTQ 30.00 y reemplazo de cadena/faja anual
TOTAL	GTQ 2290.00	

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 15 Costo de mantenimiento de un reductor

Año	Costo (Q)	Detalle
1	GTQ 160	Aplicación de lubricante y chequeo semestral
2	GTQ 380	Aplicación de lubricante y chequeo general semestral, posible cambio de cojinetes
3	GTQ 380	Aplicación de lubricante y chequeo general semestral, posible cambio de cojinetes
TOTAL	GTQ 920.00	

(Fuente: Elaboración propia)

4. Conceptos de montaje de diferentes sistemas de transmisión de potencia

Se realizaron diseños de configuraciones de transmisión de potencia esto para tener una representación más visual de algunas de las características anteriormente discutidas. Como enfoque principal se observó los siguientes parámetros: instalación, accesibilidad a

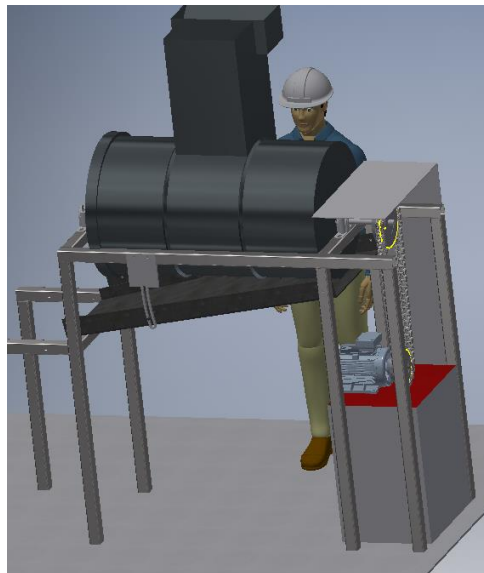
reparación, riesgo de falla, dimensiones del sistema, facilidad de cubrir partes móviles y riesgo para los operarios. En la Figura No.82 se puede observar un sistema de transmisión por cadenas en el que no solo se puede analizar el sistema de cadenas, ya que, debido a la similitud en la disposición de los elementos en comparación con un sistema de fajas, también se pudo analizar las características de este último. En la Figura No.83 se observa un reductor de engranajes y en la Figura No. 84 un reductor cicloidal.

- Concepto de montaje con fajas-cadenas.

En el concepto de montaje utilizando cadenas y fajas se puede observar en primera instancia, sus dimensiones. Las dimensiones del concepto son de 20 pulgadas de largo, 70.5 pulgadas de alto y 25 pulgadas de ancho (ver Figura No.77). De estas se puede observar que se aproximan a los limitantes LTD-03, LTD-04, LTD-05 descritos en el Cuadro No. 27.

Como segundo punto, se destaca la dificultad para mantener las partes móviles del equipo cubiertas. Esta dificultad se debe a las dimensiones del sistema de transmisión y a la cantidad de partes móviles que conforman este sistema. Por último, se destaca que, al no poderse realizar una adecuada cobertura de las partes móviles, el requerimiento OSTP-02 que indica que todas las partes móviles deben estar cubiertas, se vería comprometido.

Figura 82 Concepto preliminar de sistema de transmisión por cadenas



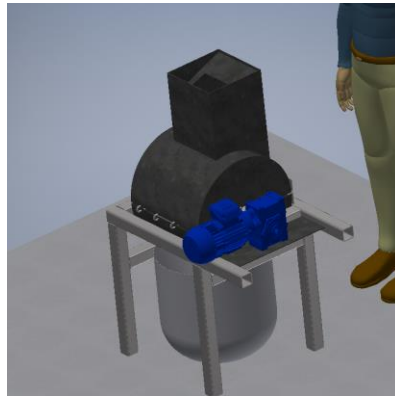
(Fuente: Elaboración propia)

- Concepto de montaje con moto-reductor.

En el concepto de montaje utilizando moto-reductor se puede observar que las dimensiones son menores en comparación con las dimensiones del concepto de fajas y cadenas. Las dimensiones del concepto son de 22.5 pulgadas de largo, 11.5 pulgadas de alto y 10 pulgadas de ancho. De estas se puede observar que se encuentran considerablemente dentro de los límites LTD-03, LTD-04, LTD-05 descritos en el Cuadro No.17.

Observando las partes móviles de este concepto se considera que mantener cubiertas estas, resulta más sencillo que en el concepto anterior. Esta sencillez es debida al número de componentes móviles que están expuestos en el concepto. Añadido a esto, se destaca que, al poderse realizar una adecuada cobertura de las partes móviles, el requerimiento OSTP-02 que indica que todas las partes móviles deben estar cubiertas, se puede cumplir.

Figura 83 Concepto preliminar de reductor de engranajes



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 84 Concepto preliminar con reductor cicloidal



(Fuente: Elaboración propia)

5. Matriz de decisión de sistema de transmisión

Utilizando la información recaudada en los anteriores pasos, se prosiguió a decidir cuál era el tipo de transmisión de potencia que mejor se adaptaba para cumplir los requerimientos impuestos. Para realizar la decisión, se procedió a realizar una matriz de decisión. Esta matriz de decisión compara los sistemas de transmisión de cadenas, fajas y motorreductores. La matriz de decisión contiene los criterios más importantes que diferencian a los sistemas de transmisión entre ellos, además se incluye un factor de peso de criterio para darle la importancia requerida a cada uno de los criterios. Se observa que, se utiliza puntuación de uno a cinco, siendo cinco la puntuación que nos indica que el sistema cumple con el criterio de la mejor manera y uno siendo la puntuación más baja. Al final de la matriz se puede observar la puntuación total, la cual toma en consideración la puntuación obtenida por cada sistema en cada criterio y que además es afectada por el factor de peso individual. La matriz de decisión completa puede verse a continuación en el cuadro No.16.

Cuadro 16 Matriz de decisión de sistemas de transmisión

Criterios	Factor de peso del criterio	Cadenas	Fajas	Reductor
Costo	0.15	5	4	2
Complejidad de instalación	0.10	2	2	4
Costo de mantenimiento	0.15	3	3	4
Resistencia de esfuerzos	0.15	2	2	5
Eficiencia	0.05	2	2	5
Accesibilidad a reparación	0.10	4	4	1
Riesgo a operarios	0.15	1	1	5
Vida útil	0.15	2	2	5
	Puntuación TOTAL	2.65	2.50	3.90

(Fuente: Elaboración propia)

Luego de realizar la decisión con esta herramienta, se procedió a realizar las revisiones finales del diseño del sistema de transmisión y adaptarlo hasta que se podrá obtener un diseño final que trabaje de la manera más eficiente en conjunto con los otros sistemas del equipo.

6. Matriz de decisión de acoplamientos y selección de chumaceras

Para poder realizar el acoplamiento del motor al reductor y del reductor al sistema de trituración se realizaron dos matrices de decisión entre acoples mecánicos que nos permitió elegir los acoples con las propiedades ideales para el proyecto pero que el costo de este permaneciera entre los rangos ideales para el proyecto. La matriz de decisión entre el motor y el reductor puede observarse en , en esta se considera la velocidad del motor y el diámetro del eje del motor que es

de 0.75 pulgadas y el eje del reductor que es 0.625 pulgadas. Para la matriz de decisión entre el reductor y el eje de trituración se considera la velocidad de salida del reductor que es 225 RPM y el diámetro del eje del reductor que es de 1.125 pulgadas, esta matriz de decisión puede observarse a continuación en el Cuadro 18. Se debe mencionar que, la decisión de los acoplamientos a utilizar fue tomada una vez la manufactura y ensamblaje del proyecto se comenzó, esto nos permitió tomar en consideración las necesidades del proyecto en ese momento, algo que tuvo una gran influencia en el momento de la selección de los acoplamientos. Añadido a esto se eligió las chumaceras a utilizar. Las chumaceras fueron elegidas tomando en consideración el diámetro del eje que estará montado a estos y las cargas que serían transmitidas a través del eje de trituración a estas. Para realizar la selección final, debido a que todas las chumaceras disponibles para este proyecto tenían características similares, solamente se tomó en consideración el precio de estas.

Cuadro 17 Matriz de decisión entre acoples para unión motor-reductor.

Criterios	Factor de peso del criterio	Acople rígido manufacturado	Acople rígido	Acople elastomérico de mandíbula	Acople flexible de cadena
Costo para las dimensiones del eje específico	0.15	5	4	4	3
Tolerancia a desalineación	0.10	1	1	5	4
Resistencia al desgaste	0.10	5	5	4	5
Disponibilidad en el tamaño requerido	0.20	5	5	5	3
Protección al equipo	0.10	1	1	4	4
Eficiencia	0.10	5	5	4	4
Diseñado para la potencia requerida	0.10	5	5	5	2
Diseñado para la velocidad requerida	0.15	3	3	5	5
	Puntuación TOTAL	3.90	3.75	4.55	3.70

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 18 Matriz de decisión entre acoples para unión reductor-eje de trituración

Criterios	Factor de peso del criterio	Acople rígido manufacturado	Acople rígido	Acople elastomérico de mandíbula	Acople flexible de cadena
Costo para las dimensiones del eje específico	0.15	5	4	3	3
Tolerancia a desalineación	0.10	1	1	5	4
Resistencia al desgaste	0.10	5	5	4	4
Disponibilidad en el tamaño requerido	0.20	5	4	3	4
Protección al equipo	0.10	1	1	4	4
Eficiencia	0.10	5	5	4	4
Diseñado para la potencia requerida	0.10	5	5	5	2
Diseñado para la velocidad requerida	0.15	5	5	5	3
	Puntuación total	4.20	3.85	4.00	3.50

(Fuente: Elaboración propia)

7. Ensamblaje del sistema de transmisión

Se procedió a realizar la compra de los elementos que se eligieron anteriormente, además se realizó la manufactura del acople que une el reductor con el eje de trituración, este fue manufacturado a partir de una barra de acero, en donde se le realizaron devastados internos con el diámetro adecuado para unir el reductor con el eje de trituración. Además de los diámetros internos se realizaron las ranuras para la cuña de transmisión de potencia que ya portaban tanto el reductor como el eje de trituración. El acople manufacturado se puede observar en la Figura No. 85. Los planos del acople pueden observarse en el Anexo No.6.

Figura 85 Acople reductor-eje.



(Fuente: Elaboración propia)

En cuanto a los cuñeros fabricados, el área transversal de estos es de ¼ in x ¼ in, la cual coincide con los datos que se pueden observar en el Cuadro 19. Se puede observar que para un eje cuyas medidas se encuentren entre 5/8 in y 1- ¼ in, el cuñero debe de tener ¼ in x ¼ in y debe de utilizar tornillos castigadores de ¼ in.

Al obtener los componentes se realizó el ensamblaje del sistema de trituración en conjunto con la manufactura del proyecto en general. Para el ensamblaje del sistema de transmisión se procedió a nivelar todos los componentes entre ellos, para ello se utilizó placas de material para modificar la altura, esto para poder realizar un ensamblaje que mantuviera la integridad de los componentes y que redujera las vibraciones mediante una correcta alineación entre los ejes donde se transmite la potencia. Además, en estas placas se realizaron los agujeros correspondientes para poder realizar la sujeción de los componentes. Gracias a que las bases del motor y el reductor contienen ranuras, se pudo dar una alineación horizontal de manera sencilla ajustando la posición de los componentes. Los pernos utilizados para la sujeción del motor y el reductor fueron pernos con la denominación ¼ - 20 UNC – 2B.

La alineación fue un factor clave a la hora de realizar el ensamblaje entre el motor eléctrico y el reductor, esto debido a que, mientras más rápida es la velocidad de operación, la desalineación es menos aceptable. Este fenómeno puede observarse en la siguiente figura:

Figura 86. Desalineación permitida según la velocidad de giro. (CC)

RPM	Angular Misalignment Mils per inch (000.1/1") 		Offset Misalignment Mils (.001") 	
	Excellent	Acceptable	Excellent	Acceptable
3600	0.3	0.5	1.0	2.0
1800	0.5	0.7	2.0	4.0
1200	0.7	1.0	3.0	6.0
900	1.0	1.5	4.0	8.0

De esta tabla, se puede identificar que, mientras más rápido gira el eje, la desalineación permitida es menor.

8. Cálculos de vida útil de los cojinetes y manual de usuario

Se realizó los cálculos de tiempo de vida de cojinetes para poder establecer el tiempo de vida de estos, los cálculos pueden observarse a continuación:

Utilizando las ecuaciones de la sección de cálculo de vida de cojinetes de SKF, se calculó el tiempo de vida teórico de los cojinetes seleccionados para operar en la trituradora de vidrio de la siguiente manera.

Cuadro 19. Valores del rodamiento seleccionado.

Rodamiento	
Velocidad	225 rpm
Carga radial	10 kN
Viscosidad de lubricante	20 mm ² /s
C de rodamiento	55.3 kN

(Fuente: Elaboración propia)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{55.3}{10}\right)^3 = 169 \text{ millones de revoluciones.}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right)L_{10} = \left(\frac{10^6}{60 \times 225}\right) \times 169 = 12,519 \text{ horas de funcionamiento}$$

Utilizando las ecuaciones del catálogo de Nise-Seiko, la vida de los cojinetes se calculó a continuación:

$$L_{10} = \left(\frac{Cr}{Pr}\right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{55300}{10000}\right)^{\frac{10}{3}} = 299 \text{ millones de revoluciones.}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10^6}{60n}\right)L_{10} = \left(\frac{10^6}{60 \times 225}\right) \times 299 = 22,148 \text{ horas de funcionamiento.}$$

Luego del análisis de los cojinetes, tomando en cuenta las necesidades de los componentes seleccionados, se procedió a realizar el manual de mantenimiento para el sistema de transmisión. La elaboración de este tomó en cuenta los manuales provistos por los fabricantes de los componentes, en donde se indican métodos de mantenimiento, precauciones y soluciones a posibles situaciones que se pueden encontrar a lo largo del funcionamiento del sistema de transmisión y cómo reaccionar a estas.

VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico

1. Cronograma de trabajo

El cronograma de trabajo fue diseñado con el fin de garantizar una afinidad en el trabajo de los diferentes módulos del proyecto. En el cronograma no se especifican las fechas de revisión de cada requerimiento, ya que estas fechas se encuentran en la matriz de diseño y análisis, y en la matriz de inspección y prueba. El cronograma fue revisado semanalmente en la reunión grupal para llevar control de los avances realizados y tener la menor cantidad de retrasos en el proyecto.

Cuadro 20. Cronograma abril – agosto

		Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Actividades realizadas / a realizar	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Supervisión de acoplamiento de módulos, instalación de motor	P																						Verificación de requerimientos por prueba o Inspección
	R																						
	E																						
Pruebas preliminares y revisión de características de seguridad	P																						Verificación de requerimientos por prueba o Inspección
	R																						
	E																						
Evaluación de desempeño y seguridad (instalaciones de la uvg), elaboración de manual de usuario	P																						Recopilación de manuales de mantenimiento y creación del manual de usuario.
	R																						
	E																						
Evaluación por parte de asesores de UVG, adquisición de equipo de seguridad	P																						Compra de equipo de seguridad y elaboración de instructivo para uso del mismo.
	R																						
	E																						
Traslado al centro de acopio, Instalación eléctrica y pruebas de funcionalidad	P																						Evaluación de interacción operario - trituradora. (Grabaciones para capacitación y registro de información)
	R																						
	E																						
Entrega de prototipo final	P																						Entrega de información de contacto en UVG para futuros proyectos en conjunto que se deseen realizar.
	R																						
	E																						
Pruebas en sitio y curso de conocimiento básico para el usuario	P																						Capacitación para personal que estará a cargo de maquinaria. Firma de conclusión de proyecto.
	R																						
	E																						
Evaluación de desempeño en sitio/ visita final	P																						Reunión personal o por skype para obtener retroalimentación del proyecto y recomendaciones para futuros proyectos.
	R																						
	E																						

(Fuente: Elaboración propia)




Cuadro 21. Cronograma enero - marzo

	Enero				Febrero				Marzo				Actividades realizadas / a realizar
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Propuesta de costo máximo de trituradoras (análisis financiero)	P												Creación de análisis económico para determinar el costo máximo de la trituradora, el cual fuera recuperable en un año.
	R												
	E												
Inicio de fase de diseño	P												Reunión grupal para establecer los requerimientos con los que debe cumplir cada módulo.
	R												
	E												
Propuestas de diseño en base a necesidades presentadas	P												Ideación de posición de motor para minimizar vibraciones, desbalance o vibraciones. Cooperación entre módulos para poder realizar el ensamble de cada diseño.
	R												
	E												
Análisis de seguridad, factibilidad y costo de propuestas de diseño	P												Verificación de cumplimiento de requerimientos de seguridad por medio de revisión de diseño. Elaboración de cotización del proyecto en su totalidad.
	R												
	E												
Optimización de diseño (cumplimiento de requisitos en cada módulo), solicitud de fotografías de sistema eléctrico	P												Verificación de conexión 110V en centro de acopio. Revisión de diseño en cada etapa de iteración en el proceso de diseño.
	R												
	E												
Reunión para enseñar propuesta final de diseño, discutir financiamiento	P												Redacción de documento con diseño final de trituradora y cotización de la misma. (Enviado por Email)
	R												
	E												
Cotización de material para trituradora	P												Busqueda de donación de material y proveedores con la misma calidad a un mejor precio de venta. (Elaboración de cotización final)
	R												
	E												
Aprobación por parte del centro de acopio y la universidad para empezar la manufactura. Diseño de sistema eléctrico	P												Creación de cuenta en banco Industrial para la recepción de fondos. (Solicitud de datos a la municipalidad para facturación)
	R												
	E												
Supervisión de requerimientos y asistencia en estrategias de maquinado y adquisición de materia prima	P												Verificación de requerimientos que sean por medio de revisión de diseño o Análisis.
	R												
	E												

(Fuente: Elaboración propia)

En el Cuadro No.22 se pueden encontrar los significados de las letras utilizadas en el cronograma de trabajo y el código de colores que se utilizó para designar el estado de la actividad.

Cuadro 22. Significado de Colores en Cronograma.

Letra	Significado	Color
P	Programado	
R	Reprogramado	
E	Ejecutado	

(Fuente: Elaboración propia)

2. Análisis financiero

En el Cuadro No.23 se puede observar la proyección de gastos y ganancias durante 6 meses de operación. Con estos cálculos se encontró el costo máximo que podía tener la trituradora con lo cual a lo largo de 6 meses de operación se recuperaría la inversión únicamente con las ganancias extras que generaría tenerla operando.

Para realizar este cálculo se debían igualar las ganancias de los meses 2 al 6 con los gastos del mes número 1. Para poder igualar el valor monetario de las ganancias se utilizó la tasa de inflación promedio del año 2017 con un valor de 4% (INE, 2017). Con la inflación se pudo determinar el valor monetario de todas las ganancias equivalentes en mes número 1. Esta misma tasa de inflación se utilizó para determinar el costo del equipo de seguridad, el cual se necesita renovar cada 6 meses de uso por motivos de desgaste.

Para los costos de operación se utilizaron los datos del costo del kWh proveídos por DEOCSA y las horas de uso que se le darían a la trituradora para procesar el 75% de vidrio ingresado diariamente al centro de acopio. El detalle de los datos utilizados se puede observar en el Cuadro No.22.

Ya que el análisis financiero se realizó previo al diseño de la trituradora, el costo de mantenimiento se estableció con base en el costo de nuevos rodamientos, lubricación y el cambio de los elementos de trituración. Todo lo anterior redondeado a la centena superior.

Cuadro 23. Proyección de gastos e ingresos durante 6 meses.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Maquinaria	-Q11,023.56	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Costos de operación	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75
Mantenimiento de trituradora	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	-Q 800.00
Equipo de seguridad	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	-Q 147.90
Venta de vidrio	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00
Flujo mensual	-Q 9,014.31	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 1,061.35
Valor Presente en Mes 1		Q 2,002.57	Q 1,995.92	Q 1,989.29	Q 1,982.68	Q 1,043.84

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 24. Detalle de Costos de Operación.

Descripción	Valor	Equivalente
Potencia del motor	1 hp	0.75 kW
Horas utilizadas	5 horas	
Costo de kWh	Q 1.1	
Costo diario de energía	Q 4.13	
Costo mensual de energía	Q 90.75	

(Fuente: Elaboración propia)

En el Cuadro No.25 se puede observar la proyección de ganancias de los primeros 6 meses de operación de la trituradora. En el flujo mensual no se tomó en cuenta los sueldos y otros gastos del centro de acopio, ya que estos datos no fueron proporcionados por la Municipalidad de Panajachel. A partir del mes número 3 de operación se comienzan a percibir ganancias extras debidas a la trituradora. Las ganancias mensuales se ven aumentadas en Q2009.25 a excepción de los meses en los que se deba renovar el equipo de seguridad. Estas ganancias se pueden aumentar ya que la cantidad de vidrio que ingresa al centro de acopio puede llegar a aumentar según la temporada del año.

El mantenimiento de la trituradora no fue tomado en cuenta en las proyecciones, esto se debe a que se escogió una estrategia de tipo correctivo para la trituradora. La elección de este tipo de mantenimiento se debe a que el diseño de la trituradora tiene como objetivo desgastar los elementos rodantes de las chumaceras y únicamente hacer un reemplazo de estas cuando sea

necesario. Además, una estrategia de tipo preventivo elevaría los costos mensuales de la trituradora.

Cuadro 25. Proyección de ganancias a 6 meses con costo de trituradora.

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Maquinaria	-Q 5,851.45	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Costos de operación	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75	-Q 90.75
Mantenimiento de trituradora	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Equipo de seguridad	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	-Q 147.90
Venta de vidrio	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00	Q 2,100.00
Flujo mensual	-Q 3,842.20	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 2,009.25	Q 1,861.35
Valor presente en mes 1		Q 2,002.57	Q 1,995.92	Q 1,989.29	Q 1,982.68	Q 1,830.64
Ganancias totales en valor Presente		-Q 1,839.63	Q 156.30	Q 2,145.59	Q 4,128.27	Q 5,958.90

(Fuente: Elaboración propia)

En el Cuadro No.26 podemos observar tres indicadores utilizados para determinar la rentabilidad del proyecto. La tasa interna de retorno (TIR) con un valor de 43% nos permite determinar que el dinero invertido generará mayores ganancias que en cualquier método de ahorro. El múltiplo nos indica que nuestras ganancias al cabo de 6 meses representan 2.55 veces el valor de nuestra inversión.

Cuadro 26. Indicadores de Rentabilidad

Indicador	Valor
TIR (Tasa interna de Retorno)	43%
Múltiplo	2.55
VNA (Valor neto actual)	Q 5,958.90

(Fuente: Elaboración propia)

3. Matriz de requerimientos

Los tipos de requerimientos están basados en la literatura de Larson y Wertz (1999). Se clasificaron según el módulo que tuviera la responsabilidad y la capacidad de cumplir con el requerimiento. Algunos requerimientos están incluidos en todos los módulos, estos requieren una total coordinación entre los diferentes módulos de trabajo para que se puedan cumplir exitosamente. Esta coordinación está bajo la responsabilidad de Ingeniería de Sistemas, por lo

tanto, se programan reuniones semanales y trabajos en conjunto para que todos los integrantes del proyecto estén alineados hacia los objetivos generales del megaproyecto.

1. Requerimientos Funcionales

Cuadro 27. Requerimientos funcionales de la trituradora.

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
FST-01	El sistema de trituración debe estar sujeto únicamente con elementos de sujeción no permanentes.	ST	R e I
FST-02	Debe ser capaz de procesar un mínimo de 500 lb diarias.	ST	P
FST-03	Debe proporcionar un tamaño de partícula de 2 pulgadas o mayor.	ST	R y P
FST-04	El elemento de trituración debe tener una vida útil de 3000 horas.	ST	A
FSE-01	La maquinaria debe funcionar con 110V o 220V.	SE	I
FET-01	El material triturado debe caer directamente en un costal o contenedor exterior a la máquina.	ET	R
FSTP-01	El sistema de transmisión debe ser capaz de transmitir 0.5 hp hacia el eje a 250 RPM	STP	I y P
FSTP-02	Se debe poder acceder al sistema de transmisión de potencia para realizar el mantenimiento o cambio de componentes de ser necesario.	STP	R

(Fuente: Elaboración propia)

2. Requerimientos Operacionales

Cuadro 28. Requerimientos operacionales de la trituradora.

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
OTD-01	Mantenimiento de maquinaria debe poder realizarse en el centro de acopio.	Todos	P
OTD-02	Tiempos mantenimiento no deben superar 5 horas.	Todos	P
OSE-01	La forma de operación debe garantizar la seguridad del operario con respecto a las partes móviles en todo momento.	SE	R e I
OSE-02	En el manual se debe encontrar el equipo de protección necesario para la utilización de la máquina.	SE	I

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
OSE-03	La maquinaria debe ser operada únicamente por una persona	SE	P
OSTP-01	Al sistema de transmisión de potencia se le debe realizar un máximo de 1 mantenimiento por semana de uso.	STP	I
OSTP-02	Partes en movimiento deben estar cubiertas y debidamente señalizadas.	STP	I
OET-01	Debe tener señalamientos de precaución donde sea necesario.	ET	I

(Fuente: Elaboración propia)

Limitantes

Cuadro 29. Matriz de limitantes.

Código	Limitante	Módulo	Verificación
LTD-01	Piezas deben ser fabricadas localmente	Todos	I
LTD-02	El costo de recuperación del proyecto debe ser de 6 meses como máximo.	Todos	A
LTD-03	Debe ser transportable en un pick up con una palangana que posee un área de 1.5 X1.5 metros.	Todos	R
LTD-04	El espacio de la maquinaria no debe exceder más de 2 X 2 X 2.5 metros.	Todos	R
LTD-05	El espacio operativo de la maquinaria no debe exceder más de 3 X 3 X 2.5 metros.	Todos	P
LST-01	El mantenimiento del sistema de trituración debe ser ejecutable con los recursos presentes en Sololá.	ST	I
LST-02	Debe existir un proveedor de cadena de ¼" en Sololá	ST	I
LSTP-01	El mantenimiento del sistema de transmisión de potencia debe poder ser realizado por un solo operario.	STP	R
LSTP-02	Debe existir un proveedor local de lubricante para sistema de transmisión de potencia.	STP	I
LSTP-03	El primer elemento propenso a falla deben ser los cojinetes.	STP	A
LET-01	La estructura debe tener un factor de seguridad mínimo de 2, aún con la carga adicional de vidrio.	ET	A

(Fuente: Elaboración propia)

Donde:

ST: Sistema de Trituración.

STP: Sistema de Transmisión de potencia.

ET: Módulo de Estructura.

SI: Ingeniería de Sistemas y Sistema Eléctrico.

4. Matriz de verificación y validación

En anexo No.5 se encuentra detallada la actividad realizada durante cada revisión o análisis.

Cuadro 30. Matriz de verificación de diseño y análisis.

Fecha de revisión	Código	Módulo	Tipo de requerimiento	Método de verificación
5/3/2018	FST-01	ST	Funcional	Revisión de diseño (R)
5/3/2018	FSTP-02	STP	Funcional	Revisión de diseño (R)
5/3/2018	OSE-01	SE	Operacionales	Revisión de diseño (R)
5/3/2018	LTD-03	Todos	Limitantes	Revisión de diseño (R)
5/3/2018	FET-01	ET	Funcional	Revisión de diseño (R)
5/3/2018	FST-03	ST	Funcional	Revisión de diseño (R)
6/3/2018	FST-04	ST	Funcional	Análisis (A)
6/3/2018	LTD-02	Todos	Limitantes	Análisis (A)
12/3/2018	LST-02	STP	Limitantes	Análisis (A)
12/3/2018	LSTP-01	STP	Limitantes	Revisión de diseño (R)
15/3/2018	LET-01	ET	Limitantes	Análisis (A)

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 31. Matriz de verificación por prueba e inspección.

Fecha de revisión	Código	Módulo	Tipo de requerimiento	Método de verificación
05/03/2018 - 01/05/18	LTD-01	Todos	Limitante	Inspección
12/3/2018	FSTP-01	STP	Funcional	Inspección y Prueba
12/3/2018	LST-03	ST	Limitante	Inspección
12/3/2018	LST-01	ST	Limitante	Inspección
15/5/2018	OTD-01	Todos	Operacional	Prueba
12/3/2018	FSE-01	SE	Funcional	Inspección
15/5/2018	FST-01	ST	Funcional	Inspección
2/5/2018	OSE-02	SE	Operacional	Inspección
12/5/2018	OET-01	ET	Operacional	Inspección
12/5/2018	LTD-05	Todos	Limitante	Prueba
12/5/2018	OSTP-02	STP	Operacional	Inspección
18/5/2018	FST-02	ST	Funcional	Prueba
18/5/2018	FST-03	ST	Funcional	Prueba
18/5/2018	OTD-02	Todos	Operacional	Prueba
18/5/2018	OSE-01	SE	Operacional	Inspección
18/5/2018	OSE-03	SE	Operacional	Prueba
18/5/2018	OSTP-01	STP	Operacional	Inspección

(Fuente: Elaboración propia)

5. Revisiones de requerimientos

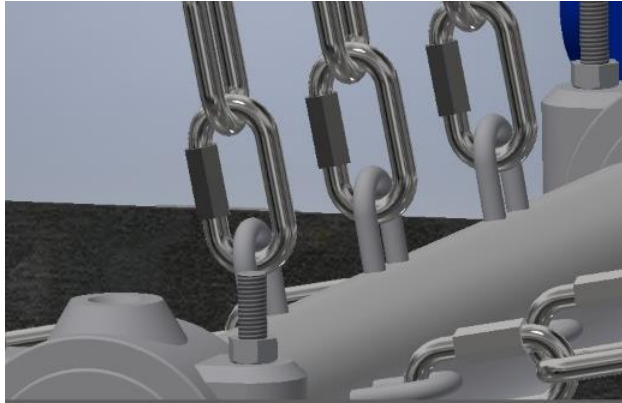
Todas las revisiones se realizaron a lo largo del proyecto, tanto en la fase de diseño como en la fase de manufactura y pruebas, a continuación de muestra un ejemplo de cada tipo de verificación.

1. Revisión de diseño del requerimiento FST – 01:

El requerimiento busca que el sistema este sujeto únicamente por elementos de sujeción no permanentes. Este requerimiento tiene como finalidad facilitar el cambio de un elemento de trituración en caso se encuentre desgastado.

Primera revisión: La forma de sujetar las cadenas es por medio de un eslabón con rosca. Fecha de revisión: 20/02/2018

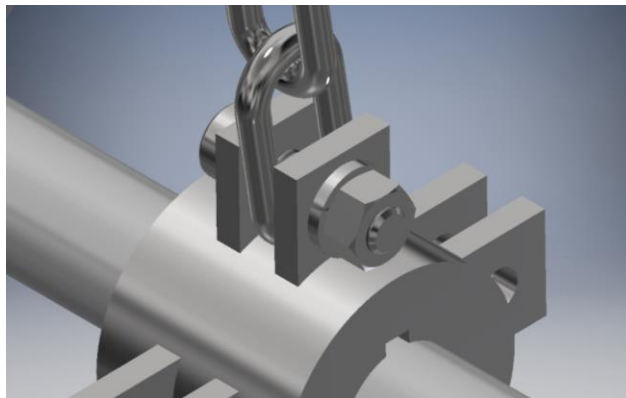
Figura 87. Elementos de sujeción no permanentes.



(Fuente: Elaboración propia)

Segunda revisión: Para sujetar las cadenas se diseñaron insertos en el eje de tal forma que se pudiera colocar tornillos con tuerca y arandela de presión para sujetar el primer eslabón de la cadena. Fecha de revisión: 05/03/2018

Figura 88. Elementos de sujeción No permanentes, segunda revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

2. Inspección del requerimiento FST – 01

Para determinar el cumplimiento del requerimiento se inspeccionó la existencia física de los insertos en el eje de trituración y la implementación de un sistema que permita el cambio de cadenas, en caso sea necesario debido al desgaste. El sistema utilizado para sujetar las cadenas fue por medio de un tornillo de cabeza Allen, una arandela de presión y una tuerca. Fecha de revisión: 15/05/2018

Figura 89. Inspección de sujeción de elementos de trituración.

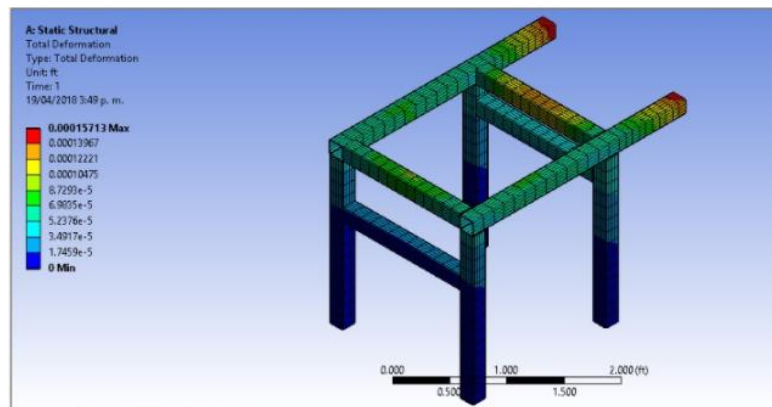


(Fuente: Elaboración propia)

3. Análisis para el requerimiento LET – 01

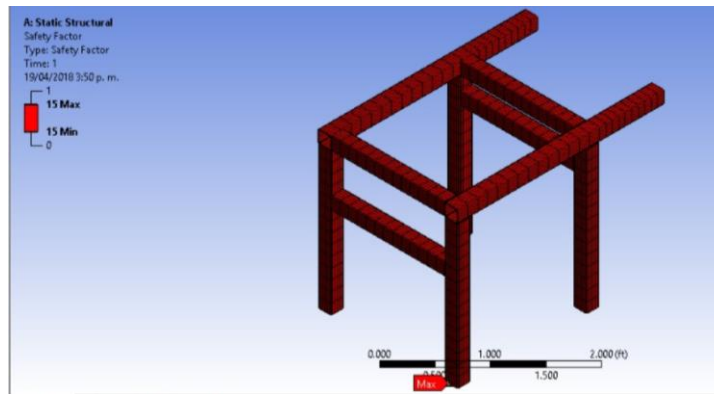
El requerimiento dice que la estructura debe tener un factor de seguridad de 2 o mayor, aun con la carga adicional de vidrio dentro de la trituradora. La estructura está formada de tubo cuadrado chapa 11, con este grosor toda la estructura muestra un factor de seguridad mayor a 15. (ANSYS muestra un valor de 15 a pesar de que la estructura tenga un factor de seguridad mayor). Debido al alto factor de seguridad se cambió la chapa utilizada a una de menor grosor (chapa 14), para reducir costos fabricación, manteniendo siempre la seguridad del operador. Fecha de revisión: 06/03/2018

Figura 90. Deformación total en estructura, primera revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

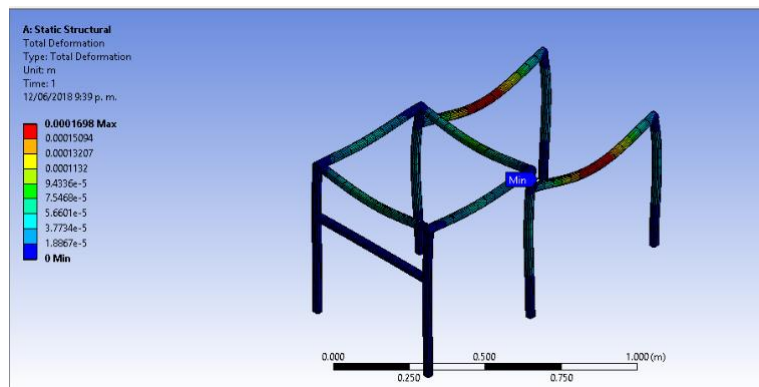
Figura 91. Factor de seguridad en estructura, primera revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

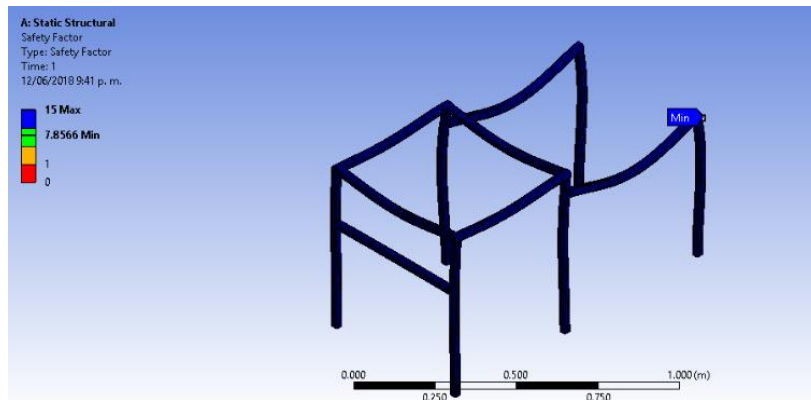
Segunda revisión: Debido a falta de producto por parte del proveedor se cambió el sistema de potencia, lo que conllevó a un rediseño en la estructura para poder dar lugar al nuevo sistema de potencia adquirido. La deformación máxima se encuentra en la estructura que soporta al motor y reductor, teniendo un máximo de 0.17 mm de deformación en el eje Y, en la parte central de los soportes horizontales. Debido a lo anterior el factor de seguridad mínimo se encuentra en la soldadura de unión de estos soportes con los parales posteriores. Con lo anterior se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 7.86. Fecha de revisión: 15/03/2018

Figura 92. Deformación máxima de estructura, segunda revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

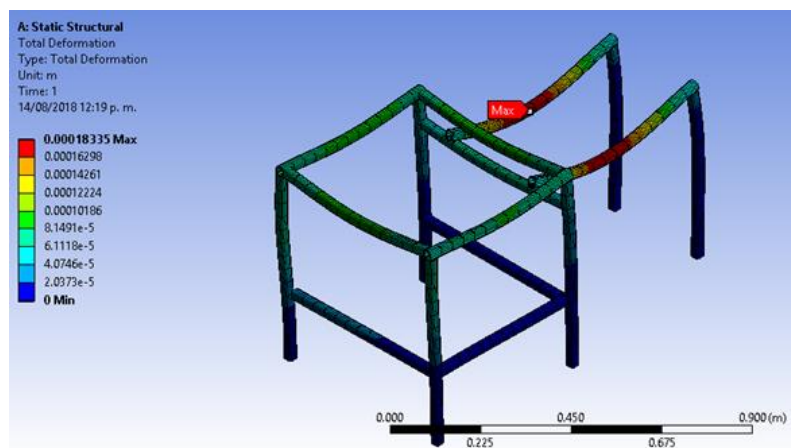
Figura 93. Factor de Seguridad de estructura, segunda revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

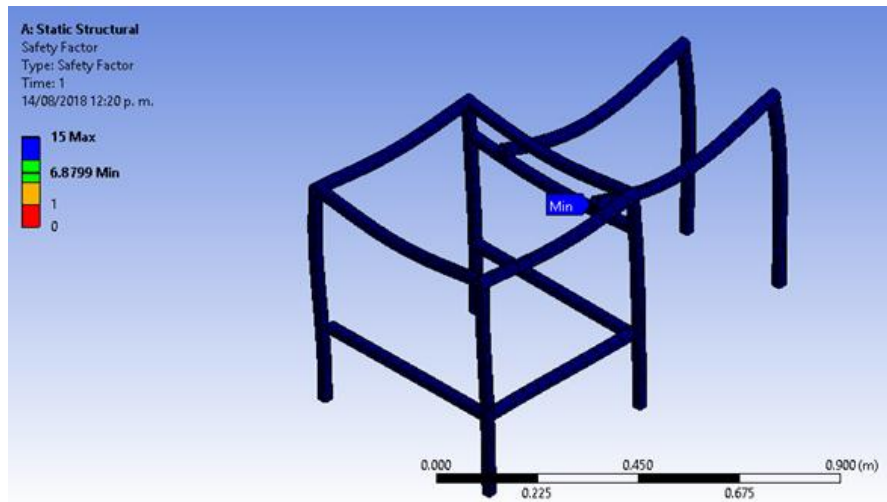
Tercera revisión: En la etapa de pruebas se observó una alta vibración en la estructura, por lo que se le colocaron dos estructuras de soporte para aminorar estas vibraciones. Debido a que esta modificación se realizó posterior a las pruebas, el análisis del requisito LET – 01 se ejecutó nuevamente posterior a la última fecha de revisión. La deformación máxima se encuentra nuevamente en la sección que soporta al moto-reductor, con un valor de 0.18 mm. El factor de seguridad se vio reducido levemente a un valor de 6.88, este se encuentra en la unión de los paraleles posteriores ya que estos se encuentran atornillados en lugar de soldados. El cambio anterior se realizó por motivos de transporte de la trituradora. Fecha de revisión: 02/06/2018

Figura 94. Deformación total, tercera revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 95. Factor de Seguridad, tercera revisión.



(Fuente: Elaboración propia)

4. Prueba para el requerimiento OSE – 03

Este requerimiento busca que la maquinaria pueda ser operada por una sola persona. La municipalidad de Panajachel busca efficientizar el proceso de triturado, por lo que al realizarlo una sola persona de forma rápida y segura consiguen aumentar su productividad. Para poder cumplir con este requerimiento se elaboró un listado de instrucciones para la correcta operación de la máquina. Las instrucciones se encuentran detalladas en el manual de usuario, el cual se encuentra en el anexo No.1.

Para poder cumplir con todos los estándares de trituración también se elaboró un manual de pruebas. En este manual se detallan todos los pasos que se siguieron para determinar si la trituradora cumplía con requisitos de operación, seguridad y trituración. El manual de pruebas se encuentra en el anexo No.3.

En la Figura No.94 se muestra una Figura de la prueba del requerimiento OSE – 03. El usuario está en la capacidad de encender la maquinaria y luego ingresar las botellas de vidrio para la trituración.

Figura 96. Correcta operación de la trituradora por un solo usuario.



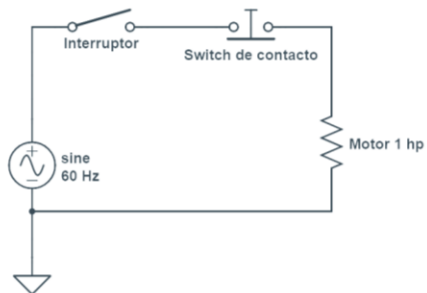
(Fuente: Elaboración propia)

6. Sistema eléctrico

1. Diseño del sistema eléctrico

Todos los sistemas de apagado y encendido utilizaban el mismo diseño de sistema eléctrico, ya que el único cambio entre ellos era el tipo de interruptor utilizado. En la Figura No.97 se observa la base del sistema eléctrico.

Figura 97. Diseño de sistema eléctrico.



(Fuente: Elaboración propia)

2. Matriz de selección para sistema de apagado y encendido

Para seleccionar el sistema de apagado y encendido, se realizó una encuesta a los futuros operarios de la máquina (previo a cualquier tipo de capacitación o explicación del sistema). Con lo anterior se buscaba encontrar el sistema que fuera manejable de forma intuitiva, tuviera un costo aceptable, se tuviera acceso a su reparación en el departamento de Sololá, proveyera seguridad eléctrica al motor en caso de una sobrecarga y, por último, que tuviera un aspecto visual aceptable.

En el Cuadro No.30 se pueden observar los aspectos que se tomaron en cuenta para seleccionar el sistema, a continuación, se explica cómo se calificó cada uno de ellos.

Para calificar el entendimiento, se les presentó una Figura de los posibles sistemas y se les pidió que identificaran donde se prendía y donde se apagaba la trituradora. El sistema con mayores respuestas correctas se calificó con 10 y los demás se calificaron con respecto a este. Para el costo se calificó con 10 al sistema que tuviera el menor precio y con respecto a este se calificaron los demás. La facilidad de instalación se tomó como 10 el menor tiempo de instalación de los sistemas, calificando los demás con respecto a este tiempo. La seguridad eléctrica se calificó según la protección ante sobrecargas y a la humedad del medio ambiente. Por último, el aspecto visual se incluyó en la encuesta preguntándole a los futuros usuarios cuál de los sistemas les parecía más atractivo a la vista.

Cuadro 32. Matriz de selección de sistema de apagado y encendido.

Sistema	Imagen	Entendimiento	Costo	Facilidad de instalación	Facilidad de Reparación	Seguridad eléctrica	Visual
Pulsador con bobina interna.		10	1	2	1	10	10
Flipón de 15 A		6	10	10	10	5	1
Interruptor seleccionador de 16 A.		6	3	10	5	8	10

(Fuente: Elaboración propia)

Según la calificación que se puede observar en el cuadro No.30, el sistema de apagado y encendido elegido para la trituradora fue el interruptor seleccionador de 16 A.

3. Construcción del sistema eléctrico

A continuación, se enumeran los diversos componentes del sistema eléctrico, el proceso de selección que se utilizó y la conexión utilizada.

- Selección del cable. Para poder determinar el calibre de cable necesario, el cual garantizara un funcionamiento sin la existencia de sobrecalentamientos, se utilizó el Cuadro No.3 en conjunto con las especificaciones del motor (anexo No.4). El calibre de cable seleccionado fue el número 14, soportando un máximo de 18 amperios.
- Selección del interruptor. Con la calificación obtenida en el cuadro No.32 se pudo determinar que el interruptor más apropiado para el centro de acopio era el interruptor de

tipo seleccionador. Debido a las especificaciones técnicas del motor en las cuales se indicaba que la corriente de trabajo sería de 14 amperios, se seleccionó un interruptor de 16 amperios. La decisión anterior protege al sistema de sobrecargas, ya que en caso de existir una, el primer sistema de protección para el motor sería el interruptor.

- Interruptor de contacto. Por razones de seguridad laboral, se colocó un interruptor de contacto en la carcasa inferior. Este interruptor al estar en contacto con la parte superior de la carcasa permitía el paso de corriente, de lo contrario interrumpe el circuito. El objetivo de esto es evitar el funcionamiento de la trituradora con la parte superior levantada, es decir con las cadenas expuestas.
- Motor eléctrico. La potencia del motor fue determinada por el módulo de trituración, con base en sus especificaciones se procedió a realizar cotizaciones de motores que no necesitarán brida en su conexión, con el fin de disminuir costos en la instalación. El motor seleccionado trabaja con una instalación de corriente directa y de tipo monofásica (ficha técnica en anexo No.4). Para su conexión se siguieron las instrucciones proveídas por el fabricante, estas instrucciones se encuentran detalladas en el manual de usuario en el anexo No.1.

7. Culminación y entrega de trituradora

La entrega de la trituradora se llevó a cabo el jueves 30 de agosto del 2018. La ceremonia de entrega de la trituradora fue oficializada por el alcalde del municipio de Panajachel, el señor Enio Urizar Batres. Durante la ceremonia se intercambiaron contactos entre la municipalidad de Panajachel, la Universidad del Valle campus sur y la Universidad del Valle de Guatemala campus central; lo anterior se realizó con el fin de establecer una relación de trabajo y colaboración entre todas las entidades anteriores para generar nuevos proyectos de acción ambiental para la preservación del lago de Atitlán.

El acto de entrega de la trituradora incluyó los siguientes puntos:

1. Instalación y pruebas en sitio

Para facilitar el transporte de la trituradora se desmontó la carcasa superior, por lo que en el centro de acopio se tuvo que realizar el ensamble de la misma. Para culminar la instalación se nivelaron las patas de la trituradora con respecto al suelo del centro de acopio. Este paso es indispensable ya que disminuye en la mayor cantidad posible las vibraciones de la trituradora alargando así el tiempo de vida de los acoples y cojinetes. Por último, las pruebas se realizaron con las botellas de mayor tamaño y grosor, las cuales con el método anterior de trituración eran las que representaban mayor dificultad a la hora de triturar. Las pruebas tuvieron un resultado positivo en todas las ocasiones.

Figura 98. Proceso de ensamble de parte superior de carcasa.



(Rony Herrarte, 2018)

2. Capacitación

La capacitación constó de una breve explicación de cómo utilizar la máquina, los pasos que se deben seguir y que equipo de seguridad se debe utilizar. El detalle de estas instrucciones y el equipo se encuentra en el manual de usuario en el anexo No.1. Al terminar esta explicación se procedió a realizar una demostración de su funcionamiento, primero por los integrantes del megaproyecto y luego por cada trabajador del centro de acopio que se encontrara presente en la capacitación. Todo lo anterior se hizo con el fin de que cualquier duda en cuanto al funcionamiento de la trituradora surgiera en ese momento y se pudiera dejar solventada.

Figura 99. Capacitación a futuros usuarios.



(Municipalidad de Panajachel, 2018).

3. Explicación del manual de usuario

Se proyectó el manual de usuario para que todas las personas presentes pudieran observarlo. Se mencionaron todas las secciones del manual y su contenido, con el fin de que se pudiera resolver cualquier duda acerca de la máquina posterior a nuestra capacitación. Cabe mencionar que una de las secciones más importantes es la de solución de problemas, durante la charla se explicó cada posible problema y su solución propuesta.

Figura 100. Explicación del manual de usuario.



(Municipalidad de Panajachel, 2018).

4. Carta de culminación de proyecto

Para culminar la relación laboral entre el grupo de estudiantes del megaproyecto y la municipalidad de Panajachel, se redactó una carta de cierre de proyecto. En esta carta se

especificó a quien se le hacia la entrega oficial de la trituradora, el equipo de seguridad entregado, la capacitación impartida por los integrantes del megaproyecto y el detalle de los costos de la trituradora con sus respectivas facturas de respaldo. La carta de culminación se encuentra en el anexo No.2.

Figura 101. Fotografía equipo de megaproyecto y autoridades de la municipalidad de Panajachel.



(Municipalidad de Panajachel, 2018).

B. Trituración

1. Velocidad de rotación

Con base en la información que se puede observar en el Cuadro No.33 la altura promedio para genera una ruptura en el vidrio es de un metro, este valor será empleado en un método energético para determinar la velocidad del eje de rotación.

Cuadro 33. Resultado de la prueba de fractura

Botella No.	Altura	Espesor
1	0.6	1mm-3mm
2	0.95	1mm-3mm
3	1	1mm-3mm
4	1.1	1mm-3mm
5	1.3	1mm-3mm
6	1.1	2mm-3mm
7	1	1mm-2mm
8	1	1mm-2mm
9	1	1mm-2mm
10	1	1mm-2mm
11	1	1mm-2mm
12	1	1mm-2mm
13	1.3	2mm-3mm
14	1.5	3mm-5mm
15	1.3	2mm-3mm

(Fuente: Elaboración propia)

Mediante el método anteriormente mencionado se obtiene que la velocidad de rotación mínima para generar la fractura es de 151 RPM, al analizar el video proporcionado por el grupo VICAL se obtiene que la velocidad de rotación es de 180 RPM aproximadamente.

Cuadro 34. Resultados de prueba de velocidad de rotación

RPM	Comportamiento	
	de las cadenas	Decisión
80	Se enrollan	Inaceptable
125	Se enrollan	Inaceptable
180	Estables	Aceptable
225	Estables	Aceptable
250	Estables	Aceptable

(Fuente: Elaboración propia)

Al realizar el análisis del comportamiento de la cadena cuando está rota a una cantidad definida de RPM se identifica que la velocidad mínima para que esta no se pliegue en el eje es de 180 RPM, esto se puede observar en el Cuadro No. 4. En conjunto con el sistema de transmisión de potencia se selecciona un reductor el cual cumple con la velocidad mínima de rotación, esta velocidad es de 219 RPM. La cual cumple con la velocidad mínima de rotación y la velocidad mínima para evitar el pliegue de la cadena en el eje.

2. Potencia requerida

Utilizando la ley de Bond y los valores que se apegan a los presentes en el centro de acopio, se obtiene que la potencia mínima para generar una fractura en el vidrio es de 0.25Hp

Cuadro 35. Resultados de la potencia requerida

Datos	Valor	Dimensional
Diámetro de partícula inicial	1.20	ft
Diámetro de partícula final	0.17	ft
Toneladas que triturar por día	1.00	tonelada corta
Tiempo del triturado	120.00	min
Factor de triturabilidad	13.57	N/a
Resultado	0.25	Hp

(Fuente: Elaboración propia)

Es de considerar que este cálculo se basa en la energía necesaria para generar una ruptura en el vidrio, por lo que las pérdidas en el sistema no están incluidas. Se selecciona un factor de seguridad de dos para la potencia, debido a que se debe proporcionar un costo aproximado del equipo previo a la toma de decisiones respecto al método de transmisión de potencia a utilizar, lo cual impide estimar la cantidad de pérdidas que puede tener el sistema.

Al realizar la cotización de los motores eléctricos, se identifica que el costo de un motor de 1 hp es Q. 200.00 superior al costo de un motor de 0.5 Hp por lo que se decide incrementar el caballaje del sistema. El factor de seguridad obtenido posterior a este incremento es de cuatro.

3. Diseño del eje de trituración

El eje posee un diámetro de 30mm y fue manufacturado en su totalidad con acero 1018, el eje se puede observar en la Figura No. 97. Este fue fabricado por un taller de tornos y el costo total del mismo es de Q1000.00 el bajo costo se debe a que el eje procede de un subproceso lo cual abarato el costo de material. Las cuñas fueron manufacturadas con el mismo material. Posterior al proceso de ensamblaje se identificó que existía juego axial en los insertos, para corregir este problema se añaden tornillos castigadores de ¼ de pulgada.

Figura 102. Eje de trituración



(Fuente: Elaboración propia)

En las cuñas se obtiene un factor de seguridad de 19, para este cálculo se utilizó el torque proporcionado por el reductor. En el Cuadro No. 36 se observar los valores utilizados para realizar los cálculos.

Cuadro 36. Valores para obtener factor de seguridad en cuñas

Descripción	Valor	Dimensional
Torque del reductor	47.56	Nm
Sy	370	Mpa
Ssy	213.49	Mpa
r	15	mm
t	44.45	mm
l	6.35	mm

(Fuente: Elaboración propia)

Para obtener el factor de seguridad de la cuña primero se debe obtener la fuerza ejercida sobre la cuña.

$$F = \frac{\text{Torque del reductor}}{r} = \frac{47.56}{\left(\frac{15}{1000}\right)} = 3170.6 \text{ N}$$

Posterior a esto se puede obtener en factor de seguridad en la cuña tomando en cuenta que esta es fabricada en acero 1018. El factor de seguridad se calcula con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{S_{sy}}{F} * (tl) = \frac{370 * 10^6}{3170.6} * \left(\frac{44.45}{1000} * \frac{6.35}{1000}\right) = 19.005$$

Con base a los esfuerzos presente en el sistema de trituración se obtiene los siguientes diámetros mínimos para eje con su respectivo factor de seguridad.

Cuadro 37. Diámetro mínimo del eje y factor de seguridad.

Ecuación	Valor	Facto de seguridad
ASME Elíptico	1.25 cm	2.4
Goodman	1.19 cm	2.5
Soderbergh	1.33 cm	2.3
Gerber	1.14 cm	2.6

(Fuente: Elaboración propia)

Para obtener los valores anteriormente mencionados, se utilizó un método iterativo en Excel para variar el diámetro hasta obtener un factor de seguridad de uno. En el Cuadro No. 38. Se pueden observar los valores de los factores y los esfuerzo para obtener dichos resultados.

Cuadro 38. Factores para obtener diámetro mínimo

Descripción	Valor	Dimensional
Momento alternante	7390	N*mm
Torque medio	47566	N*mm
Factor de superficie	0.96160482	N/a
Factor de tamaño	1.209	N/a
Factor de carga	1	N/a
Factor de temperatura	1	N/a
Factor de confiabilidad	0.814	N/a
Factor de efectos varios	1	N/a
Se	161.351022	Mpa
Kt	1	N/a
Kts	1	N/a
Kf	1	N/a
Kfs	1	N/a

(Fuente: Elaboración propia)

Se debe mencionar que los factores Kt y Kts dependen directamente del diámetro del eje y el diámetro del hombro. En este caso el eje al ser de un tamaño uniforme no posee hombro lo cual hace que esta variable sea uno.

En el caso de K_f y K_{fs} esto depende de Kt y Kts, esto quiere decir que en el caso que Kt y Kts sean igual a 1 K_f y K_{fs} también lo serán como se puede observar en la siguiente ecuación.

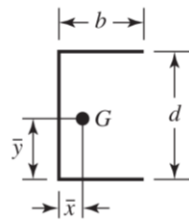
$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

Por lo que determinar los factores q y $q_{cortante}$ no resulta ser necesario debido a que estos son multiplicados por cero.

El ensamblaje del eje de trituración se puede observar en la figura No.103 en esta se puede apreciar que se utilizan dos juegos de aletas por inserto, esto quiere decir que el sistema de trituración cuenta con seis martillos. Cada aleta posee un factor de seguridad de 38.42 suponiendo que toda la fuerza centrífuga es aplicada únicamente en una aleta.

Para obtener el factor de seguridad anterior se analiza la soldadura a tensión relacionándola con los casos típicos de soldadura, dicho casos se puede observar en la Figura No. 103.

Figura 103. Forma de aplicación de soldadura



$$A = 0.707h(2b + d)$$

(Shigley,2008)

Posteriormente se analiza que material entre el acero 1018 y el material de aporte del electrodo poseen un Sut menor y se trabaja con ese. En este caso se trabaja con el material de aporte de un electrodo 6013. En el Cuadro No. 39 se pueden observar los factores utilizado para realizar dichos cálculos.

Cuadro 39. Factores de soldadura

Descripción	Valor	Dimensional
Sut	427	Mpa
Se'	213.5	Mpa
Ka	0.875	N/a
Kb	1	N/a
Kc	0.59	N/a
Kd	1	N/a
Kf	0.37	N/a
Sse	30.64	Mpa
b	6.35	mm
d	25.4	mm
A	80.81	mm ²

(Fuente: Elaboración propia)

Obteniendo con la siguiente ecuación la fuerza máxima que puede soportar esta soldadura cuando se encuentra en tensión. Sabiendo que la fuerza centrífuga que ejerce cadena es de 64.37 N se puede obtener un factor de seguridad.

$$F_m = 30.64(80.81 * 10^{-3}) = 2.47 \text{ kN}$$

La cadena utilizada es de 5/16 de pulgada, cada martillo tiene un peso de 266 gramos. Como se puede observar en la Figura No.102 se realiza la medición de peso de la cadena. La ventaja de utilizar cadenas como método de trituración es que limitan la posibilidad de atrancamiento del sistema, al mismo tiempo reducen las vibraciones producidas por el impacto de los martillos con la botella de vidrio.

Figura 104. Peso de cadena



(Fuente: Elaboración propia)

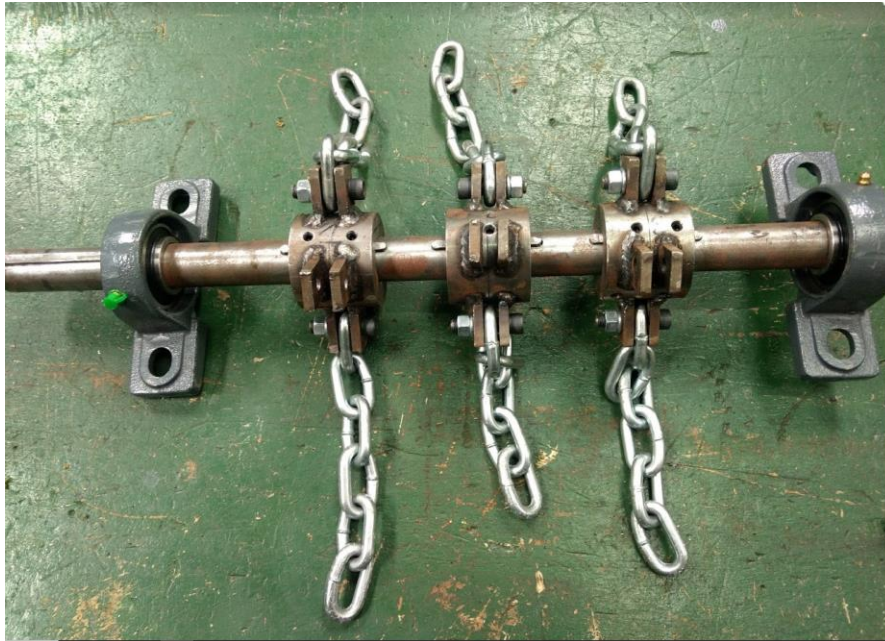
Se utilizan uniones pernadas debido a que facilitan el mantenimiento de este, adicionalmente estos proporcionan la facilidad de utilizar diferentes métodos de trituración. Los pernos utilizados poseen un factor de seguridad superior a 1000, esto se debe a que esta sometidos a cortante puro y la fuerza que se les aplica es la fuerza centrífuga generada por la cadena.

Para obtener el factor de seguridad anteriormente mencionado se debe calcular la fuerza máxima que puede soportar el perno. Para ello se debe saber el área transversal del perno en el cual se aplica la fuerza y la resistencia del perno. En la siguiente ecuación se obtiene la fuerza máxima que posee el perno.

$$F_m = (120 * 1000 * 6894.7) * \pi * \left(\frac{5}{1000}\right)^2 = 64.981 \text{ kN}$$

Sabiendo que los pernos soportan únicamente una fuerza centrífuga generada por las cadenas, la cual es de 64.7 N se puede obtener el factor de seguridad anteriormente mencionado.

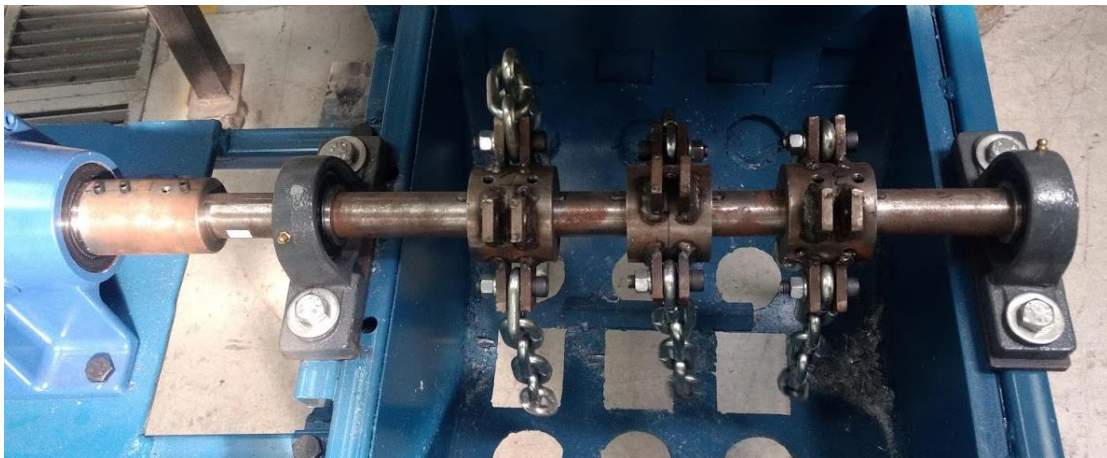
Figura 105. Ensamblaje del sistema de trituración



(Fuente: Elaboración propia)

En la figura No.106 se puede observar el eje de trituración montado en la estructura y acoplado al sistema de transmisión de potencia. Este al ser operado a la velocidad seleccionada no presenta enrollamiento de las cadenas en el eje y estas extienden en su totalidad.

Figura 106. Eje de triturado acoplado al reductor



(Fuente: Elaboración propia)

Previo a realizar la entrega de la trituradora, se realizó una inspección visual de los eslabones de la cadena que se encuentran impactando el vidrio. Se observa daño superficial en el mismo, estas no afectan a la funcionalidad de la trituradora. Esto se puede observar en la figura No. 107.

Figura 107. Estado de cadenas



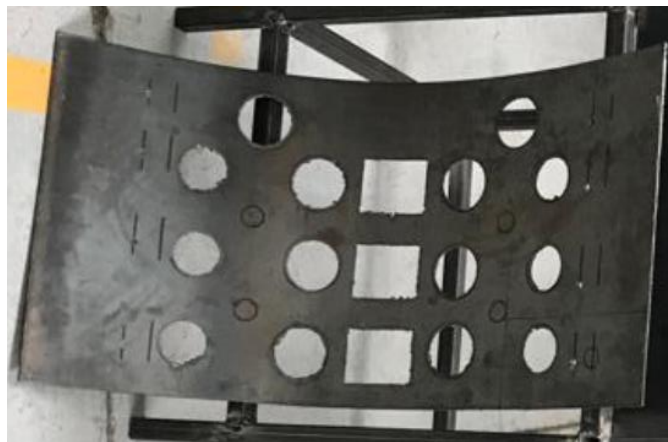
(Fuente: Elaboración propia)

La cadena posee el desgaste más elevado, por lo que se especifica en el manual de mantenimiento que se debe de realizar el cambio de esta es de forma anual como parte de un mantenimiento preventivo.

4. Tamaño de partícula

Para obtener el tamaño de partícula deseado ese se hace pasar primero por un tamiz el cual permite el paso a partículas inferiores a 2.5 pulgadas, en la Figura No. 108 se puede observar dicho tamiz. Durante la etapa de pruebas se presentó un leve estancamiento de vidrio en uno de los sectores del tamiz, esto se debe a la ausencia de una abertura en ese punto.

Figura 108. Tamiz de cribado



(Fuente: Elaboración propia)

La clasificación del vidrio se realiza de forma manual, comparando cada fragmento de vidrio con un elemento de medición para verificar que cumpliera el tamaño deseado. Durante el proceso de clasificación se identificó que el vidrio que presenta un espesor entre 1mm y 2mm tiende a

fragmentarse más que el vidrio con un espesor mayor. Esto se debe a que este se fragmenta durante el proceso transporte del mismo

Se identificó que es necesario realizar una limpieza preliminar de las botellas de vidrio. Estas deben de estar completamente libres de papel, aluminio y cualquier otro material que impida su ruptura. Debido a que las etiquetas no permiten la separación de las partículas lo cual ocasiona que la maquinaria deje de evacuar material de forma eficiente, al mismo tiempo el tamaño de las partículas que se quedan adheridas a la etiqueta disminuye considerablemente lo cual no permite que estas sean aptas para el reciclaje, se puede observar en la Figura No. 109.

Figura 109. Vidrio fracturado con etiquetas



(Fuente: Elaboración propia)

Se utilizó la maquinaria para triturar botellas de vidrio de diferentes espesores, logrando triturar botellas de vidrio de un espesor de hasta 7.5 mm, dicho fragmento de vidrio se puede observar en la Figura No. 110.

Figura 110. Espesor máximo triturado



(Fuente: Elaboración propia)

Para poder determinar qué porcentaje del tamaño de partícula se realiza una clasificación de forma manual, en esta se mide cada fragmento del vidrio y se clasifica en dos grupos. Uno de estos grupos es integrado por las partículas superiores a dos pulgadas y el otro a partículas inferiores a dos pulgadas. En la Figura No. 111 se puede observar el proceso de clasificación.

Figura 111. Clasificación de vidrio



(Fuente: Elaboración propia)

Este posteriormente es colocado en una balanza para determinar cuál es el peso de cada grupo. Esto se puede observar en la Figura No. 112. Se utiliza el mismo proceso en todas las pruebas realizadas.

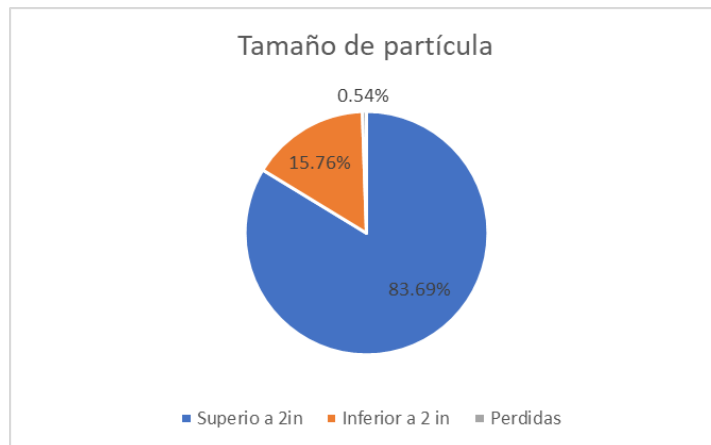
Figura 112. Proceso de pesado



(Fuente: Elaboración propia)

Con base a diversas pruebas efectuadas se determina que el 83.69% de las partículas se obtiene con un tamaño superior a dos pulgadas, un 15.76% tienen un tamaño inferior a 2 pulgadas y un 0.54% se reducen a un tamaño tan pequeño que se pierden durante el proceso de clasificado y triturado. Estos se pueden observar en la Figura No. 113. Las gráficas de las pruebas realizadas se encuentran en el anexo No. 3.

Figura 113. Tamaño de partícula obtenido



(Fuente: Elaboración propia)

5. Pruebas en Universidad del Valle de Guatemala

Las pruebas realizadas en las instalaciones de las Universidad del Valle de Guatemala permitieron una recolección de información, la cual fue utilizadas para generar un manual de usuario y correcciones previas a la entrega de la trituradora de vidrio al centro de acopio.

1. Resultados de prueba de bajo volumen

Las botellas de vidrio se fracturan al instante de introducirla dentro de la trituradora. En ocasiones que la botella se introduce de una forma específica a la trituradora, esta no entra en contacto con ningún martillo lo cual no permite que esta se fracture, esta no abandona la cámara de triturado. Al introducir botellas con un volumen de 300 ml o inferior es posible que estas pasen sin hacer contacto con los matillos y abandone la cámara de triturado.

2. Resultados prueba de volumen de trabajo

Al igual que en los resultados de la prueba de bajo volumen las botellas se fracturan al momento de ingresar a la trituradora. Al introducir un mayor caudal de botellas de vidrio se observó que estas ayudan a evacuar el material de la cámara de triturado. No se presentaron daños al sistema de trituración.

3. Resultados prueba de sobrecarga

Para realizar esta prueba se introducen botellas de diferentes espesores de forma constante, con el fin de generar algún tipo de daño en el sistema. Para ello se introduce un aproximado de 10lb de vidrio lo cual equivale a 40 botellas de vidrio al mismo tiempo, esto género que la salida del material se obstruyera por completo. Aunque la salida del material fue obstruida el vidrio fue triturado con el tamaño de partícula deseado. La maquinaria no presento un funcionamiento anormal o generaba sonidos extraños. Los resultados se pueden observar en la figura No. 114.

Figura 114. Resultado prueba de sobrecarga



(Fuente: Elaboración propia)

4. Resultados prueba de trabajo regular

Para esta prueba se trituró un total de 51.8lb de forma continua con el fin de simular las condiciones de trabajo. El total de las botellas fue triturado en un periodo de catorce minutos realizando pausas para realizar una limpieza de la cámara de triturado. Esto se pudo observar de en la Figura No. 115.

Figura 115. Resultado prueba de trabajo regular



(Fuente: Elaboración propia)

5. Resultado de pruebas de posible mala utilización

Con base en las diversas pruebas realizadas para verificar el comportamiento de la trituradora ante una mala utilización, se determina que introducir cuerpos extraños dentro de la misma no genera atrancamiento del sistema de trituración, estos solo obstruyen la salida de material.

En el caso de que se introduzcan materiales como telas o bolsas plásticas estas tienden a enrollarse en el eje, lo cual impide que las cadenas se estiren completamente y generen la fractura en las botellas de vidrio. Se puede observar en la Figura No. 116.

Figura 116. Resultado de prueba de posible mala utilización



(Fuente: Elaboración propia)

6. Pruebas en centro de acopio

Estas pruebas se realizaron en conjunto con el personal del centro de acopio de la calle Navidad, con el objetivo de capacitar a dicho personal en el uso adecuado de la trituradora de vidrio. Al mismo tiempo se verifica que todos los componentes de la trituradora están funcionando de una forma adecuada. En la Figura No. 117 se puede observar al personal del centro de acopio utilizando la trituradora.

Figura 117. Pruebas en centro de acopio



(Fuente: Elaboración propia)

Pocos minutos después de haber realizado las pruebas, el personal del centro de acopio identifico que pequeños fragmentos de vidrio se dispersaban a los costados lo cual hacía que movilizarse por el centro de acopio fuera peligroso. Por lo que se procedió a colocar trozos de cartón a los costados de la trituradora para evitar dicho inconveniente.

Figura 118. Modificaciones en el centro de acopio.



(Fuente: Elaboración propia)

7. Manual de usuario y mantenimiento

En conjunto con los módulos de estructura, transmisión de potencia y sistema eléctrico se realizó un manual el cual abarca tanto aspectos de seguridad como de mantenimiento. En este se detalla cuáles son los procedimientos por seguir para realizar el mantenimiento del sistema de trituración. Se entregó una copia de este a la municipalidad de Panajachel y otro al centro de acopio de la calle Navidad, adicionalmente se les proporciona una copia digital. Este manual se encuentra disponible en el anexo No. 1.

8. Método de seguimiento

Para realizar una constante evaluación del desempeño de la trituradora se desarrolla un formulario, para este se utiliza la plataforma de Google. Este se llena dos veces por semana para registrar la cantidad de vidrio triturado y las fallas que la trituradora pueda tener en un futuro. Adicionalmente se realiza un manual donde se explica la forma adecuada para llenar el mismo.

C. Carcasa y estructura

1. Manufactura de estructura y carcasa

Tanto la estructura como la carcasa, una vez concluida su manufactura, se pintaron por motivos de presentación. También se colocaron patas ajustables para disminuir el desnivel y las vibraciones presentes. Es importante mencionar que, para permitir un transporte más sencillo de la trituradora, la mesa del reductor y el motor se unió al resto de la estructura por medio de 2 tornillos de 12 mm de diámetro y 70 mm de longitud. En la Figura No. 119 se puede apreciar la trituradora terminada.

Se puede observar que el módulo de transmisión de potencia y el módulo de instalaciones eléctricas se acoplaron a las dimensiones y características de la carcasa y estructura. En el caso del módulo de transmisión de potencia, este se acopló obteniendo un motor y un reductor que pudieran caber en las dimensiones establecidas de la estructura. Para el módulo de instalaciones eléctricas, tuvo que obtener componentes (interruptor de seguridad, selector y cables) que pudieran acoplar a la estructura por cualquier método de sujeción. En cuanto al módulo de trituración, no se pueden observar sus elementos, ya que, al ser partes móviles, todos sus elementos están cubiertos y señalizados con rojo por seguridad del usuario.

Figura 119. Trituradora terminada

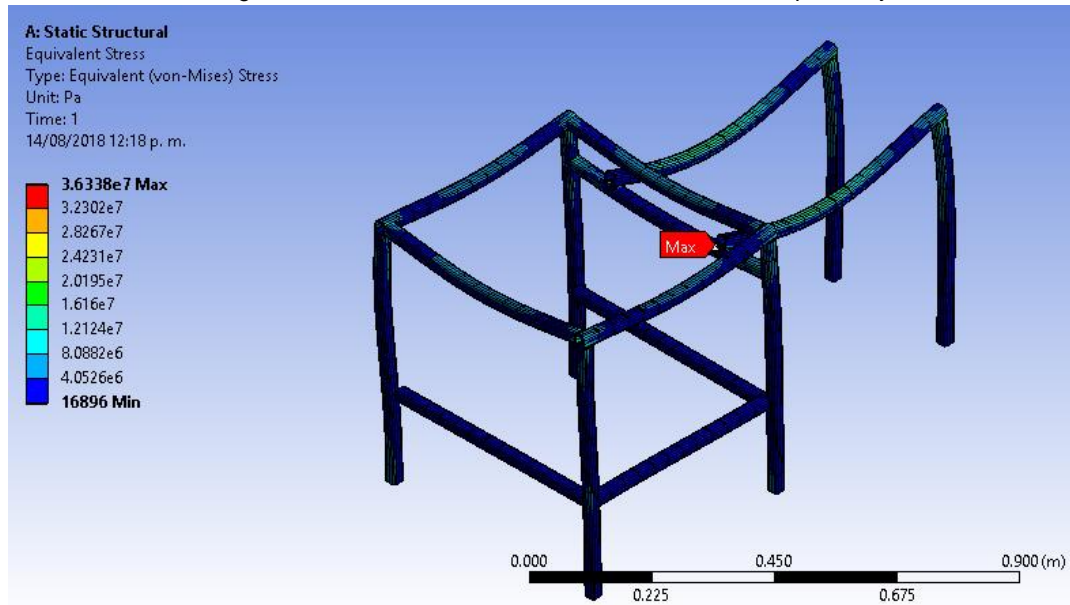


(Fuente: Elaboración propia)

2. Esfuerzos, deformación, frecuencia natural y factor de seguridad

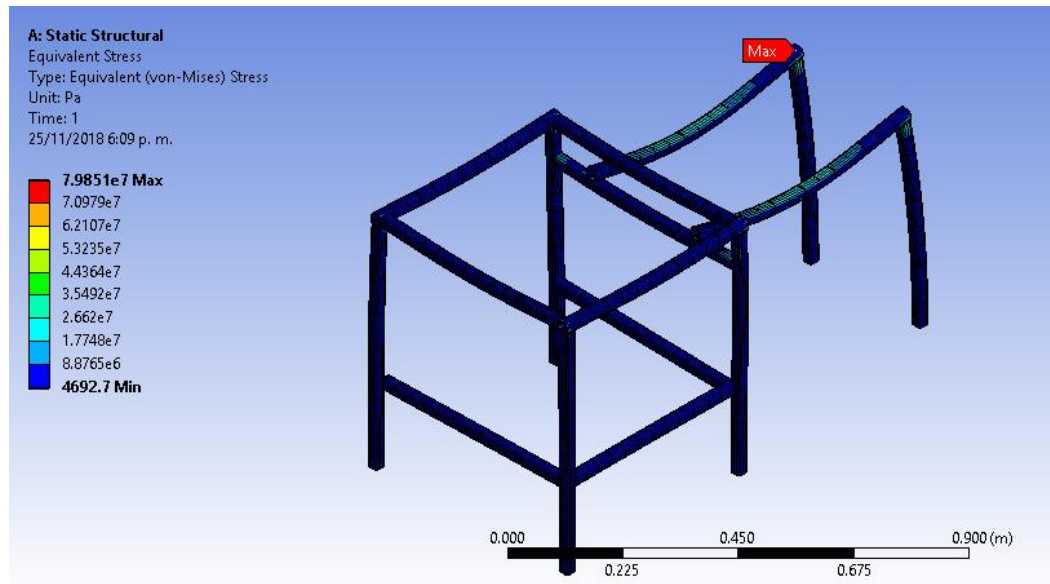
El esfuerzo Von Mises máximo calculado, con 300 lb de fuerza aplicados en los puntos antes mencionados, es de 36.3 MPa para la estructura con soportes fijos y de 79.85 Mpa para la estructura con soportes sin fricción. Estos esfuerzos equivalentes son mucho menores al esfuerzo de fluencia máximo para el acero 1018 cold rolled, el cual es 370 MPa. Estos valores indican que la estructura no fallará por fluencia. Como se puede observar en las figuras No. 120 y 121, la mayor parte de ambas estructuras (las partes azules) sufre esfuerzos menores a 5 MPa, teniendo el valor máximo en la unión de los perfiles de la mesa del motor y la estructura que soporta los tambores superior e inferior en el caso de la estructura con soportes fijos, y en un punto del perfil de la mesa del reductor para el caso de los soportes sin fricción.

Figura 120. Esfuerzos Von Mises en estructura con soportes fijos.



(Fuente: Elaboración propia)

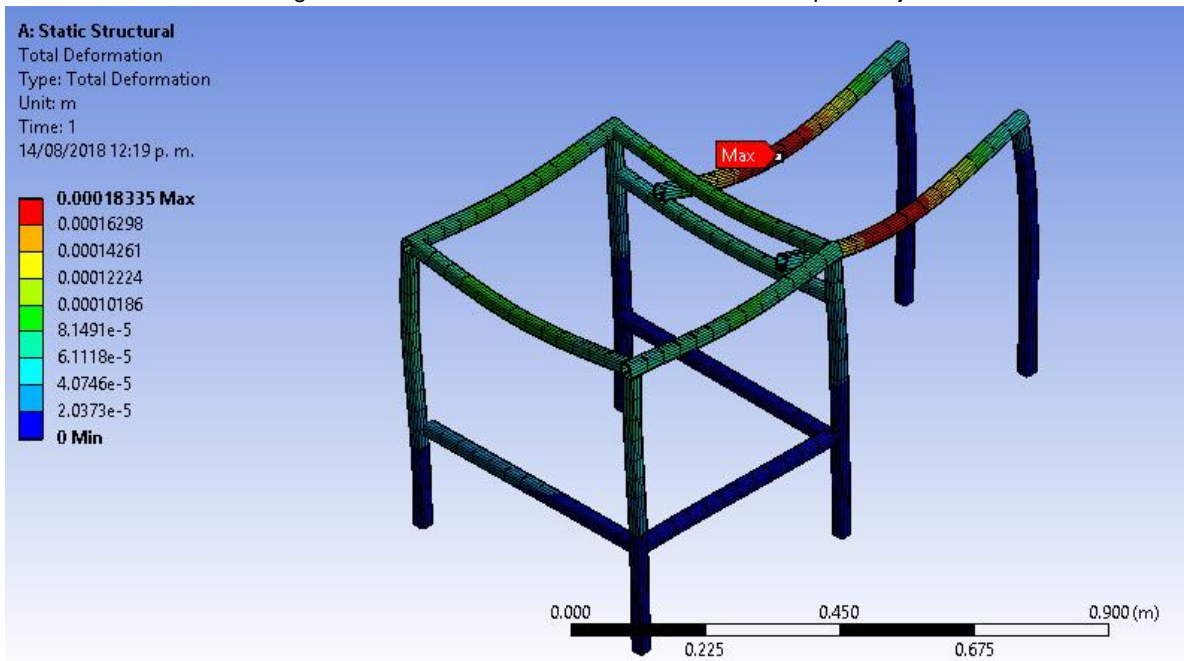
Figura 121. Esfuerzos Von Mises en estructura con soportes sin fricción



(Fuente: Elaboración propia)

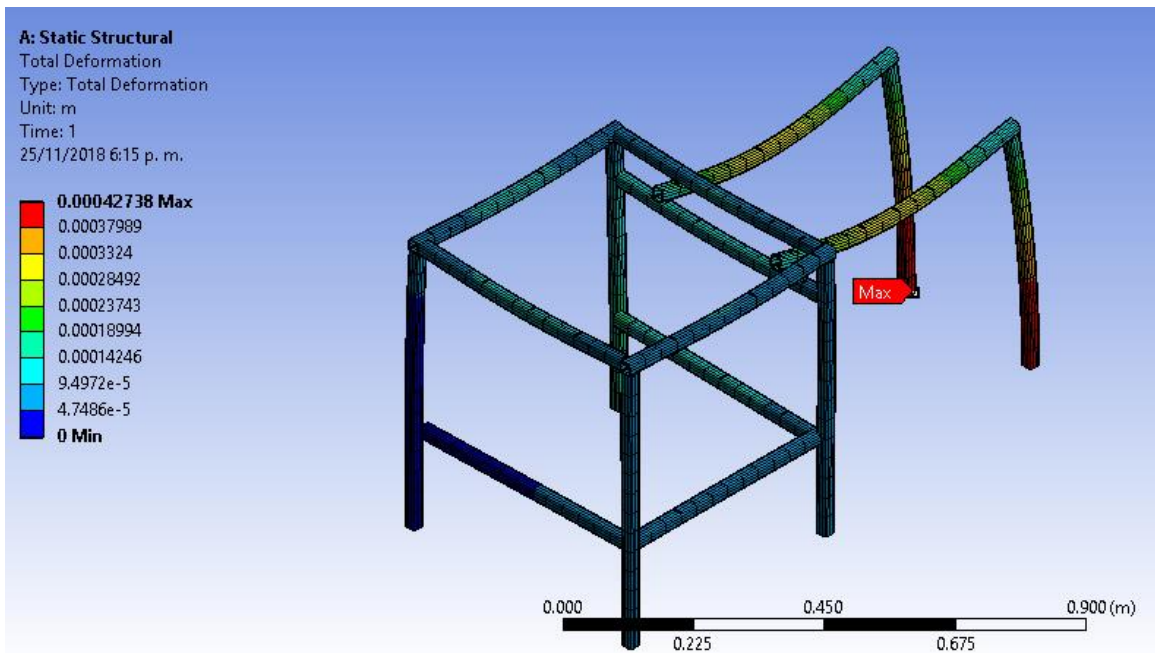
En cuanto a la deformación total causada por las fuerzas estimadas aplicadas sobre la estructura, tiene un valor máximo de 0.183 mm para la estructura con soportes fijos y 0.427mm para los soportes sin fricción. En el caso de los soportes fijos, valor se alcanza cerca del punto medio de los perfiles de soporte de la mesa del motor y reductor, debido a su longitud en buena parte. El valor máximo para los soportes sin fricción, el valor se alcanza en el borde de una de las patas, ya que estas se “abren” al existir carga sobre ellas. Estos valores de deformación indican que la estructura prácticamente no se verá afectada, ya que una deformación menor de 1mm, para las dimensiones de la estructura, no es significativa y se considera no causará desalineamiento de los ejes.

Figura 122. Deformación total en estructura con soportes fijos.



(Fuente: Elaboración propia)

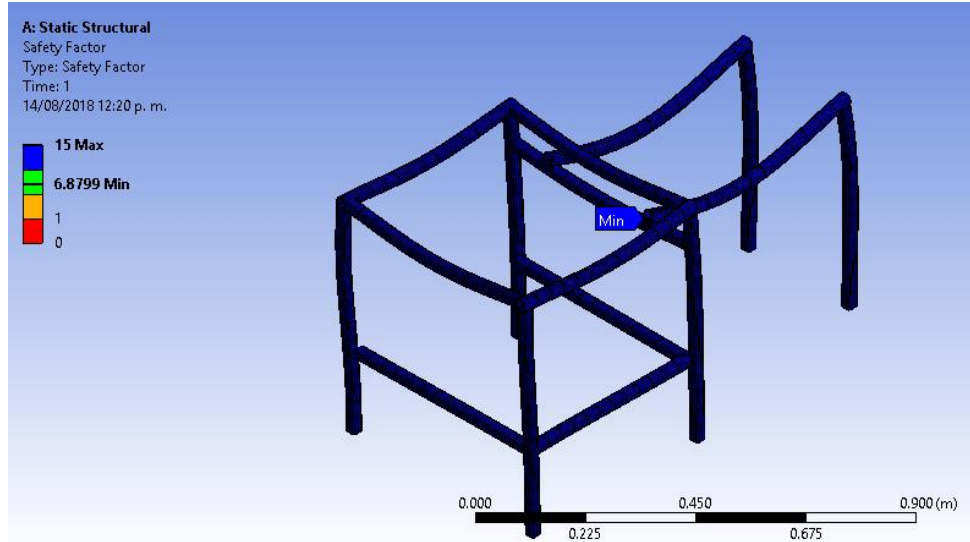
Figura 123. Deformación total en estructura con soportes sin fricción



(Fuente: Elaboración propia)

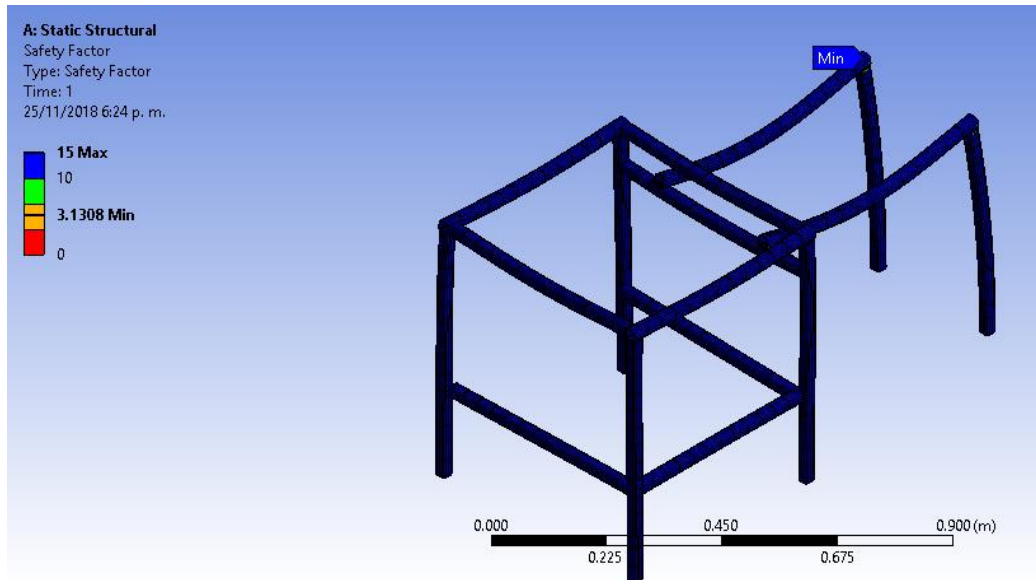
También se obtuvo un factor de seguridad de toda la estructura sometida a las fuerzas ya mencionadas. Como se puede observar en las Figuras No.124 y 125, el factor de seguridad en todas las partes coloreadas con azul de la estructura es muy cercano o mayor a 15. Esto indica que la estructura puede soportar fuerzas y esfuerzos mucho mayores a los que se le está sometiendo, y no se corre riesgo alguno de falla de la estructura por sobrecarga de esta.

Figura 124. Factor de seguridad de estructura con soportes fijos.



(Fuente: Elaboración propia)

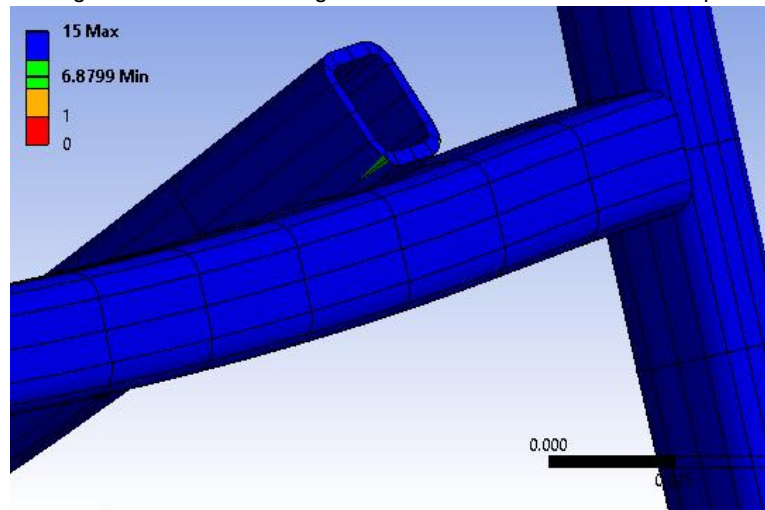
Figura 125. Factor de seguridad de estructura con soportes sin fricción



(Fuente: Elaboración propia)

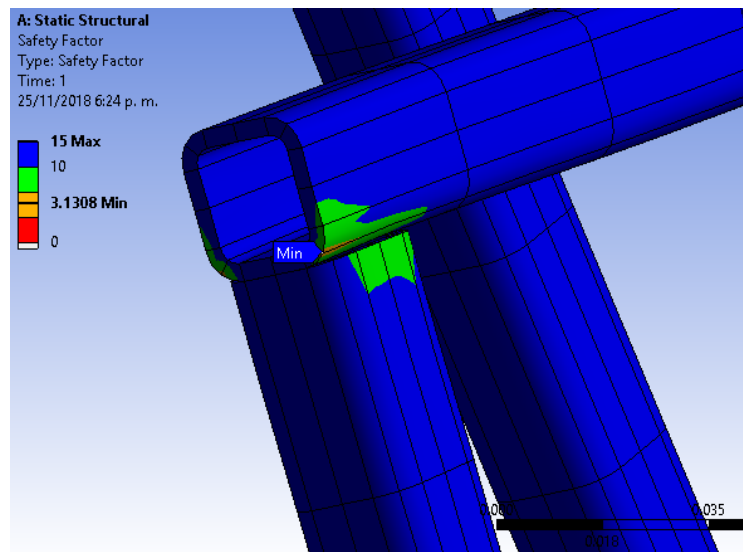
Es importante mencionar, como se puede observar en la Figura No.126, que el factor de seguridad mínimo de la estructura con soportes fijos se encuentra entre la unión entre los perfiles estructurales "X" y "Z" de la mesa del motor. El valor mínimo del factor de seguridad calculado es de 6.9 aproximadamente, es decir, el punto más débil de la estructura es capaz de soportar valores de esfuerzos Von Mises 6.9 veces mayores a los actuales antes de presentar una falla. En cuanto a la estructura con soportes sin fricción, como se puede ver en la Figura No.127, factor de seguridad mínimo es de 3.1 y este se encuentra entre la unión de los perfiles que soportan la mesa del reductor.

Figura 126. Factor de seguridad mínimo de estructura con soportes fijos.



(Fuente: Elaboración propia)

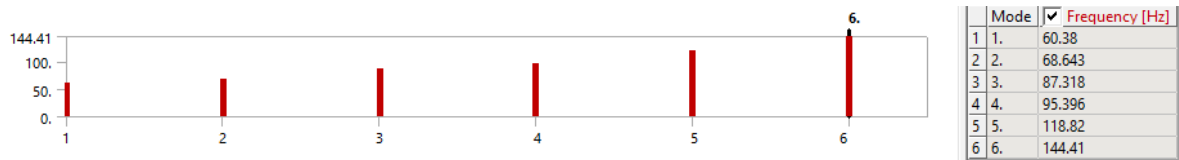
Figura 127. Factor de seguridad mínimo de estructura con soportes sin fricción



(Fuente: Elaboración propia)

Por último, se calculó la frecuencia natural de la estructura para asegurarse esta no estuviese en algún rango cercano a la frecuencia en la que trabaja el motor eléctrico instalado, la cual es de 30 Hz (1800 RPM). Las frecuencias naturales calculadas se pueden observar en la figura No. 128, y se aprecia ninguna de las 6 frecuencias es cercana a la del motor, por lo cual se considera no se corre riesgo que el sistema entre en resonancia.

Figura 128. Frecuencias naturales



(Fuente: Elaboración propia)

3. Análisis de vibraciones

El análisis de vibraciones realizado en los cojinetes de la trituradora indicó principalmente un leve problema con la estructura. Como se puede observar en la Figura No. 129, existe un pico en el armónico 1X, lo cual indica una leve falla con la rigidez de la estructura o soldadura estructural. Es un problema leve ya que un valor de 2.6mm/s de desviación en comparación de las dimensiones que tiene la estructura, es omisible. Si los valores de desviación superaran el 1% de las dimensiones, se correría riesgo de una falla del sistema durante el funcionamiento. Al ser las primeras lecturas realizadas, no se pueden comparar estos datos con datos anteriores, de modo que estas primeras lecturas se consideran como un comportamiento normal.

En caso se desease solucionar dicho problema, existen dos posibles soluciones viables: poner más perfiles de soporte debajo del tambor a manera de dar un mejor soporte a la estructura o hacer una instalación fija de las patas de la trituradora, es decir, anclarla al piso. El no corregir el problema no trae ninguna consecuencia negativa, ya que las vibraciones en un sistema nunca podrán ser eliminadas del todo, solo se pueden disminuir. No existen sistemas u objetos sin vibraciones.

Figura 129. Resultado de análisis de vibraciones.



(Fuente: Elaboración propia)

4. Matriz de riesgo

La matriz de riesgo realizada indica, como se puede ver el Cuadro No. 40, que todas las fallas consideradas a nivel de estructura tienen riesgos menores a un nivel moderado. Se considera que las tres fallas tienen una severidad dañina pero una probabilidad baja, ya que se presentarían únicamente en caso de un golpe en algún punto de la estructura o que esta sea sometida a una alta cara de peso.

Por otra parte, las dos posibles fallas de la carcasa presentan niveles de riesgo más altos. En el caso de una falla en la soldadura de la carcasa, se considera que tiene una severidad dañina y una frecuencia media, lo que resulta en un nivel de riesgo moderado. Se considera una frecuencia mayor en la soldadura de la carcasa en comparación a la de la estructura ya que la lámina utilizada es más delgada que el perfil de la estructura, por lo cual la solidez de la soldadura es menor. Por último, se considera un daño en la lámina como la falla con el mayor riesgo entre todas las evaluadas. Esto se debe a que se puede producir con un golpe considerable o colocando un gran peso sobre esta. Al ser un elemento más delgado que la estructura, los daños se presentarán primero en la lámina, por lo cual se pueden presentar con mayor frecuencia. En cuanto a la severidad al usuario, se considera dañina, ya que puede producir salidas de vidrio en puntos no deseados o puntos filosos debido a la ruptura de la lámina.

Figura 130 Especificaciones generales de Cyclo 6000



Cyclo® Serie 6000
 Reductores y motorreductores cicloidales en 23 tamaños estandarizados.



Potencia:
 0.075 a 175 kW
 (de 1/8 a 235 HP)

Reducción:
 3:1 a 658,503:1

(Sumitomo, 2017)

Las propiedades del reductor de la serie 6000 que se ajustó específicamente al proyecto se pueden observar en el Cuadro No.41, además sus características físicas se pueden observar en la Figura 132 y su mecanismo cicloidal puede observarse en la 131.

Cuadro 41 Propiedades básicas del reductor
 CYCLO 6000

Potencia de diseño	1.54	HP
Torque de diseño de salida	421	lbs x in
Número de pines	36	
Número de dientes	20	
Relación de transmisión	$i = \frac{z_2 - z_1}{z_1}$ Ecuación 1	
Estilo de montura	Montaje de pie	
Orientación del eje	Horizontal	

(Sumitomo, 2017)

Figura 131 Interior del reductor elegido



(Sumitomo, 2017)

Figura 132 Reductor elegido



(Fuente: Elaboración propia)

2. Selección de acoples y chumaceras

Utilizando la matriz de decisión, se eligió para realizar el acople entre motor y reductor un acople con elastómero de mandíbula que puede observarse en la 133. Este tipo de acople se eligió debido a que la velocidad de giro de estos ejes se considera como elevada (1790 RPM), además, debido a la complejidad de la alineación entre los componentes y la importancia de estos, se aprovechó las propiedades de este tipo de acople el cual reduce los efectos de la desalineación para preservar la integridad de estos. Las características del acople seleccionado pueden observarse a continuación:

Cuadro 42 Descripción de acople motor-reductor.		
Descripción	Información	Unidades
Tipo de acople	Mandíbula con elastómero	
Diámetro de entrada	0.750	Pulgadas
Diámetro de salida	0.625	Pulgadas
Material	Hierro Fundido	

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 133 Acople con elastómero de mandíbula que une un reductor y motor-



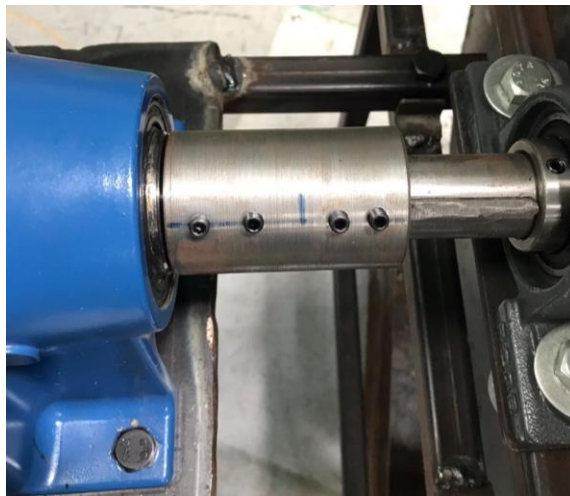
(Fuente: Elaboración propia)

Para la selección del acople que une el reductor con el eje de trituración, utilizando la matriz de decisión se llegó a la conclusión de manufacturar un acople rígido de una pieza, los factores que influyeron en esta decisión son que, gracias a que se diseñó que la altura del eje de trituración coincidiera con la altura del eje del reductor, la desalineación vertical se mitigó, añadido a esto, la velocidad de giro de estos componentes se redujo considerablemente debido a la relación 8 a 1 del reductor girando a aproximadamente 225 RPM. Por último, el factor que afectó con mayor peso esta decisión es el precio de los acoples comerciales, ya que el diámetro de los ejes que se debían acoplar es considerablemente mayor a los diámetros que se acoplan con el acople elastómeros, pues estos son de dimensiones más elevadas que los ejes en el primer acople. Las características de este acople pueden observarse a continuación y el acople manufacturado puede observarse en la Figura 134

Descripción	Información	Unidades
Tipo de acople	Rígido de una pieza	
Diámetro de entrada	1.125	in
Diámetro de salida	1.180	in
Material	Acero 1045	

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 134 Acople sólido de manufactura propia que une reductor y eje de trituración.



(Fuente: Elaboración propia)

Además de la selección de acoples, se seleccionó las chumaceras donde el eje de trituración fue montado, estas fueron seleccionadas tomando en cuenta el diámetro del eje de trituración, las características de estas pueden observarse a continuación:

Descripción	Información	Unidades
Marca	Translink	
Modelo	UCP206	
Carga admisible	55.3	kN
Diámetro interior	30	mm

(Fuente: Elaboración propia)

La vida útil teórica básica de las chumaceras elegidas, tomando en cuenta las características que se observa en el Cuadro 44 resultó de 12,519 horas. Esta vida útil es el tiempo de vida que

se espera de las chumaceras en condiciones ideales. Con el objetivo de realizar una comparación, se realizó un segundo cálculo de vida útil de chumaceras utilizando las ecuaciones 6 y 7 de Nose – Seiko. Con estas se determinó que la vida útil es de aproximadamente 22,148 horas.

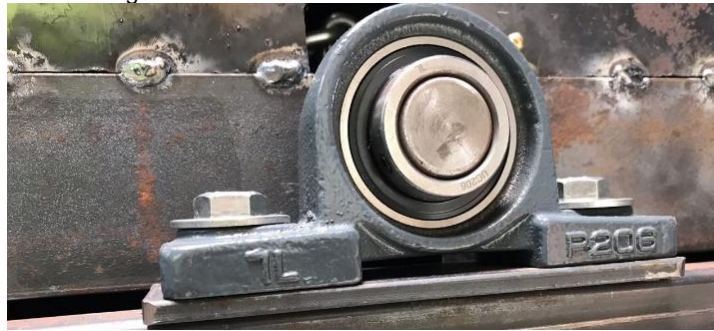
Un resumen de los resultados de los cálculos de vida útil se puede observar a continuación:

Cuadro 45 Resumen de cálculos de vida útil de cojinetes.

Método	SKF	Nose- Seiko
Millones de revoluciones	169	299
Horas	12,519	22,148

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 135 Chumacera Translink P206 instalada.



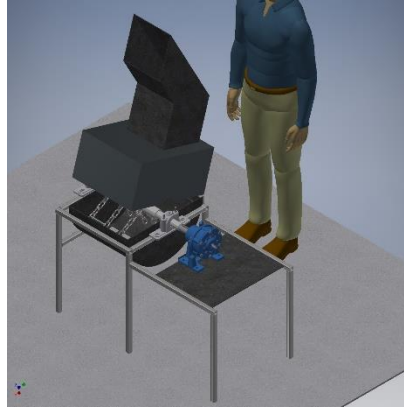
(Fuente: Elaboración propia)

3. Diseño de montaje final

Se realizó el montaje del reductor sobre una plataforma denominada “plataforma base” diseñada por el módulo de estructura, esta de manera que el eje de salida del reductor coincidiera con el eje de trituración. Utilizando este método se consiguió una alineación vertical favorable entre el reductor y el eje de trituración. Para tener una mejor referencia, el diseño en digital se puede observar en la Figura 136.

Con respecto a la alineación horizontal, se realizó el acoplamiento del reductor al eje para posicionar este componente en su posición de operación. Utilizando la posición de operación establecida, se realizó las perforaciones en la plataforma que coincidieron con los agujeros ya maquinados en el pedestal del reductor. Se logró mantener una alineación horizontal precisa realizando el anterior procedimiento, aunque una desventaja es que, debido a este proceso de montaje, la posición del elemento no podía ser modificada posteriormente. Los planos de la ubicación del reductor pueden observarse en el Anexo 6.

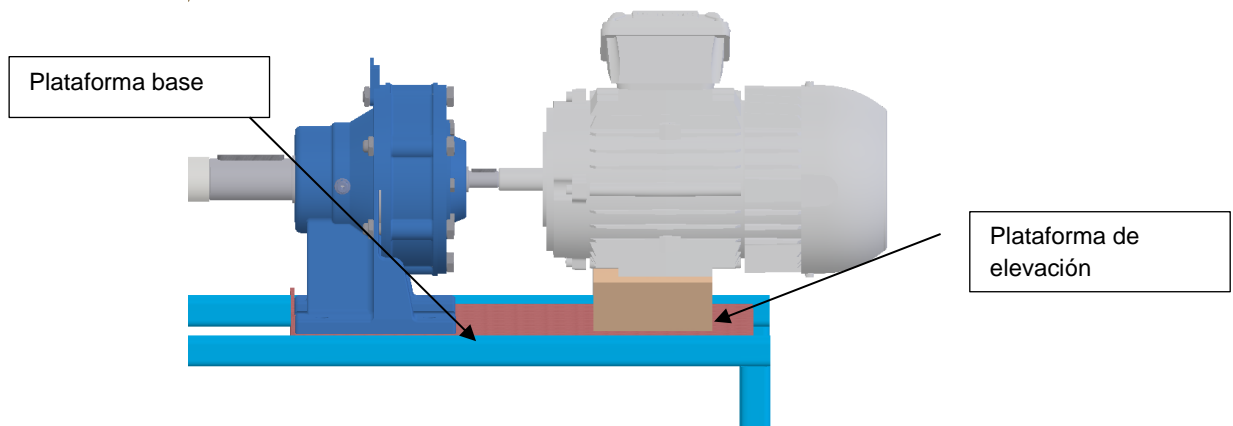
Figura 136 Diseño digital de posición de reductor.



(Fuente: Elaboración propia)

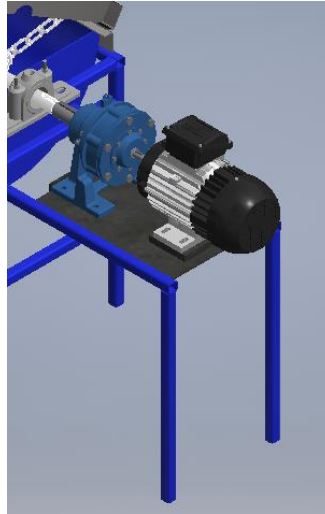
La alineación vertical entre el eje del motor eléctrico y el eje de entrada del reductor, se consiguió añadiendo una plataforma de elevación con un espesor de 8.89 mm debajo del motor. Un inconveniente encontrado fue la acumulación de error que se produjo debido al uso de esta plataforma, esto provocó que la alineación vertical entre el eje del reductor y el eje del motor se considerara como menos exacta y resultó ser una de las principales razones por las que se decidió utilizar un acoplamiento que tolerara desalineación para realizar la unión entre estos dispositivos. La alineación horizontal fue realizada de la misma manera que se realizó la del reductor, posicionando el motor en su posición de operación, se realizó las medidas correspondientes para hacer las perforaciones que coincidieron con las perforaciones del pedestal del motor eléctrico. Debido al espesor de la plataforma base, la plataforma de elevación y el pedestal del motor, para este caso se realizó la rosca en los agujeros maquinados. Referirse al Anexo 6, para observar los planos que indican las medidas utilizadas para la alineación vertical y horizontal entre el reductor y el motor.

Figura 137 Plataformas para la instalación del sistema de transmisión



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 138 Posicionamiento del sistema de transmisión de potencia final.



(Fuente: Elaboración propia)

El diseño final de la tirturadora puede observarse en la Figura 139, las dimensiones del sistema de transmisión de potencia (reductos y motor) permitieron la realización de un diseño compacto y funcional que es capaz de cumplir con los requerimientos del proyecto, ya que ningún aspecto del diseño se vio comprometido por el sistema de transmisión.

Cuadro 46 Dimensiones finales del diseño de transmisión de potencia.

Descripción	Información	Unidades
Alto	11.5	In
Largo	22.5	In
Ancho	7	In
Volumen	1811.25	in ³

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 139 Diseño final de la trituradora



(Fuente: Elaboración propia)

4. Montaje, funcionamiento final y plan de mantenimiento

El montaje del sistema de transmisión se realizó en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, este puede observarse a continuación.

Figura 140 Sistema de transmisión montado.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 141 Sistema de transmisión con acoples instalados.



(Fuente: Elaboración propia)

Luego del montaje del sistema de transmisión y los demás componentes de la trituradora, se procedió a montar los sistemas de protección y seguridad para los usuarios e individuos que se encuentran alrededor del dispositivo. Para cubrir las partes móviles del sistema de transmisión

(ejes de transmisión) se instalaron guardas plásticas para cubrir estos. Se elaboró un rótulo que indica con pictogramas cuales son las partes móviles del dispositivo y se aclara que no se puede manipular bajo ninguna circunstancia cuando el dispositivo está en funcionamiento, además para ayudar a identificar estas partes, en el rótulo se establece que todas las partes estarán debidamente identificadas por el color rojo. La guardas y la señalización puede observarse a continuación (Figura 142 y Figura 143).

Figura 142 Guardas de partes móviles.



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 143 Rótulo de señalización de partes móviles.



(Fuente: Elaboración propia)

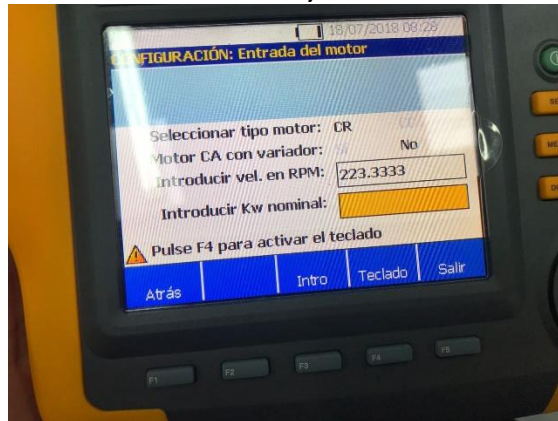
La velocidad teórica final del eje de trituración fue establecida como 225RPM, con la ayuda del sensor de velocidad del dispositivo de medición de vibraciones de la Universidad del Valle de Guatemala, se determinó que la velocidad de giro promedio del eje de trituración resultó ser de 223.33 RPM, esto representa un porcentaje de error del 0.74%.

Para realizar esta prueba, las condiciones de operación fueron las siguientes: La trituradora se encontraba totalmente ensamblada, simulando su estado de operación convencional. No se introdujo ningún tipo de vidrio para ser triturado durante la prueba. Se asentó la trituradora en una superficie plana donde no tenía contacto con ningún otro equipo.

Para realizar la medición, se instaló un segmento de cinta adhesiva reflectiva en el eje de trituración para que el sensor óptico del dispositivo fuera capaz de realizar la medición. La variable a medir fueron las revoluciones por minuto que daba el eje de trituración.

Se considera que esta variación se debe a que por lo general los motores eléctricos poseen variaciones en su velocidad de operación nominal, agregado a esto, la fricción entre componentes, vibraciones y masa del sistema pueden ocasionar variaciones en la velocidad.

Figura 144 Velocidad final obtenida en el eje de trituración medido con tacómetro.



(Fuente: Elaboración propia)

Por último, tomando en cuenta las especificaciones del fabricante, se realizó el plan de mantenimiento del sistema de trituración en el que se establecen los pasos para realizar el mantenimiento de este y además se agrega una serie de posibles fallas y cómo reaccionar ante estas fallas para poder realizar las reparaciones correspondientes. Este plan de mantenimiento puede observarse en el anexo No.1. El plan de mantenimiento se considera como un mantenimiento emergente, esto debido a que los niveles de producción del equipo y el costo de este no justifican el uso de otra técnica de mantenimiento. Esto fue elegido mediante la 38 en la sección de mantenimiento del marco teórico.

VII. CONCLUSIONES

A. Ingeniería de sistemas y sistema eléctrico

El cronograma de trabajo, ver cuadros No.18 y No.19, se trató de cumplir en su totalidad. Las actividades que por diversas razones no se pudieran cumplir en tiempo fueron reprogramadas (observar Cuadro No.19). Debido a lo anterior el cronograma se trabajó de forma dinámica, por lo cual las actividades se podían adelantar o posponer con tal de no modificar la fecha de entrega del proyecto. Como se puede observar en el calendario, la construcción del proyecto se terminó la segunda semana de julio del 2018. Con los cambios realizados en el programa de trabajo se logró terminar el proyecto en la fecha propuesta, pero la entrega se realizó hasta la última semana del mes de agosto, esto fue debido a cuestiones de logística entre la Universidad del Valle de Guatemala y la Municipalidad de Panajachel.

La única actividad que no se logró ejecutar fue la de obtener información de retroalimentación sobre el proyecto, ya que luego de varios intentos para obtener información por parte de la municipalidad de Panajachel, no se logró obtener respuesta.

Se elaboró un manual de 15 páginas, en el cual se describen los pasos para la operación de la máquina, el mantenimiento que se le debe dar a cada módulo y soluciones a posibles fallos, equipo de seguridad necesario y recomendado, también se agregaron imágenes para facilitar la comprensión de las instrucciones. Debido a su importancia a la hora de entregar la trituradora, se dieron dos copias del manual de usuario, una para el centro de acopio y otra para mantener en la municipalidad en caso primero se extravíe o arruine. Además de las copias impresas del manual, también se entregó una copia digital.

El equipo de seguridad necesario para el uso de la trituradora según la norma europea 30-11-1989, establece que se debe utilizar protectores de oído, guantes de seguridad y lentes protectores. Además de este equipo obligatorio, también se recomienda fuertemente el uso de calzado de seguridad debido a la alta posibilidad de encontrar fragmentos de vidrio triturado en el suelo.

El análisis financiero se dividió en dos partes. La primera tuvo como objetivo determinar el costo máximo de la trituradora con tal de recuperar la inversión únicamente con las ganancias extras en 6 meses de operación, lo anterior dio como resultado el costo máximo que podía tener la trituradora, el cual tuvo un valor de Q11 023.56. La segunda parte fue una proyección de ganancias asumiendo que la cantidad de vidrio que ingresaba al centro de acopio permanecería

constante, en esta proyección se determinó que las ganancias se comenzarían a percibir a partir del tercer mes de operación. El costo total de la trituradora tuvo un valor de Q. 5851.45.

El sistema eléctrico es capaz de proveer 1 hp de potencia al reductor, este se alimenta con una fuente de 120 voltios monofásica y cuenta con un interruptor de tipo seleccionador el cual mostró ser el sistema más intuitivo y seguro para el uso de la trituradora.

B. Trituración

El 83.69% de las partículas obtenidas del proceso de trituración poseen un tamaño de partículas superior a 2 pulgadas. Lo cual es un 8.69% superior al valor deseado que es de 75%.

La trituradora es capaz de triturar un flujo másico de 222 lb/h, lo cual es un 159.5 lb/h adicional al valor mínimo para que el proyecto sea rentable.

Con base a la matriz de decisión del Cuadro No. 5 se determinó que el sistema de trituración a utilizar debe ser un molino de martillos, utilizando cadenas de 5/16 de pulgadas como martillos.

Se desarrolló una manual de usuario el cual abarca mantenimiento, uso de la trituradora de vidrio y solución de problemas posibles. Este fue proporcionado al centro de acopio de la calle Navidad y a la municipalidad de Panajachel

C. Carcasa y estructura

El material utilizado para la carcasa y estructura fue acero 1018, ya que es capaz de resistir los esfuerzos presentes y se encuentra en el medio local.

Todas las partes móviles de la trituradora fueron cubiertas para asegurar la seguridad del usuario.

Basado en los resultados de la matriz de riesgos, no existe ningún riesgo intolerable en los elementos de la carcasa y estructura,

Se elaboró un manual de mantenimiento para las partes que componen la carcasa y la estructura de la trituradora.

Las dimensiones de la carcasa y estructura de la trituradora son de 1.51m de altura, 1.03m de largo y 0.53m de ancho.

Se analizaron vibraciones en los cojinetes de la trituradora, obteniendo como resultado una lectura de una falla estructural leve con un pico en el armónico 1X, con valor de 2.6mm/s; no se pudo realizar mediciones directamente en la estructura debido a las limitaciones del equipo utilizado.

Según los análisis realizados con *Ansys workbench 18.2*, la deformación máxima en la estructura es de 0.183mm, lo cual es aceptable, ya que es un valor despreciable en comparación a las dimensiones de esta. Se considera la estructura tiene una rigidez aceptable.

Comparando el valor de esfuerzo de fluencia del acero 1018, el cual es de 370 MPa, contra las cargas y esfuerzos a los que será sometida, los cuales tienen un valor máximo de 79MPa, se concluye la estructura será capaz de soportar los esfuerzos.

D. Transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia seleccionado fue un reductor cicloidal con reducción 8 a 1 y de modelo ciclo 6000 marca Sumitomo comprado en Guatemala.

Tomando en cuenta que los esfuerzos axiales son despreciables, los rodamientos seleccionados fueron rodamientos de bolas, marca translink, modelo P206.

El sistema de transmisión de potencia seleccionado posee lubricación con grasa Unirex N2 el cual garantiza una lubricación de por vida y es el lubricante que se debe de utilizar siempre.

La trituradora no necesita otro método de lubricación más que la grasa que el reductor utiliza para trabajar.

Se obtuvo una velocidad real de 223.33 RPM en el eje de trituración.

VIII. RECOMENDACIONES

En cuanto a futuras modificaciones o proyectos que puedan complementar el presente, se recomienda encontrar una forma de eliminar el uso de costales para movilizar el vidrio, ya que estos no son de ninguna utilidad para VIGUA (Vidriera Guatemalteca). Para este proyecto se sugiere el diseño de una especie de toba que sirva como contenedor mientras se llega a la cantidad necesaria de vidrio triturado para su venta. Este contenedor debe descargar el material directamente sobre pick up que transporta el vidrio a la ciudad de Guatemala.

Ya que únicamente se tienen proyecciones de las ganancias proporcionadas por el uso de la trituradora, es importante realizar un análisis financiero en el cual se comparen los ingresos a los meses previos a la trituradora y posteriores a esta. Con el análisis anterior se podrá asegurar el éxito de más proyectos como este en diferentes centros de acopio, ya sea en los alrededores del lago de Atitlán o en otros sectores del país.

Entre el grupo de estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala y el personal de la municipalidad de Panajachel se realizó un intercambio de información de contacto. Gracias a la información anterior se recomienda seguir cultivando esta relación para desarrollar más proyectos enfocados en el cuidado del lago y en fomentar una cultura de reciclaje en nuestro país.

Se recomienda mejorar el tamiz de cribado de material, debido a que este al triturar grandes volúmenes en un corto tiempo, este tiende a saturarse e impedir la salida de material de la cámara de triturado.

Se recomienda realizar pruebas de triturado con martillos sólidos, con el fin de determinar el tamaño de partícula obtenido y el flujo de másico de vidrio que la trituradora puede proporcionar con esta modificación.

Se recomienda diseñar una herramienta para retirar las etiquetas de papel y aluminio de las botellas, con el fin de agilizar el proceso de triturado y facilitar la salida de material de la trituradora.

IX. REFERENCIAS

- Austin. (1997). Size reduction of solids crushing and grinding equipment.
- Bervina. (2018). *Bervina*. Obtenido de Bervina acoplamientos: <https://bervina.com/acoplamientos-de-mandibula/>
- Budunas, Richard; Nisbett, Keith. 2008. *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. 8ª ed. Mexico. The Mc Grarw Hill. 739 pásgs.
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas 5ª ed*. McGraw Hill Mexico.
- Cházaro Carlos, Álvarez Octavio. (2011). *El acero hoy*. Gerdau Corsa.
- Comisión Europea. Estándares Europeos. <https://ec.europa.eu> [13 de febrero de 2018].
- CubeSat UVG. DOC-PWR-024 Solar Array Test Procedures [May 30, 2017]
- DINAMICA. (2010). *Dinámica Distribuciones SA*. Obtenido de DINAMICA sitio web: <http://www.dinamica.net/es/productos>
- Exxonmobil. (2017). *UNIREX N Series*. Obtenido de Mobil: <https://www.mobil.com/Spanish-MX/Grease/pds/GLXXUnirex-N-Series>
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric Machinery*.
- Gallardo Aguilar, Emilio. 2009. *Selección de pantallas faciales y gafas de protección*. España. 16 págs.
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión intehral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Gebara, C., & Spencer, D. (2016). *Verification and Validation Methods for the Prox-1 Mission*.
- González, A. P. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Universitat Jaume.
- Grupo SKF. (2015). *Rodamientos PUB BU/P1 10000/2 ES* . SKF.
- Huang, H., DeBruzzi, M. S., & Riso, T. A. (1995). *U.S. Patent No. 5,382,859*. Washington, DC: U.S.Patent and Trademark Office.
- Hustle Ray, Cain Jack. (2000). *Structural mechanics*. Palgrave.
- Instituto Nacional de estadística Guatemala (INE). *Atlas de Residuos*. 2016

Instituto Nacional de estadística Guatemala (INE). *Inflación económica mensual del año 2017*. 2017

Instituto Nacional de Seguridad, salud y bienestar en el trabajo (INSHT). *Personal Protective equipment*. (1989).

Jeffus Larry. (2009). *Soldadura, principios y aplicaciones*. Madrid: Paraninfo.

Kelly, Errol; Spottiswood, David. 1990. *Introducción al procesamiento de minerales*. 1ª ed. México: Limusa. 528 págs.

khkgears. (2015). *khk stock gears*. Obtenido de Helical Gears: https://khkgears.net/new/helical_gears.htm

Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. J., & Biemer, S. M. (2011). *Ingeniería de Sistemas principles and practice* (Vol. 83). John Wiley & Sons.

Kuznetsov, M., & Yudkevich, E. (1967). *Fundamentos de electrotecnia*. Mir.

Larson, W. J., & Wertz, J. R. (1999). Spacecraft Subsystems. *Space Mission Analysis and Design*, 353-518.

Mata, Alejandro; Gálvez, Carlos. 2014. *Conocimiento del proceso de reciclaje de envases de vidrio; propuestas de mejora del proceso actual y análisis costo-beneficio de la implantación del mismo en la planta Vidriera Guadalajara*. México: Guadalajara. 15 págs.

Mills Simon R W. (2010). *Vibration monitoring and analysis handbook*. The British institute of non-destructive testing.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson education.

Navarro, J. M. F. (2003). *El vidrio* (Vol. 6). Editorial CSIC-CSIC Press.

Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria*. México: Mc GrawHill.

Palma Carlos. (2011). *¿Cómo construir una matriz de riesgo operativo?* Revista de Ciencias Económicas.

Pro-Atitlán. *Diagnóstico sobre la gestión de desechos sólidos*. 2015.

Reyes Melo, M. É., & Hinojosa Rivera, M. (2000). Estructura de sólidos amorfos. *Ingenierías*, 3(9), 7-14.

Royo Jesús A., Gloria Rabanaque, Fernando Torres. (2010). *Análisis de vibraciones e interpretación de datos*. DIDYF Universidad de Zaragoza.

Sánchez Marín, F. T., & Pérez González, A. (2006). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Castellón de la Plana, Valencia: Universitat Jaume.

Sumitomo. (12 de abril de 2017). *Reductores cicloidales*. Obtenido de Sumitomodrive sitio web: <https://www.sumitomodrive.com>

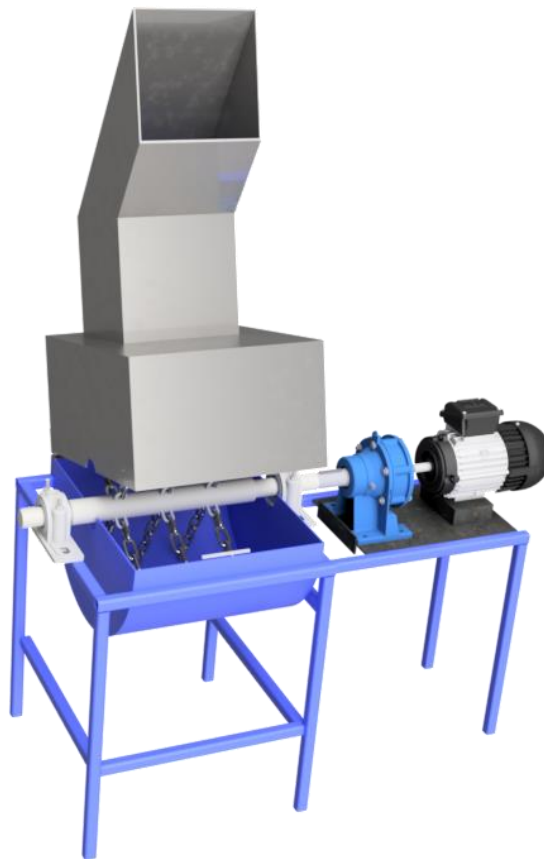
Whellams, G. E. (1983). *U.S. Patent No. 4,393,344*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

X. ANEXOS

A. Anexo 1 – Manual de usuario

Manual de Usuario

Trituradora de Vidrio



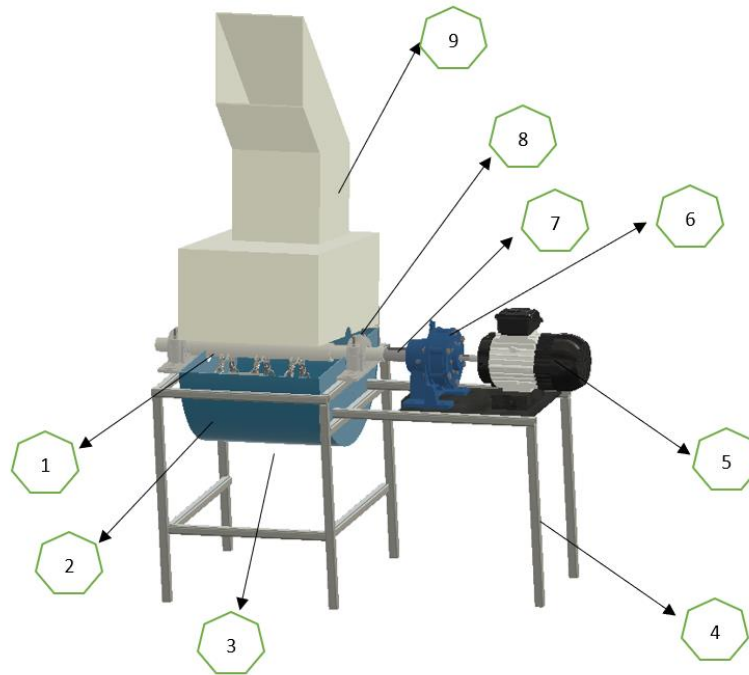
Universidad Del Valle de Guatemala

Municipalidad de Panajachel

2018

Introducción

Este manual es para una trituradora de botellas de vidrio elaborada en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para la Municipalidad de Panajachel. La trituradora está diseñada para **triturar un máximo de 15 botellas de vidrio por minuto**. Todas las normas y procedimientos detallados en el Manual deben seguirse de manera exacta para garantizar un buen funcionamiento y la seguridad del usuario.



Número	Parte
1	Eje de trituración
2	Tambor inferior
3	Salida de material triturado
4	Estructura
5	Motor
6	Reductor
7	Acople reductor-eje de trituración.
8	Chumacera
9	Carcasa superior y entrada de material

Normas de Seguridad



1. La máquina solo deberá ser utilizada según lo establece este manual.
2. La cubierta superior solo debe levantarse una vez las cadenas de trituración estén totalmente detenidas y la máquina se encuentre apagada.
3. El mantenimiento, ajuste y limpieza de la trituradora debe realizarse únicamente cuando se encuentre apagada la máquina y desconectado el motor de la corriente eléctrica para evitar encendidos accidentales y serios daños a personas.
4. Previo a ingresar material a la trituradora, elimine cualquier material extraño dentro de las botellas de vidrio.



5. La trituradora solo debe ser utilizada por personas mayores de 18 años y con la capacidad de lectura.
6. Además de los protectores auditivos y gafas, es obligatorio el uso de guantes de cuero y pantalón de lona. Se recomienda fuertemente el uso de calzado de seguridad y gabardina de cuero.
7. Antes de comenzar a utilizar la trituradora, asegúrese que está firme y estable sobre el suelo.



8. Por razones de seguridad, está prohibido que una persona se encuentre en el área de salida de material durante el funcionamiento de la máquina.
9. No introduzca las manos en la zona de alimentación hasta que el sistema de trituración esté parado y el motor se encuentre apagado.



10. No introducir a la trituradora botellas con un diámetro mayor a 18 cm.
11. Cada día, antes de utilizar la trituradora es necesario hacer una comprobación funcional del motor y del sistema de trituración.



12. Previo a utilizar la trituradora, se recomienda fuertemente que el operador haya tenido una capacitación previa.
13. Se recomienda fuertemente la presencia de una persona cerca del interruptor de apagado en caso de una emergencia mientras se esté utilizando la trituradora.
14. Ya que existe la posibilidad de partículas voladizas, es obligatorio el uso de los protectores corporales cuando se esté utilizando la trituradora.

Pictogramas

Utilice gafas protectoras.

Utilice protectores auditivos.



Utilice guantes protectores de cuero.



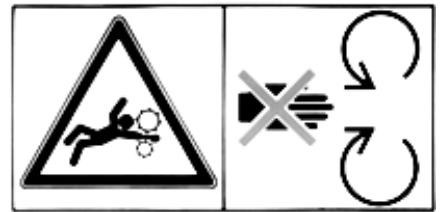
Se recomienda el uso de calzado de seguridad con punta de acero.



No manipule ninguna de las partes móviles hasta que esta se encuentre totalmente detenida.



No se acerque a las partes móviles de la trituradora cuando esta se encuentra conectada al tomacorriente.



Lea el manual de instrucciones antes de utilizar la máquina.



Instrucciones de uso

1. Asegurarse de lavar las botellas para remover fácilmente las etiquetas.
2. Colocarse los guantes y lentes de seguridad.
3. Asegurarse que la trituradora se encuentra desconectada del tomacorrientes.
4. Realizar una inspección dentro de la carcasa para limpiar cualquier material triturado restante dentro de la misma.
5. Asegurarse que la parte superior de la carcasa se encuentra en contacto con la parte inferior de la misma.
6. Colocar el contenedor en la parte inferior de la carcasa (en la salida del material triturado).
7. Colocar el interruptor (switch) en **apagado**.



Figura No.1. Interruptor (switch) en posición de apagado.

8. Conectar al tomacorriente la extensión de la trituradora.
9. Colocarse los tapones de oído.
10. Colocar el interruptor en encendido.
11. No ingresar material durante 20 segundos, en caso exista una anomalía en el funcionamiento, apagar la trituradora y consultar la sección de solución de problemas.
12. De no existir ninguna anomalía se procede a ingresar el material por la parte superior de la carcasa. **Las botellas deben estar húmedas previo a ingresarlas.**



Figura No.2. Manera correcta de ingresar el material.

13. Al haber terminado de ingresar el material esperar 20 segundos y colocar el interruptor en **apagado**.
14. Quitarse los tapones de oído.
15. Desconectar la trituradora del tomacorriente.
16. Extraer el contenedor con el material triturado en la parte inferior de la carcasa.
17. Abrir la carcasa y realizar una pequeña limpieza interna para eliminar cualquier material triturado restante dentro de la misma. **Colocar pin de seguridad en interior de carcasa, el cual es de color verde.**

Nota: La trituradora no puede utilizarse durante más de 2 hora continuas, al cumplirse este tiempo se debe apagar por al menos 20 minutos antes de volverse a utilizar.

Normas de seguridad e inspección rutinaria

Estructura y carcasa

Normas de seguridad para carcasa y estructura.

1. Bajo ninguna circunstancia se debe colocar objetos sobre la parte superior de la carcasa de la trituradora.
2. No se debe alterar la geometría del tambor o la toma de material de la trituradora, ya que las dimensiones existentes toman en cuenta el funcionamiento óptimo de la máquina y la seguridad del usuario.
3. En caso exista una deformación en el tambor, se debe apagar el motor inmediatamente y desconectar de la corriente para evitar mayores daños y proceder a la reparación.
4. En ningún momento se debe exceder de 800 lbs la carga sobre la estructura de la trituradora, de lo contrario se estaría comprometiendo la seguridad del operador.
5. En caso se observe un comportamiento anormal de la trituradora, como grandes vibraciones, se debe detener el funcionamiento y consultar el manual de usuario en la sección de solución de problemas.

Sistema de transmisión de potencia

Inspección rutinaria de moto-reductor

1. Asegurarse que la trituradora se encuentra desconectada del tomacorriente.
2. Revisar que el motor y el reductor estén debidamente sujetos antes de comenzar a operar. Esta inspección incluye los tornillos que sujetan al motor y al reductor a la mesa.
3. Revisar que el sistema no se encuentre atascado antes de comenzar el funcionamiento del mismo. Para esto al tener desconectada la trituradora de la fuente eléctrica, se debe abrir la carcasa para eliminar cualquier material que esté obstruyendo la rotación.
4. Revisar que el motor, reductor y el eje de trituración están debidamente acoplados entre ellos. (Verificar que los tornillos castigadores se encuentren bien sujetos)
5. Escuchar si se oyen golpeteos mientras funciona el sistema sin material de trituración, de escucharse se debe consultar la sección de solución de problemas.
6. Revisar que el motor, reductor y eje de trituración se encuentren alineados, esto se puede realizar con una pequeña inspección visual.

Sistema de trituración

Normas de uso y seguridad sistema de trituración

1. La trituradora puede triturar únicamente objetos de vidrio.
2. No introducir ningún otro material que no sea vidrio dentro de la trituradora.
3. No introducir más de cuatro botellas al mismo tiempo.
4. No introducir partes del cuerpo humano dentro de la trituradora.
5. Retirar etiquetas plásticas y de papel previo a ingresarlas las botellas a la trituradora.
6. No ingresar botellas más grandes del diámetro establecido (18 cm).
7. Los elementos de sujeción deben estar firmemente sujetos.

Inspección previa a uso del sistema de trituración

Descripción	Estado	
	Aceptable	Inaceptable
La carcasa superior está firmemente sujeta. De ser inaceptable verifique el apriete en las tuercas de las bisagras.		
Verificar que los elementos de sujeción estén debidamente apretados. Verificar mantenimiento en página 10.		
Las cadenas se encuentran firmemente sujetas. Verificar mantenimiento en página 10.		
Verificar que no existan cuerpos extraños dentro de la trituradora. De existir realizar una limpieza en el parte interior previo a su uso.		
Verificar la presencia de un contenedor en la parte inferior de la trituradora.		
Utilizar el equipo de seguridad establecido en este manual. Verificar pictogramas en página 3.		

Mantenimiento

Mantenimiento del sistema de transmisión y potencia

1. El reductor se encuentra lubricado de fábrica con grasa estándar ESSO Unirex N2 para lubricación permanente.
2. Se puede realizar **un cambio de grasa** al cabo de **5 años de uso**.
3. La grasa recomendada es la que trae el reductor de fábrica (ESSO Unirex N2).
4. Indicaciones de cambio de grasa:
El cambio de grasa se debe de realizar primero desenroscando los tornillos de control de lubricación de grasa (observar Figura No.3) y luego aplicar la grasa a

través del engrasador situado en la brida del lado de salida como se muestra en la figura. **EL REENGRASE SE DEBE DE REALIZAR MIENTRAS EL REDUCTOR ESTÁ EN FUNCIONAMIENTO.**

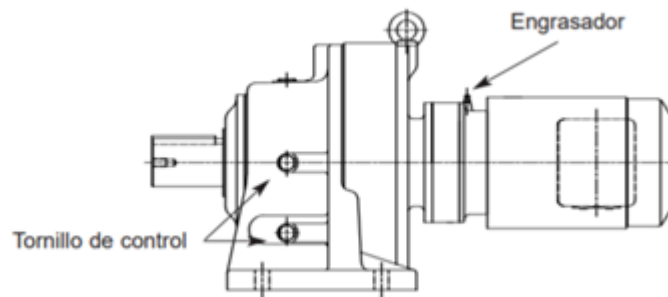


Figura No.3. Esquema del reductor



Figura No.4. Figura del reductor y tornillos de control señalizado.

Posibles fallas del reductor y cómo reaccionar

Anomalías de funcionamiento	Posible causa	Posible solución
Ruidos inusuales constantes	1. Ruido de rodadura 2. Ruido de golpeteo	Inspeccionar rodamiento y lubricante de estos
Ruidos inusuales irregulares	Cuerpos extraños en la grasa	Comprobar el estado de la grasa.

Mantenimiento y verificación del sistema eléctrico

El mantenimiento del sistema eléctrico se debe realizar únicamente cuando la trituradora se encuentra desconectada del tomacorriente

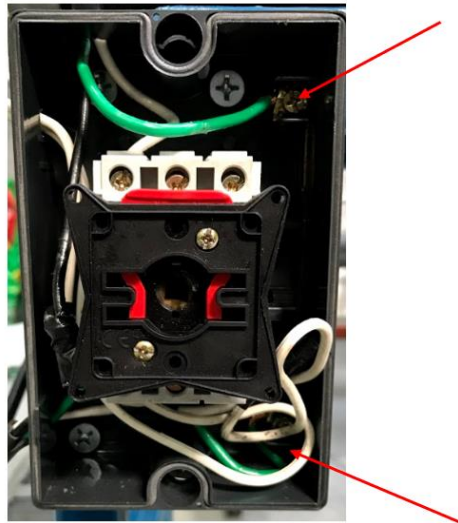


Figura No.5. Interior de interruptor de encendido y apagado.

En el interruptor se debe verificar lo siguiente:

1. El conductor verde proveniente del tomacorriente debe estar conectado el tornillo en la parte inferior derecha de la caja. (Flecha roja en parte inferior de Figura No.5)
2. Conductor verde en tornillo superior (flecha roja en parte superior de Figura No.5) debe estar conectado directamente al motor en su tornillo de tierra (tornillo de color verde).
3. El conductor negro debe estar conectado directamente al motor, su conexión en el motor se muestra en la Figura No.8.
4. El conductor blanco debe estar conectado al interruptor de contacto (Figura No.6)(Tornillo de parte izquierda en Figura No.7). Del interruptor de contacto el conductor blanco debe retornar al motor (conductor de tornillo derecho en Figura No.7 hacia el motor) y conectarse según la Figura No.8.



Figura No.6. Interruptor de contacto.



Figura No.7. Interior de interruptor de contacto.

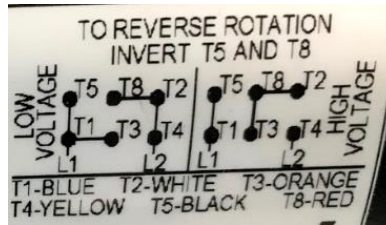


Figura No.8. Diagrama de conexión del motor.

El conductor negro debe estar conectado a los cables negro, azul y naranja. El conductor blanco debe estar conectado a los cables rojo, blanco y amarillo. (sección de bajo voltaje)

Mantenimiento del sistema de trituración

El mantenimiento de este sistema debe realizarse en dado caso de que una pieza falle.

La pieza que está más propensa a falla son los tornillos y las cadenas. Para realizar un desmontaje completo de este sistema se requieren de las siguientes herramientas.

- Llave allen de 5/16 de pulgadas



Figura No.9. Llave para apretar pernos de cadena.

- Llave de hexagonal 14mm



Figura No.10. Llave hexagonal para apretar cadenas.

Para realizar el reemplazo de los tornillos se debe desconectar la trituradora de la fuente de energía. Con una mano se debe de sujetar la llave allen y con la otra la llave corona y liberar la tuerca que sujeta la arandela de presión y la cadena. la técnica se puede observar en la siguiente Figura.

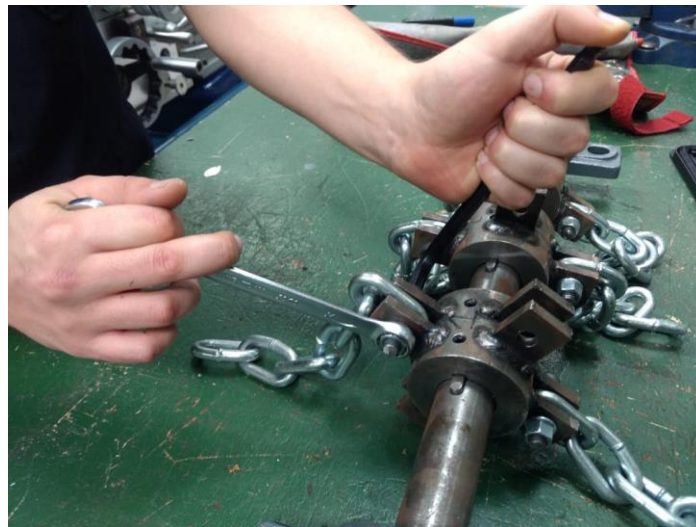


Figura No.11. Manera correcta de apretar pernos de cadena.

Los materiales empleados para el reemplazo de tornillo están listados a continuación. Se recomienda llevar la muestra del material a reemplazar en el momento de la compra.

- Tornillos Allen de $\frac{1}{4}$ in
- Tuerca de $\frac{1}{4}$ in
- Arandela de presión
- Tornillo castigador $\frac{1}{4}$ in
- Cadena de $\frac{5}{16}$ de diámetro

Solución de problemas

Localización de la anomalía	Anomalías de funcionamiento	Posible causa	Posible solución
Reductor	Inusuales ruidos constantes	- Ruido de rodadura - Ruido de golpeteo	Inspeccionar rodamiento y lubricante de estos
Reductor	Ruidos inusuales irregulares	Cuerpos extraños en la grasa	Comprobar el estado de la grasa.
Carcasa	Ruidos de golpeo de las cadenas en la lámina.	- Posible ruptura de un punto de soldadura. - Doble en una lámina	Comprobar todas las láminas de la carcasa se encuentren en buen estado, de lo contrario, contactar al herrero local para la reparación/ sustitución de la misma.
Carcasa	Ruido de fricción	Desalineación de la parte superior de la carcasa.	Desmontar la parte superior de la carcasa y asegurarse quede bien alineada respecto a la parte inferior y al eje.
Estructura	Vibraciones considerables	Superficie donde se encuentra la trituradora es inclinada o dispareja.	Ajustar la parte inferior de las patas para asegurarse la trituradora se encuentre lo más estable posible. Corroborar con un nivel.
Sistema eléctrico	No enciende la trituradora	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se encuentra abierta la parte superior de la carcasa. 2. Se ha desconectado un cable en el interruptor de encendido. 3. Se ha desconectado un cable del motor. 4. No se encuentra conectada al tomacorriente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cerrar la parte superior de la carcasa para que el interruptor de contacto cierre el circuito. 2. Abrir la tapadera del interruptor de encendido y verificar que todos los cables se encuentren bien sujetos. 3. Remover la tapadera posterior del motor y verificar que los cables se encuentren en contacto. <p>(Páginas 11 y 12)</p>
Sistema de trituración	Ruidos extraños	Una cadena mal ajustada al eje	Verificar el apriete de la cadena

B. Anexo 2. Carta de culminación

Guatemala, 2 de agosto del 2018

Autoridades de la oficina municipal de Panajachel, Sololá

Presente

Por medio de la presente, los estudiantes de la Universidad Del Valle de Guatemala, Juan Fernando Uribe Morán, José Fernando Velásquez Mansilla, José Rodrigo Chavarría Martínez y José Andrés Ruiz Fajardo, hacen entrega de Trituradora para el centro de acopio de Calle Navidad, Panajachel, Sololá a Enio Uizar Bates.

Hacemos constar que la trituradora que se entrega incluye lo siguiente:

- Una trituradora de vidrio.
 - o Motor de un 1hp, marca WEG con número de serie 10021781.
 - o Reductor 1:8, marca SUMITOMO con número de serie PA020079.
- Un manual de usuario con un total de 15 páginas.
- Equipo de seguridad necesario para el uso de la máquina
 - o 2 pares de lentes de protección.
 - o 2 pares de guantes de tipo industrial.
 - o 2 pares de tapones de oído.
- Una capacitación para el uso correcto de la trituradora.
- La totalidad de las facturas por el costo de la máquina y el equipo de seguridad. Con un monto total de Q5851.45. (visualizar hoja adjunta)

A partir de este momento la Universidad del Valle de Guatemala y sus estudiantes aquí descritos no se hacen responsables de su mal uso, daños o averías a personas, equipo o infraestructura, mantenimientos, extravió o cualquier situación con la que se relacione los bienes entregados. La municipalidad de Panajachel acepta los términos económicos de la trituradora y da por finalizado el proyecto, liquidadas las cuentas y responsabilidades financieras.

Datos de los usuarios que recibieron la capacitación:

Nombre: Graciela Salpor

Nombre: Marganta Salpor

Firma: [Firma]

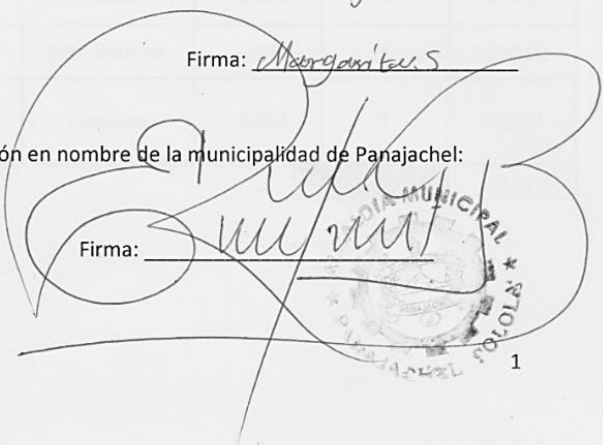
Firma: [Firma]

Datos de persona responsable de la recepción en nombre de la municipalidad de Panajachel:

Nombre: Enio Uizar Bates

Firma: [Firma]

DPI: 1764 6706 80503



Detalle de los gastos realizados durante el proyecto.

Producto	Utilidad	Establecimiento	No. Factura	Cantidad	Costo
Tubo Cuadrado 1" x 6 m	Estructura principal para la trituradora	Novex	72273	2	140.00
Angular 3/4" x 6m	Estructura para toma de material y carcasa	Novex		2	76.00
Chumaceras	Soporte para rotación del eje.	RST	37950	2	190.00
Tornillos y Tuercas	Material solicitado por taller de Universidad Del Valle a cambio de Lámina de 1/8" para armazón de trituradora.	Novex	724571	50	72.50
Reductor	Obtener la velocidad de salida deseada.	Sumitomo	2308	1	2499.75
Motor	Fuente de potencia	Novex	34005	1	1358.00
Lijas	Material solicitado por taller de Universidad Del Valle a cambio de Lámina de 3/8" y plancha de 1/2" para base de motor y reductor.	Novex	34143	1	27.50
Tornillos y Tuercas	Sujetar la mesa del motor y reductor	Novex	74725	2	20.00
Tornillo, rodana y tuercas	Sujeción no permanente de cadenas	Novex	74857	12	48.00
Espiga, cable y cadena	Fuente de potencia y elemento de trituración	Cemaco	97752	NA	137.53
Tornillos y Tuercas	Sujeción del motor, reductor, chumaceras y patas ajustables.	Novex	731132	20	68.00
Caja e interruptor	Sistema de apagado y encendido	Celasa	12569	1	31.50
Eje	Eje de trituración	Taller Barimer	2808	1	1000.00
Masilla y equipo de seguridad	Rellenar imperfecciones y seguridad del usuario.	Cemaco	76364	1	182.67
				Total	5851.45

C. Anexo 3. Manual de pruebas

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

Procedimiento para pruebas de trituración

Elaborado por:

José Fernando Velásquez Mansilla - 14387

Juan Fernando Uribe Morán – 14390

Introducción

Para determinar la capacidad de funcionamiento de la trituradora se realizarán diversas pruebas, a continuación se detallan cada una de ellas con sus respectivos procedimientos y medidas de seguridad para el estudiante que las realice. En paralelo de estas pruebas se realizará el muestreo del tamaño de partícula obtenido, para verificar que sea del tamaño deseado.

Previo a realizar cualquier prueba, se informará al encargado de seguridad para que se encuentre en alerta en caso deba llamar a emergencias, también se informará al profesor encargado del taller ese día para que se encuentre listo en caso deba utilizar el botiquín por una herida de tipo corte y se contará con un extintor de tipo C por si existe una falla en el sistema eléctrico.

Posterior a cada prueba se procederá a hacer una limpieza interna de la trituradora, se verificará que no se haya desajustado o dañado ninguna parte de la misma y los estudiantes que realizaron la prueba deberán lavarse las manos para eliminar cualquier partícula de vidrio remanente.

Números de emergencia

Bomberos Voluntarios: 122

Contacto de emergencia para Juan Fernando Uribe:

Johana de Uribe

53167897

Contacto de emergencia para José Velásquez:

Adriana Mansilla

40409413

Seguros Universales póliza

Póliza 01-6167-1124186

Encargado de seguridad UVG,

Nelson Aldana

2507-1500 Ext. 21467

Medidas de seguridad generales

1. Trasladar la trituradora a la parte lateral exterior del taller de Metalmecánica. Este espacio puede observarse en la Figura No.1, este será acondicionado para las necesidades que se poseen. Se moverán todos los materiales y utensilios colocados allí, de tal manera que permita el movimiento alrededor de la trituradora por parte de un estudiante.



Figura No.1. Ubicación de pruebas

2. Colocar seguro para evitar la apertura de la carcasa al momento de encontrarse en funcionamiento la máquina.
3. Asegurarse que los acoples, tanto del motor al reductor como del reductor al eje de trituración, se encuentren a tope en su parte interna y que los tornillos castigadores estén apretados.
4. Verificar que los perfiles que soportan la trituradora estén apoyados correctamente, de no encontrarse nivelados, ajustar la altura en cada pata de forma independiente hasta lograr que la mesa se encuentre totalmente nivelada.
5. Verificar el estado del lavador de ojos y en caso sea necesario realizar un cambio de agua.

Herramientas, equipo y material necesario

Cantidad	Material	Disponibilidad (✓)
2	Par de guantes industriales anticorte	
2	Protector facial	
2	Gabacha de soldadura	
60	Botellas de vidrio de 350 ml	
10	Botellas de vidrio de 750 ml	
5	Botellas de vidrio de 1 L	
1	Manta vinílica (1 m x 1m)	
1	Llave Allen ¼"	
1	Llave Allen m13	
1	Llave hexagonal 13	
2	Llave hexagonal 17/19	
1	Extensión eléctrica de 5m	
1	Contenedor rectangular de 40 x 40 cm.	
1	Vernier de ± 0.02 mm	
1	Hoja bond blanca	

Transmisión de potencia

Medidas de seguridad

1. El estudiante que realice la prueba deberá utilizar protector facial transparente, guantes de fibra de tipo industrial y gabacha de soldadura.
2. Un estudiante debe permanecer próximo al tomacorriente para desconectar el motor rápidamente en caso de emergencia.
3. Solo un estudiante se debe encontrar en contacto directo con los controles de la trituradora.

Procedimiento

1. Desacoplar el eje de triturado del reductor, para este procedimiento no se utilizan los guantes, y se debe desatornillar la mesa del reductor con ayuda de la llave hexagonal No.17 y trasladarla a otra superficie plana, dejando así únicamente el motor y el reductor conectados entre sí.
2. Verificar que los elementos de rotación no se encuentren en contacto con algún otro elemento que pueda obstruirlos.
3. Utilizando la llave Allen 1/4" apretar los tornillos castigadores del acople del motor al reductor. Observar Figura No.2.
4. La persona que esté realizando la prueba debe colocarse el protector facial.
5. Conectar el motor a una fuente de energía.
6. Encender y apagar el motor en intervalos de 10 segundos con el fin de verificar el funcionamiento adecuado del mismo.
7. De haber cumplido satisfactoriamente el punto anterior se procede a encender el motor durante un periodo de 1 minuto y posteriormente será apagado.



Figura No.2. Acople motor - reductor.

Trituración de bajo volumen

Medidas de seguridad

1. El estudiante que realice la prueba deberá utilizar protector facial transparente, polainas, guantes y gabacha de soldadura.
2. Un estudiante debe permanecer próximo al tomacorriente para desconectar el motor rápidamente en caso de emergencia, sin utilizar equipo de seguridad ya que se encontrará a una distancia de 6 metros de la máquina y debe tener disponibilidad de movimiento para desconectar.
3. Otro estudiante se debe encontrar con el mismo equipo de protección detallado en el paso número 1, revisando que se cumplan los pasos del procedimiento y documentando resultados en la hoja electrónica llamada Estadística de particulado, en la siguiente dirección:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfXvozpLnqfUvI4J5OD-fx1FsSUmFFzF0r8XTV SXI84JhPgZw/viewform?usp=sf_link

Procedimiento

1. Seleccionar una botella de vidrio de 350 ml y asegurarse que se encuentre limpio su interior. Observar Figura No.3. Nótese que la botella no debe tener etiqueta.
2. Colocar contenedor en parte inferior de trituradora y cubrir laterales con tela para evitar la salida de cualquier partícula vidrio. Observar Figura No.5.
3. Encender el motor y verificar que no exista ningún problema de interferencia o desajuste en el sistema de transmisión y trituración.
4. Dejar funcionar el motor durante 45 segundos para verificar que funcionen correctamente los acoples y las uniones de las cadenas al eje.
5. Ingresar la botella a la trituradora, luego de 30 segundos apagar el motor. Observar Figura No.6.
6. Desconectar el motor del tomacorriente.
7. Retirar contenedor y realizar una revisión de tamaño de partícula promedio. Documentar resultados en hoja electrónica de Estadística de particulado.
8. Abrir carcasa superior y realizar inspección de componentes internos en busca de cualquier problema de desajuste en las uniones de la cadena al eje. Observar Figura No.7.
9. Volver a cerrar carcasa y colocar seguro de nuevo para evitar la apertura durante su funcionamiento.
10. Repetir pasos del 1 al 9 con botella de 350 ml marca modelo, botella de agua marca Salutaris y con botella de licor de mayor grosor permitido.



Figura No.3. Botella de 350 ml.



Figura No.4. Contenedor en parte inferior.



Figura No.5. Ingreso de material



Figura No.6. Uniones de cadenas al eje

Triturado con volumen de trabajo

Medidas de seguridad

1. El estudiante que realice la prueba deberá utilizar protector facial transparente, polainas, guantes y gabacha de soldadura.
2. Un estudiante debe permanecer próximo al tomacorriente para desconectar el motor rápidamente en caso de emergencia.
3. Otro estudiante se debe encontrar con el mismo equipo de protección documentando el proceso.

Procedimiento

1. Seleccionar 10 botellas de vidrio de 350 ml y asegurarse que se encuentre limpio su interior.
2. Colocar contenedor en parte inferior de trituradora y cubrir laterales con tela para evitar la salida de cualquier partícula vidrio. Observar Figura No.5.
3. Encender el motor y verificar que no exista ningún problema de interferencia o desajuste.
4. Dejar funcionar el motor durante 45 segundos para verificar que funcionen correctamente los acoples y las uniones de las cadenas al eje.
5. Ingresar las botellas a la trituradora, luego de que dejen de caer partículas por la parte inferior apagar el motor.
6. Desconectar el motor del tomacorriente.
7. Retirar contenedor y documentar resultados en hoja electrónica Estadística de particulado.
8. Abrir carcasa superior y realizar inspección de componentes internos en busca de cualquier problema de desajuste. Observar Figura No.7.
9. Volver a cerrar carcasa y colocar seguro de nuevo para evitar la apertura durante su funcionamiento.
10. Repetir pasos del 1 al 9 con 10 botellas de un grosor más elevado.

Máxima capacidad de botellas

Medidas de seguridad

1. El estudiante que realice la prueba deberá utilizar protector facial transparente, polainas, guantes y gabacha de soldadura.
2. Un estudiante debe permanecer próximo al tomacorriente para desconectar el motor rápidamente en caso de emergencia.
3. Otro estudiante se debe encontrar con el mismo equipo de protección documentando el proceso.

Procedimiento

1. Seleccionar 50 botellas de vidrio de diferentes calibres y volúmenes. Verificar que estas se encuentren limpias en su interior y colocarlas dentro de un costal. Observar Figura No.8
2. Colocar contenedor en parte inferior de trituradora y cubrir laterales con tela para evitar la salida de cualquier partícula vidrio. Adicionalmente se verificará que no exista atascamiento de las telas en las partes rotatorias. Observar Figura No.5
3. Encender el motor y verificar que no exista ningún problema de interferencia o desajuste.
4. Dejar funcionar el motor durante 45 segundos para verificar que funcionen correctamente los acoples y las uniones de las cadenas al eje.
5. Ingresar las botellas a la trituradora de forma continua, con el fin de generar un bloqueo dentro de la trituradora.
 - A. De generarse un bloqueo desconectar inmediatamente la trituradora para evitar daños.
6. En el momento que las partículas dejen de caer apagar el motor.
7. Desconectar el motor del tomacorriente.
8. Retirar contenedor y documentar resultados en hoja electrónica Estadística de particulado.
9. Abrir carcasa superior y realizar inspección de componentes internos en busca de cualquier problema de desajuste. Observar Figura No.7
10. Volver a cerrar carcasa y colocar seguro de nuevo para evitar la apertura durante su funcionamiento.



Figura No.7. Costal con botellas.

Manejo inadecuado de la trituradora

Medidas de seguridad

1. El estudiante que realice la prueba deberá utilizar protector facial transparente, polainas, guantes y gabacha de soldadura.
2. Un estudiante debe permanecer próximo al tomacorriente para desconectar el motor rápidamente en caso de emergencia.
3. Otro estudiante se encontrará con el mismo equipo de protección documentando el proceso.

Procedimiento

1. Se repetirán los pasos utilizados en “funcionamiento con volumen de trabajo”, con la diferencia de que durante el proceso de trituración se realizarán las siguientes acciones
 - a. Introducir un costal junto con las botellas de vidrio.
 - b. Introducir botellas plásticas durante el proceso de triturado.
 - c. Introducir botellas de vidrio cuando la trituradora está apagada y luego encenderla.
 - d. Introducir carne animal con hueso, con el fin de simular una extremidad del cuerpo humano.
 - e. Introducir una sección larga de tela para determinar si se enrolla en el sistema de trituración.
2. Al final cada una de estas acciones se verificará el estado de la maquinaria, comprobando que las uniones pernadas se encuentren debidamente ajustadas.

Cada una de las acciones anteriores se debe realizar por separado para poder documentar los resultados de cada prueba en la hoja electrónica: Estadística de particulado.

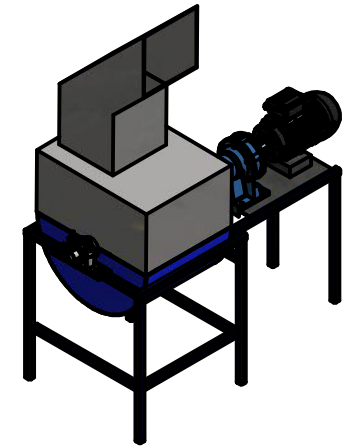
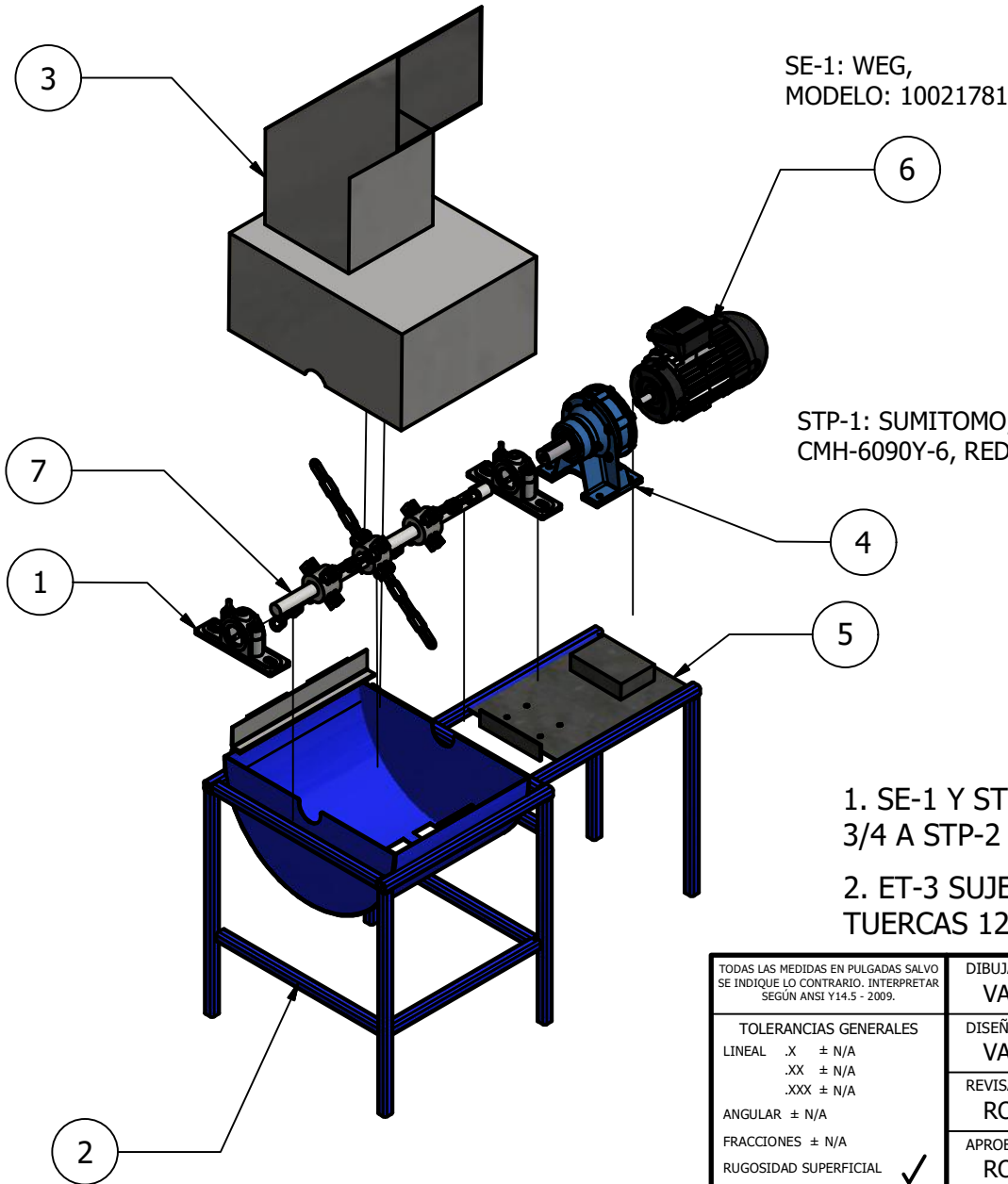
E. Anexo 5. Actividades de verificación y validación

Código	Método de verificación	Actividad
FST-01	Revisión de diseño (R)	Revisión de diseño en inventor Autodesk. Analizar que las uniones sean con elementos no permanentes y obtenibles en Panajachel
FSTP-02	Revisión de diseño (R)	Revisión de facilidad de acceso de sistema de transmisión de potencia, manteniendo siempre la seguridad del operador.
OSE-01	Revisión de diseño (R)	Verificación de que el diseño de la toma de material no permita el ingreso de una extremidad al área de trituración.
LTD-03	Revisión de diseño (R)	Revisión de dimensiones del ensamble de la trituradora en Inventor Autodesk no supere el espacio permitido en el centro de acopio.
FET-01	Revisión de diseño (R)	Revisión de diseño de estructura y modo de sujeción de contenedor o costal en Inventor Autodesk
FST-03	Revisión de diseño (R)	Revisión de diseño de agujeros en parte inferior de carcasa para que logre filtrar un tamaño de 2 Pulgadas o mayor de vidrio
FST-04	Análisis (A)	Por medio de la ecuación de Soderberg de fatiga, determinar el número de horas de funcionamiento antes de la fatiga. (La cantidad de horas de operación debe ser de al menos 3000 horas)
LTD-02	Análisis (A)	Análisis costo - Beneficio para determinar ganancias en el primer semestre de operación.
LST-02	Análisis (A)	Comparar las horas de vida de los componentes de sistema de Trituración con las horas de vida de los cojinetes, la vida útil de los últimos debe ser menor.
LSTP-01	Revisión de diseño (R)	Revisión de pasos para realizar el mantenimiento del sistema de transmisión de potencia.
LET-01	Análisis (A)	Realizar un análisis en ANSYS para determinar el factor de seguridad de la estructura.
LTD-01	Inspección	Supervisión de los maquinados que sean realizados por cada módulo en las instalaciones de la UVG
FSTP-01	Inspección y prueba	Revisión de especificaciones de caja reductora y prueba de transmisión de potencia con esfuerzos de trituración.
LST-03	Inspección	Búsqueda de al menos tres proveedores locales de cadenas metálicas (en departamento de Sololá)
LST-01	Inspección	Búsqueda de al menos tres proveedores locales de cadenas metálicas (en departamento de Sololá)

Código	Método de verificación	Actividad
OTD-01	Inspección	Búsqueda de al menos 2 proveedores locales de materiales necesarios para mantenimiento (lubricante, cadenas, soldadura, etc.)
FSE-01	Inspección	Revisión de requerimientos eléctricos del motor cotizado previo a realizar la compra.
FST-01	Inspección	Inspección visual de sujetadores no permanentes
OSE-02	Inspección	Revisión de listado y forma de utilización del equipo de seguridad.
OET-01	Inspección	Supervisión de carteles de precaución.
LTD-05	Prueba	Durante pruebas preliminares realizar medición de espacio operativo y registrarlo.
OSTP-02	Inspección	Supervisar colocación de señales de precaución y evaluar seguridad de recubrimientos.
FST-02	Prueba	Realizar una prueba de 10 minutos continuos de trituración he interpolar para un día completo laboral para determinar capacidad máxima.
FST-03	Prueba	Realizar una prueba estadística del tamaño del material triturado (Prueba muestral)
OTD-02	Prueba	Simulación de día de mantenimiento en taller de UVG
OSE-01	Inspección	Supervisión de cubierta de partes móviles durante pruebas preliminares en instalaciones de UVG
OSE-03	Prueba	Prueba de funcionamiento debe poder realizarse con una sola persona.
OSTP-01	Inspección	Luego de pruebas preliminares en UVG realizar un análisis de la necesidad de lubricación en sistema de transmisión de potencia

F. Anexo 6. Planos de la trituradora de vidrio.

LISTA DE PARTES			
ITEM	CÓDIGO	QTY	DESCRIPCIÓN
1	ET-1	2	CARCASA
2	ET-2	1	ESTRUCTURA
3	ET-3	1	CHUMACERA
4	STP-1	1	REDUCTOR
5	SE-1	1	MOTOR ELÉCTRICO
6	STP-2	1	PLACA DE SOPORTE
7	ST-1	1	SISTEMA DE TRITURACIÓN




1. SE-1 Y STP-1, SUJETOS CON TORNILLOS HEXAGONALES DE 1/4 X 3/4 A STP-2

2. ET-3 SUJETAS CON 4 TORNILLOS HEXAGONALES M12 X 90, 4 TUERCAS 12 MM

TODAS LAS MEDIDAS EN PULGADAS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ANSI Y14.5 - 2009.	
TOLERANCIAS GENERALES	
LINEAL	.X ± N/A
	.XX ± N/A
	.XXX ± N/A
ANGULAR	± N/A
FRACCIONES	± N/A
RUGOSIDAD SUPERFICIAL	✓

DIBUJADO POR	FECHA
VARIOS	9/10/2018
DISEÑADO POR	FECHA
VARIOS	9/10/2018
REVISADO POR	FECHA
RONY HERRARTE	11/10/2018
APROBADO POR	FECHA
RONY HERRARTE	11/10/2018


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
 Guatemala, Guatemala 01015
 PBX: (502) 2634-0336 / 40
 info@uvg.edu.gt

TÍTULO: **ENSAMBLE GENERAL DE TRITURADORA**

NÚMERO DE DIBUJO: 1		
FORMATO	ESCALA: N/A	UNIDADES: IN
A	PÁGINA 1 DE 24	REV 0

MATERIAL	N/A
TRATAMIENTO	N/A
MASA: 200 kg	



NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
TRITURADORA DE VIDRIO

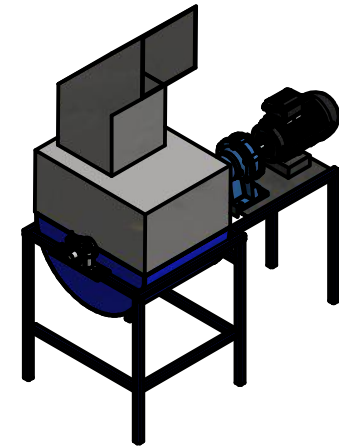
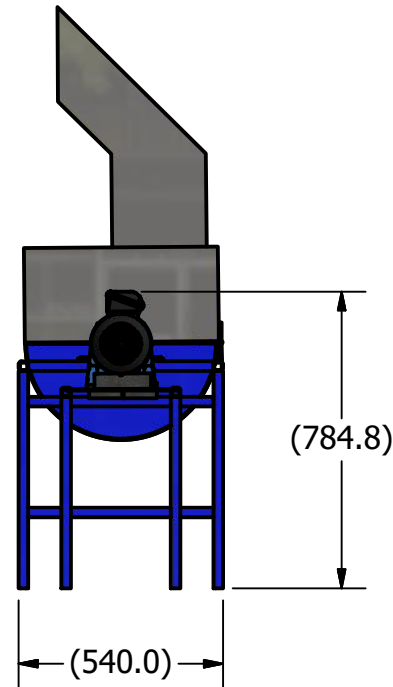
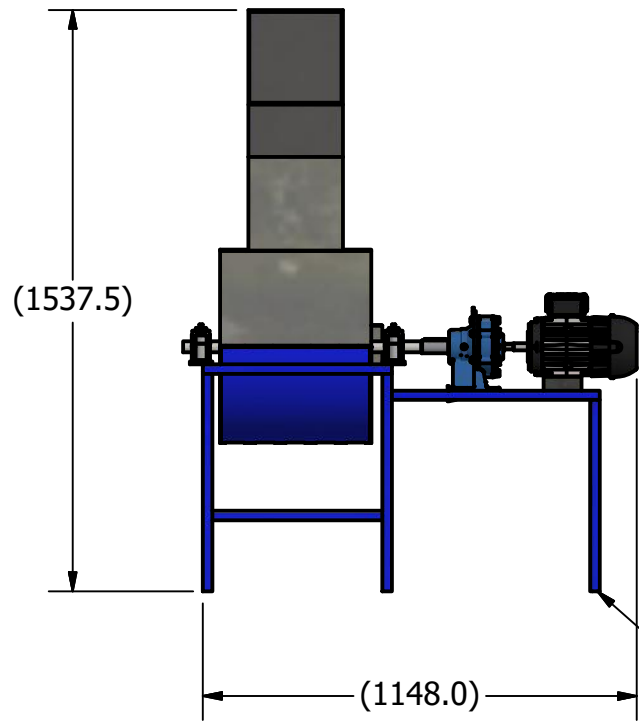
TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

2



1

B



B



A

A

- 1.1. PATAS NIVELADORAS CON 6 TORNILLOS M12 X 90 Y 6 TUERCA 12 MM.
 1.2. 6 TUERCAS SE ENCUENTRAN SOLDADAS EN LA PARTE INFERIOR DE LAS PATAS.

TÍTULO: DIMENSIONES GENERALES
 TRITURADORA DE VIDRIO

NÚMERO DE DIBUJO: 2

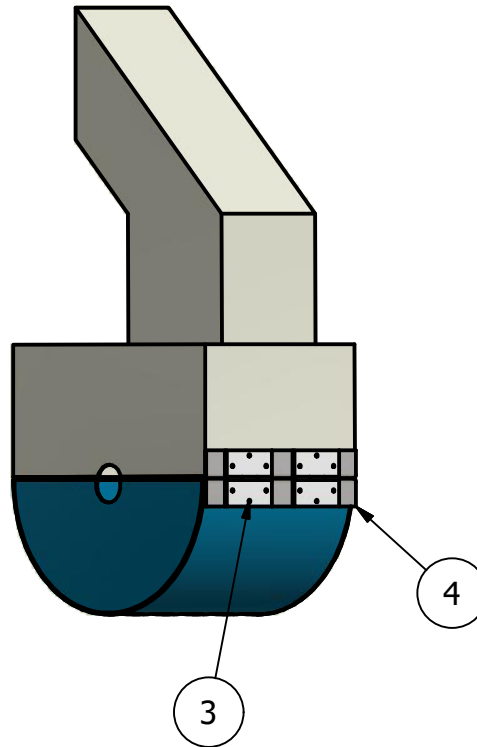
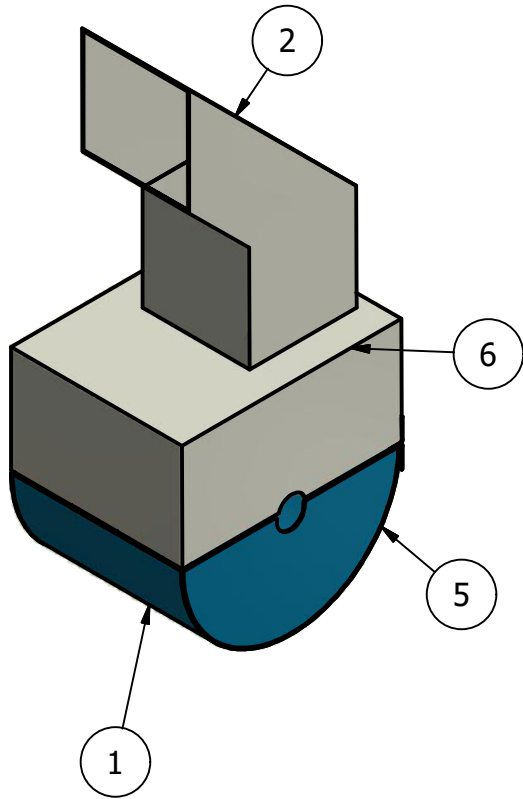
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES: IN
A	PÁGINA 2 DE 24	REV 0

2



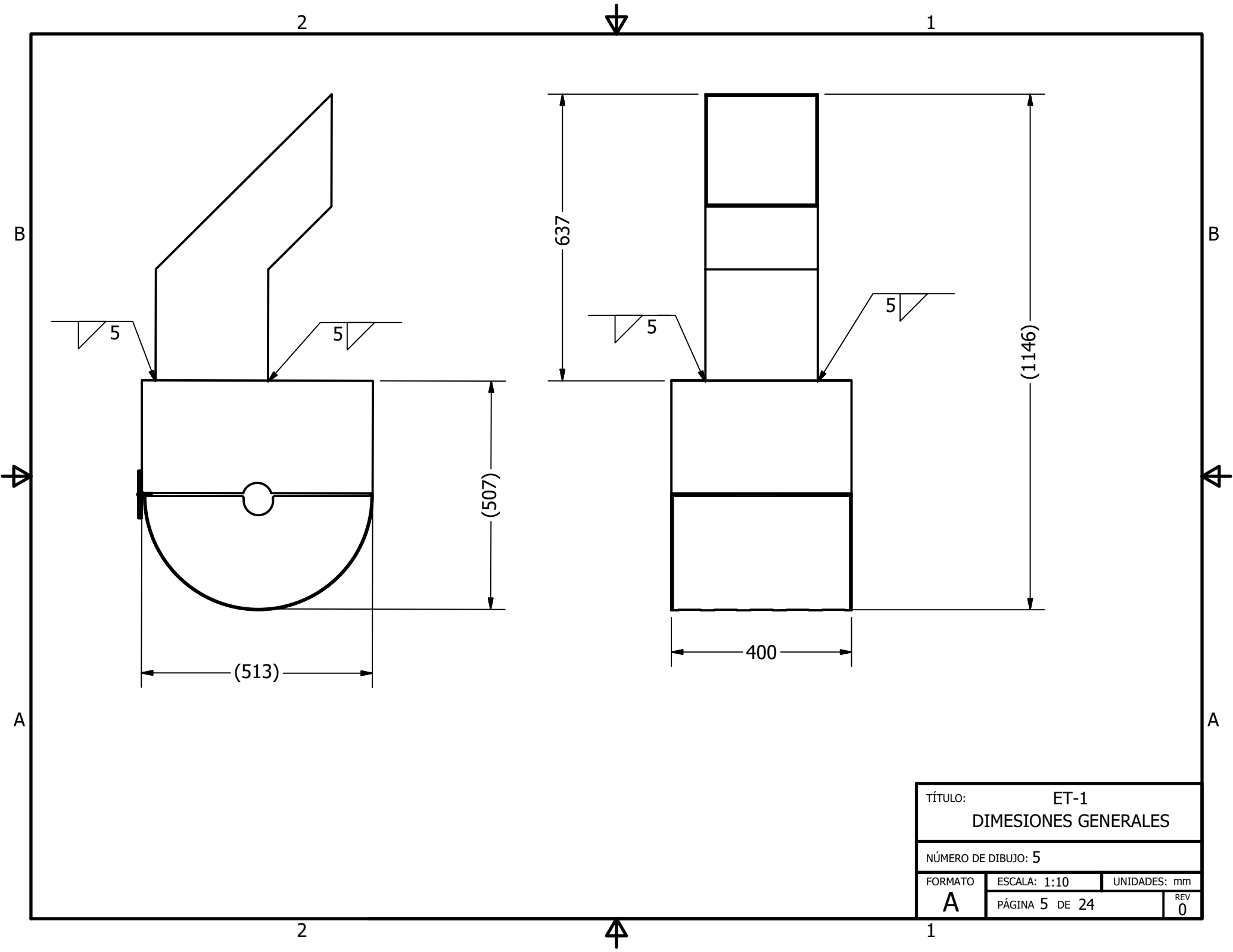
1

LISTADO DE PARTES			
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	TAMBOR INFERIOR	Hierro 1018
2	1	TOMA DE MATERIAL	Hierro 1018
3	2	VISAGRA	Acero, aleacion
4	2	PERFIL L	Hierro 1018
5	2	TAPA TAMBOR INFERIOR	Hierro 1018
6	1	TAMBOR SUPERIOR	Hierro 1018

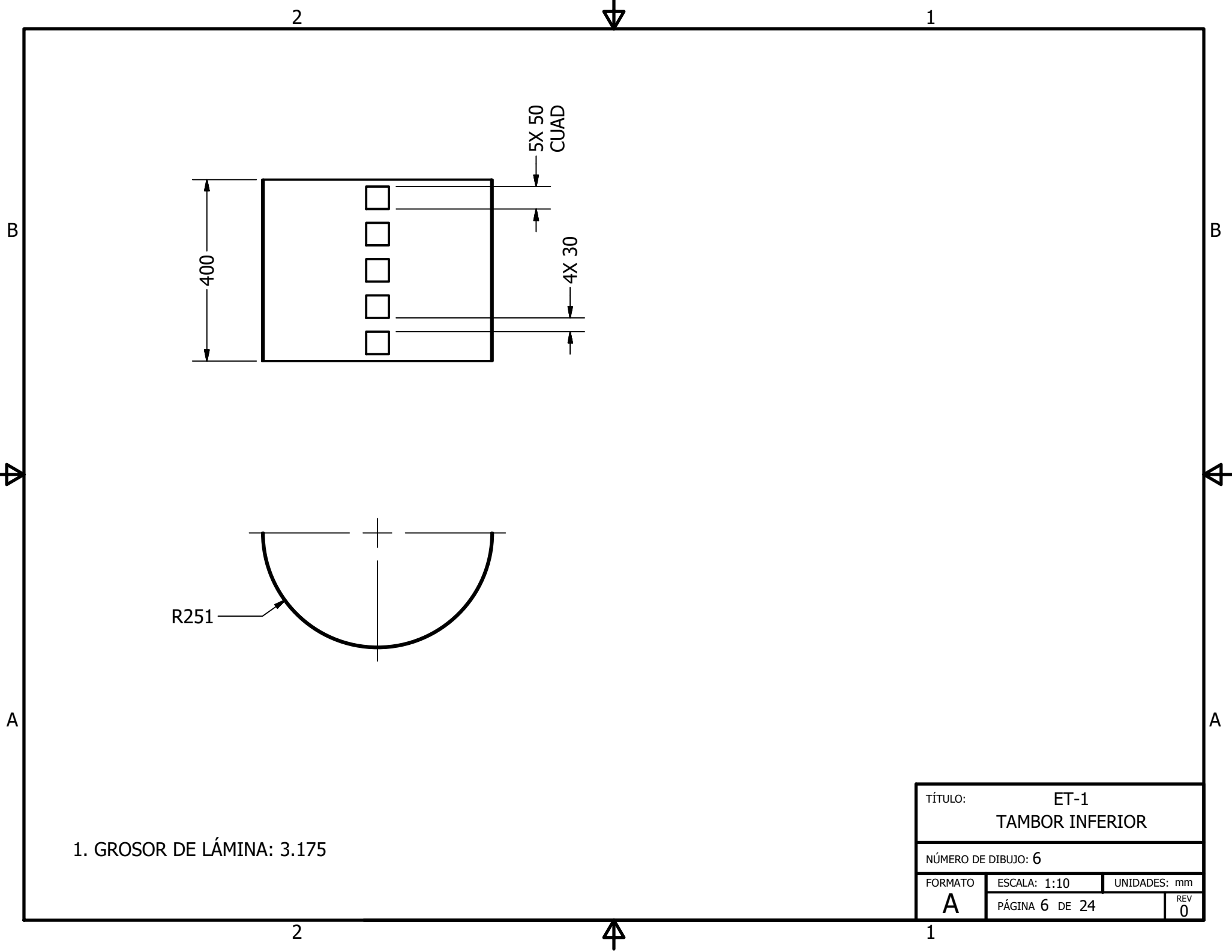


1. VISAGRAS DE 3X1" SUJETADAS
CON TORNILLOS DE 3/8X1 1/2

TÍTULO: ET-1	
LISTA DE MATERIALES	
NÚMERO DE DIBUJO: 4	
FORMATO	ESCALA: 0.08:1 UNIDADES: mm
A	PÁGINA 4 DE 24 REV 0

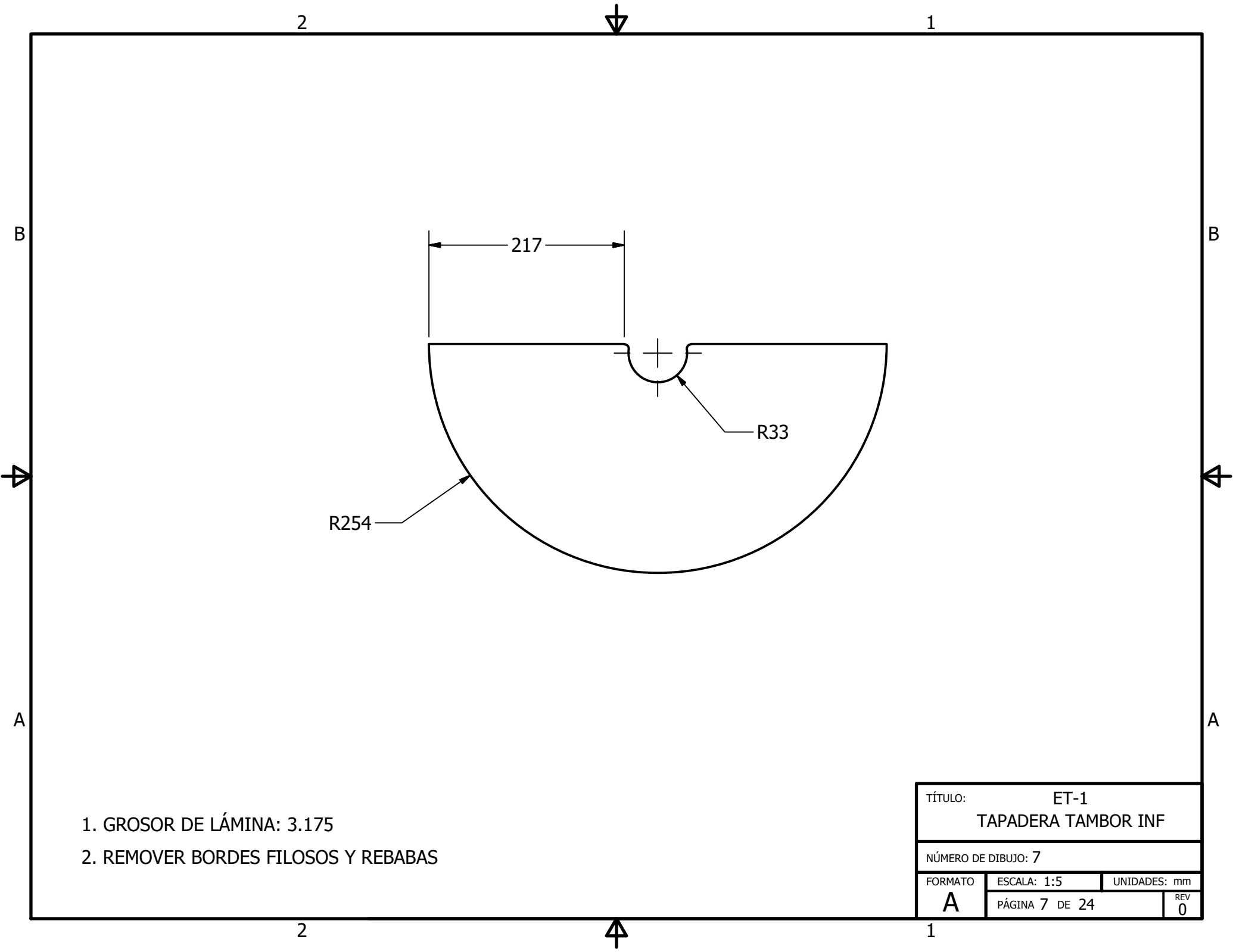


TÍTULO:		ET-1	
		DIMENSIONES GENERALES	
NÚMERO DE DIBUJO: 5			
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 5 DE 24	REV 0	



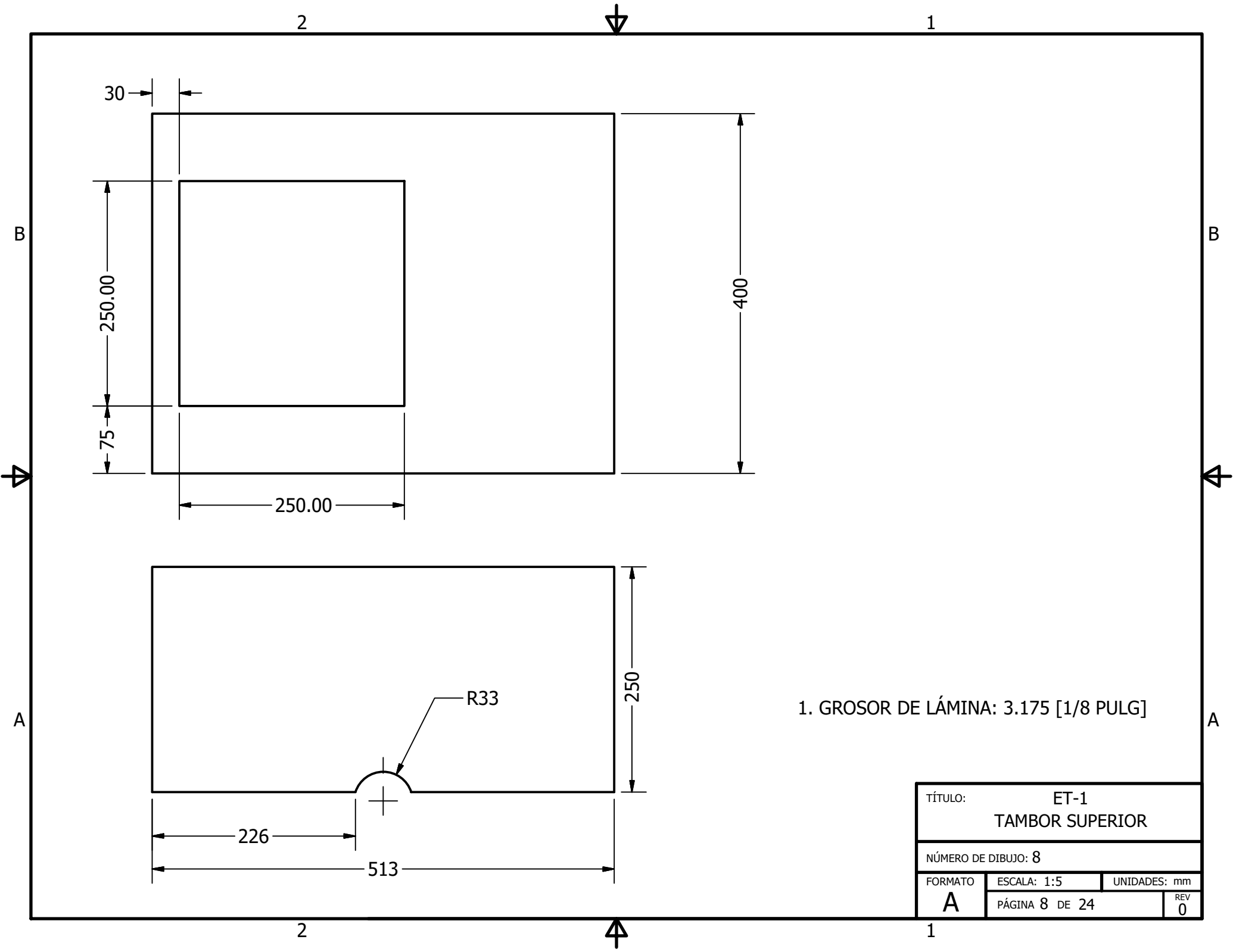
1. GROSOR DE LÁMINA: 3.175

TÍTULO:		ET-1	
		TAMBOR INFERIOR	
NÚMERO DE DIBUJO: 6			
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 6 DE 24	REV 0	

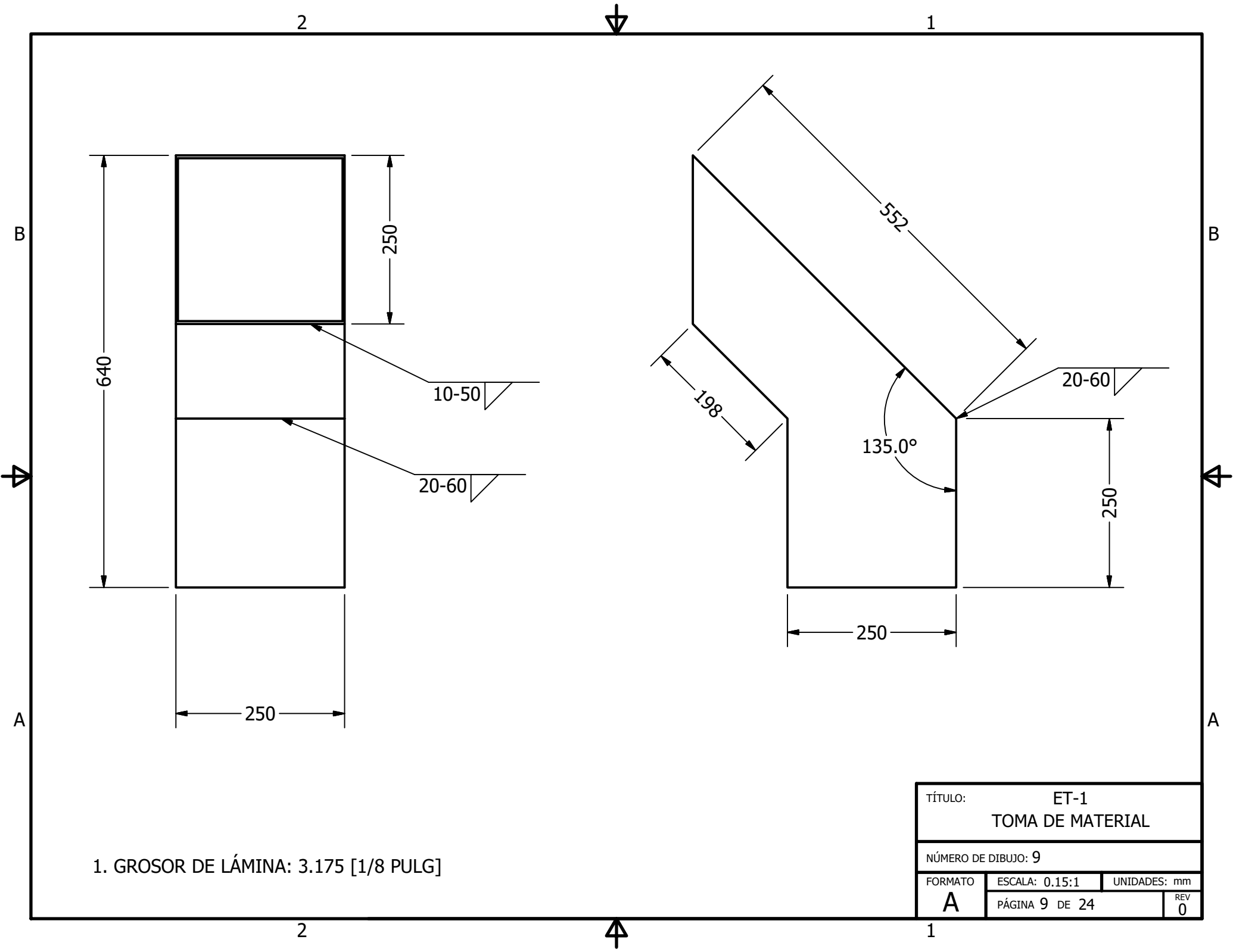


- 1. GROSOR DE LÁMINA: 3.175
- 2. REMOVER BORDES FILOSOS Y REBABAS

TÍTULO:		ET-1	
		TAPADERA TAMBOR INF	
NÚMERO DE DIBUJO: 7			
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 7 DE 24	REV 0	

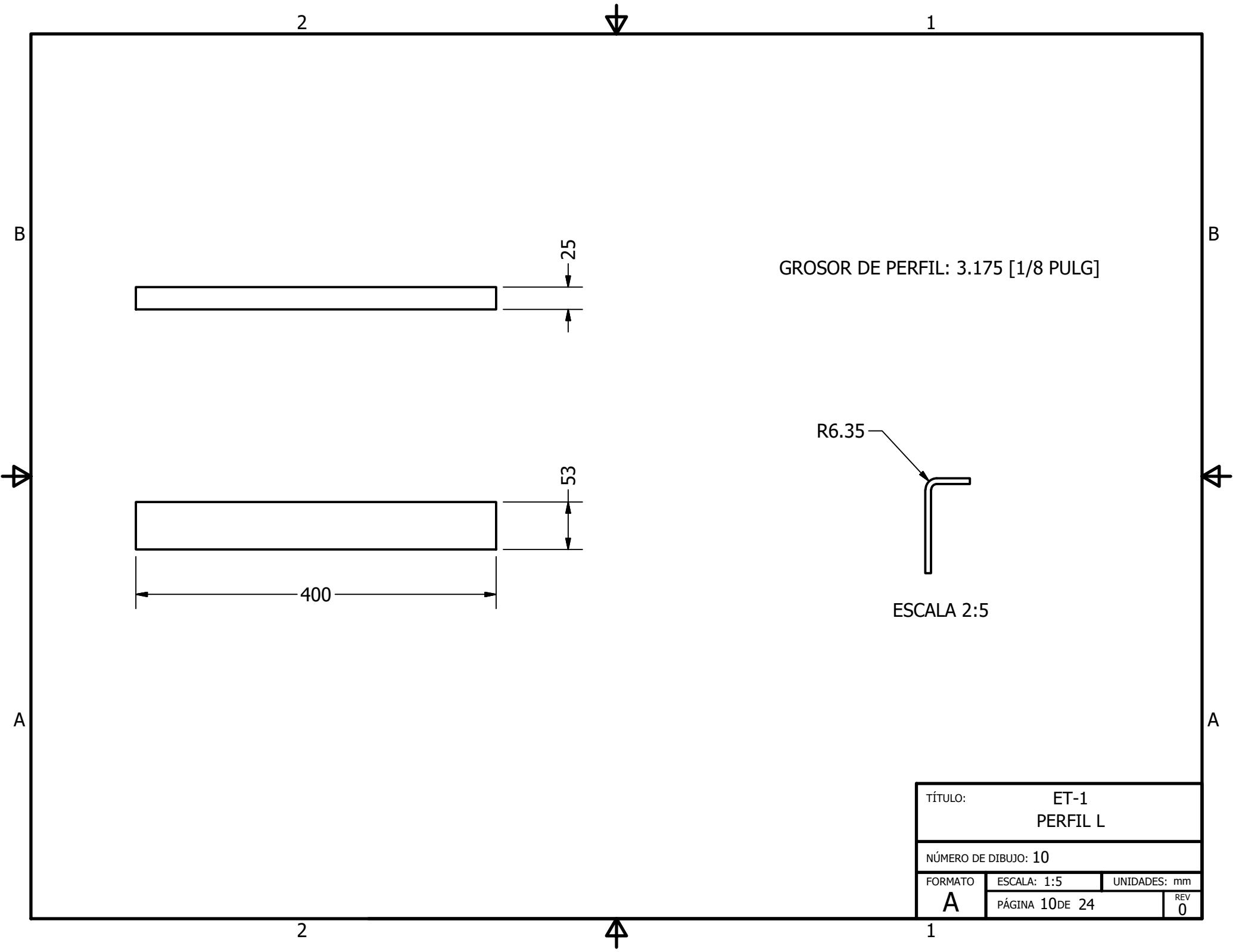


TÍTULO: ET-1		
TAMBOR SUPERIOR		
NÚMERO DE DIBUJO: 8		
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 8 DE 24	REV 0

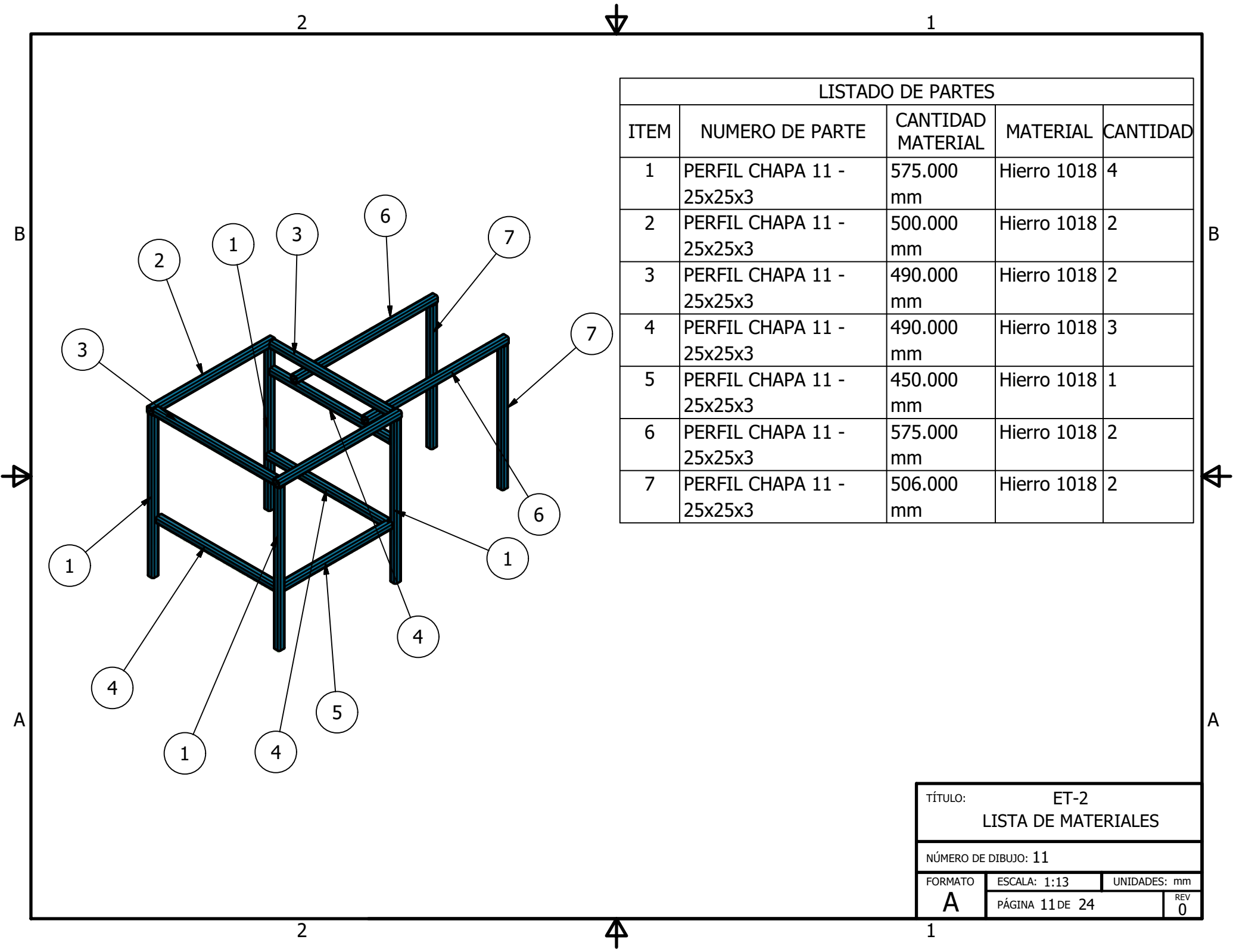


1. GROSOR DE LÁMINA: 3.175 [1/8 PULG]

TÍTULO: ET-1		
TOMA DE MATERIAL		
NÚMERO DE DIBUJO: 9		
FORMATO	ESCALA: 0.15:1	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 9 DE 24	REV 0

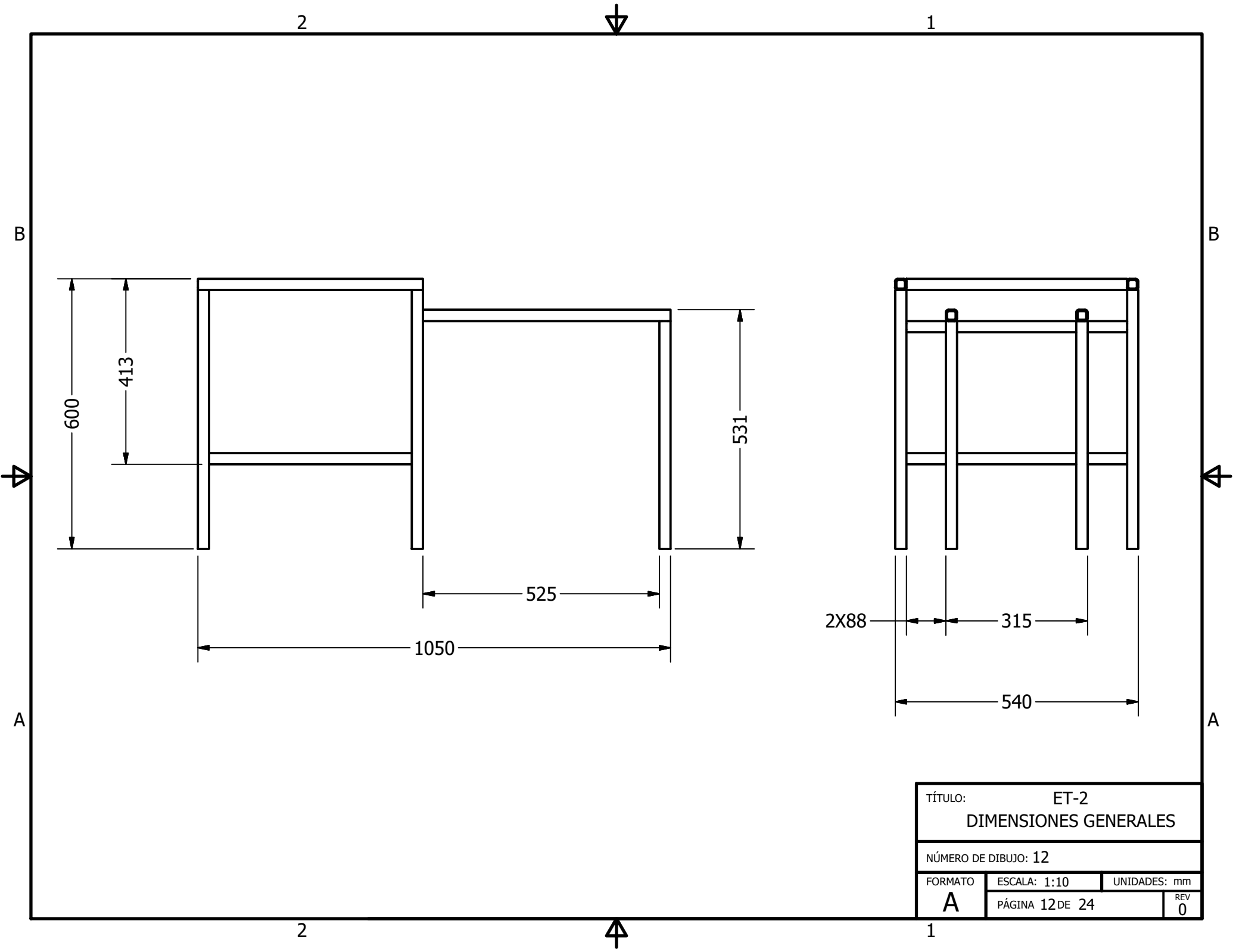


TÍTULO:		ET-1	
		PERFIL L	
NÚMERO DE DIBUJO: 10			
FORMATO	ESCALA: 1:5	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 10 DE 24		REV 0



LISTADO DE PARTES				
ITEM	NUMERO DE PARTE	CANTIDAD MATERIAL	MATERIAL	CANTIDAD
1	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	575.000 mm	Hierro 1018	4
2	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	500.000 mm	Hierro 1018	2
3	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	490.000 mm	Hierro 1018	2
4	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	490.000 mm	Hierro 1018	3
5	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	450.000 mm	Hierro 1018	1
6	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	575.000 mm	Hierro 1018	2
7	PERFIL CHAPA 11 - 25x25x3	506.000 mm	Hierro 1018	2

TÍTULO: ET-2		
LISTA DE MATERIALES		
NÚMERO DE DIBUJO: 11		
FORMATO	ESCALA: 1:13	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 11 DE 24	REV 0



TÍTULO: ET-2
 DIMENSIONES GENERALES

NÚMERO DE DIBUJO: 12

FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 12 DE 24	REV 0

2

1

B

B

↖

↗

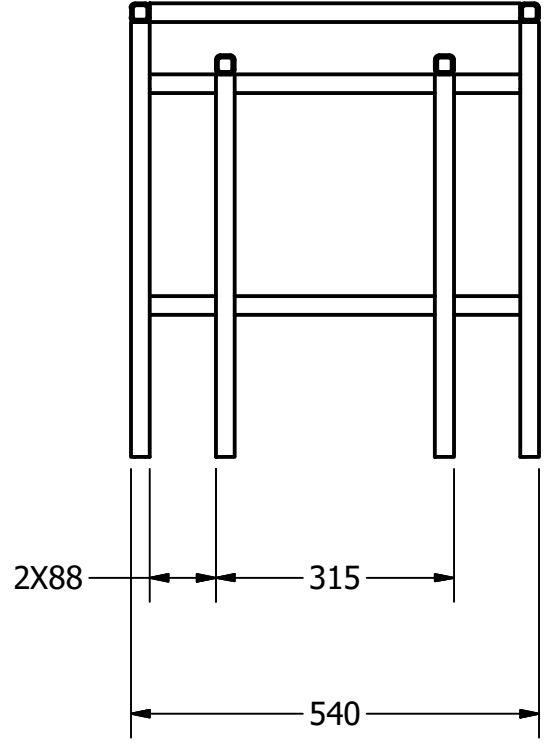
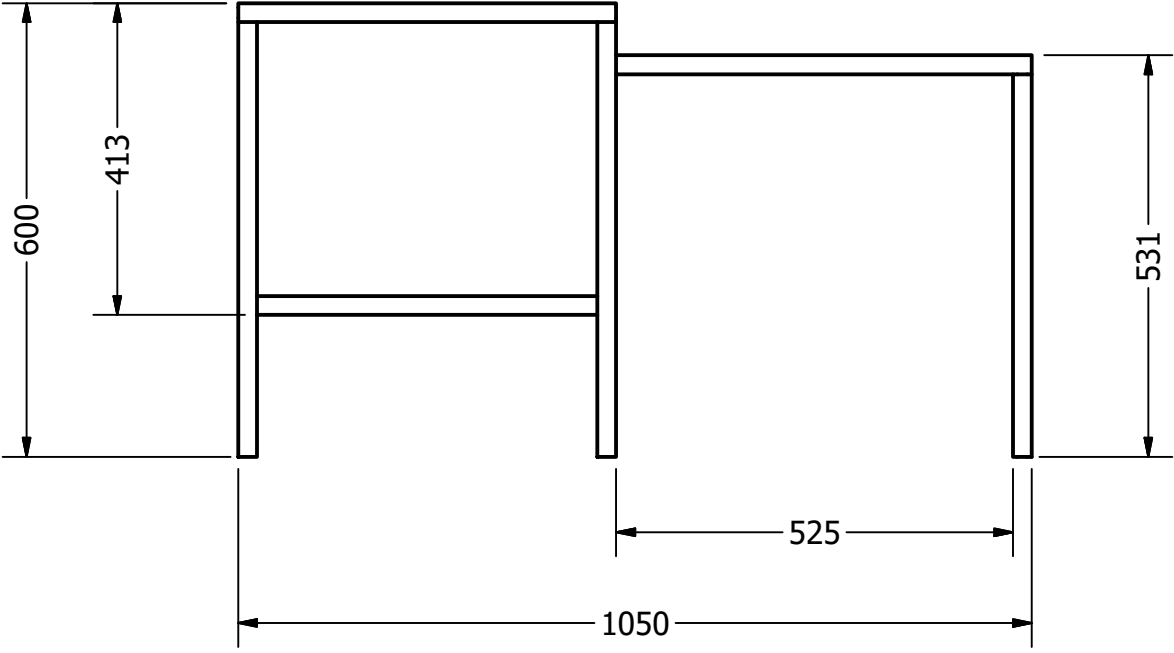
A

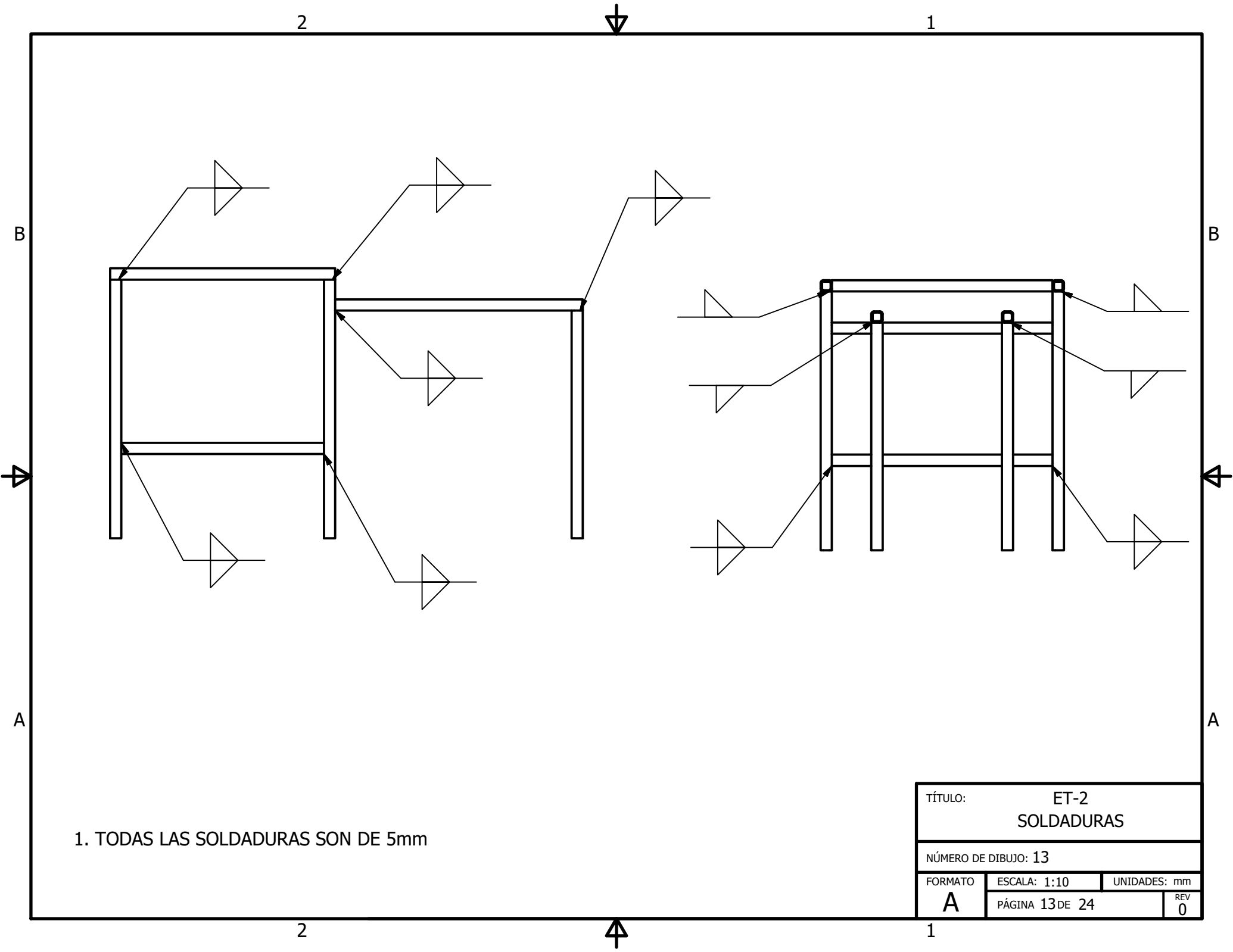
A

2

1

↖





1. TODAS LAS SOLDADURAS SON DE 5mm

TÍTULO:		ET-2	
		SOLDADURAS	
NÚMERO DE DIBUJO: 13			
FORMATO	ESCALA: 1:10	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 13 DE 24	REV 0	

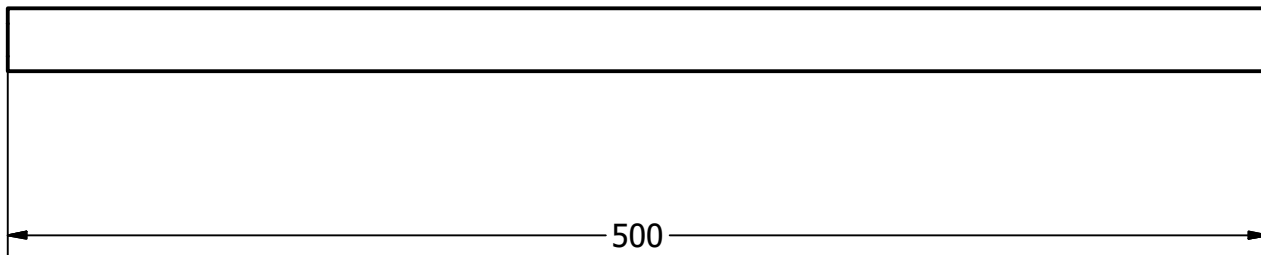
2

1

B

B

PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]



500

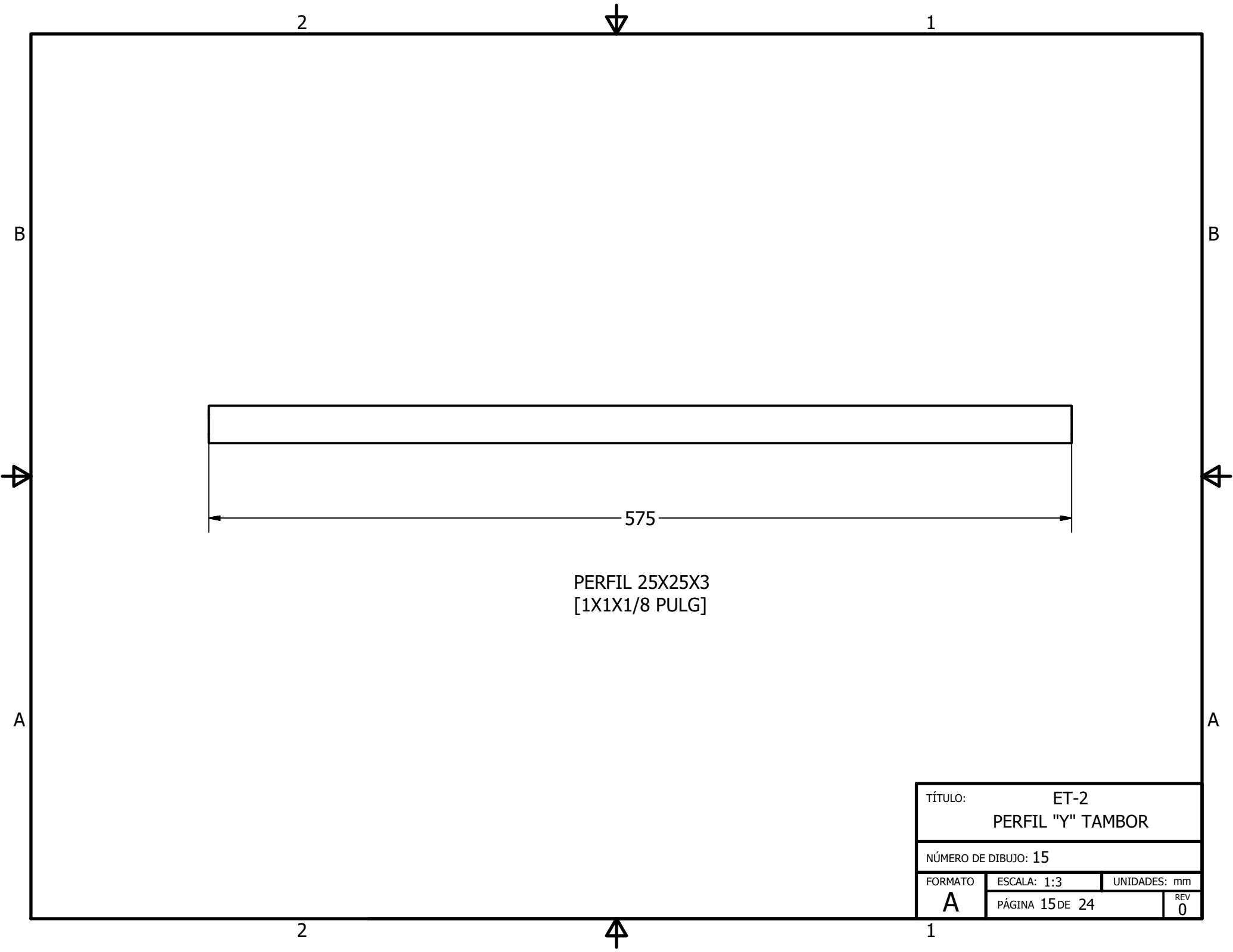
A

A

2

1

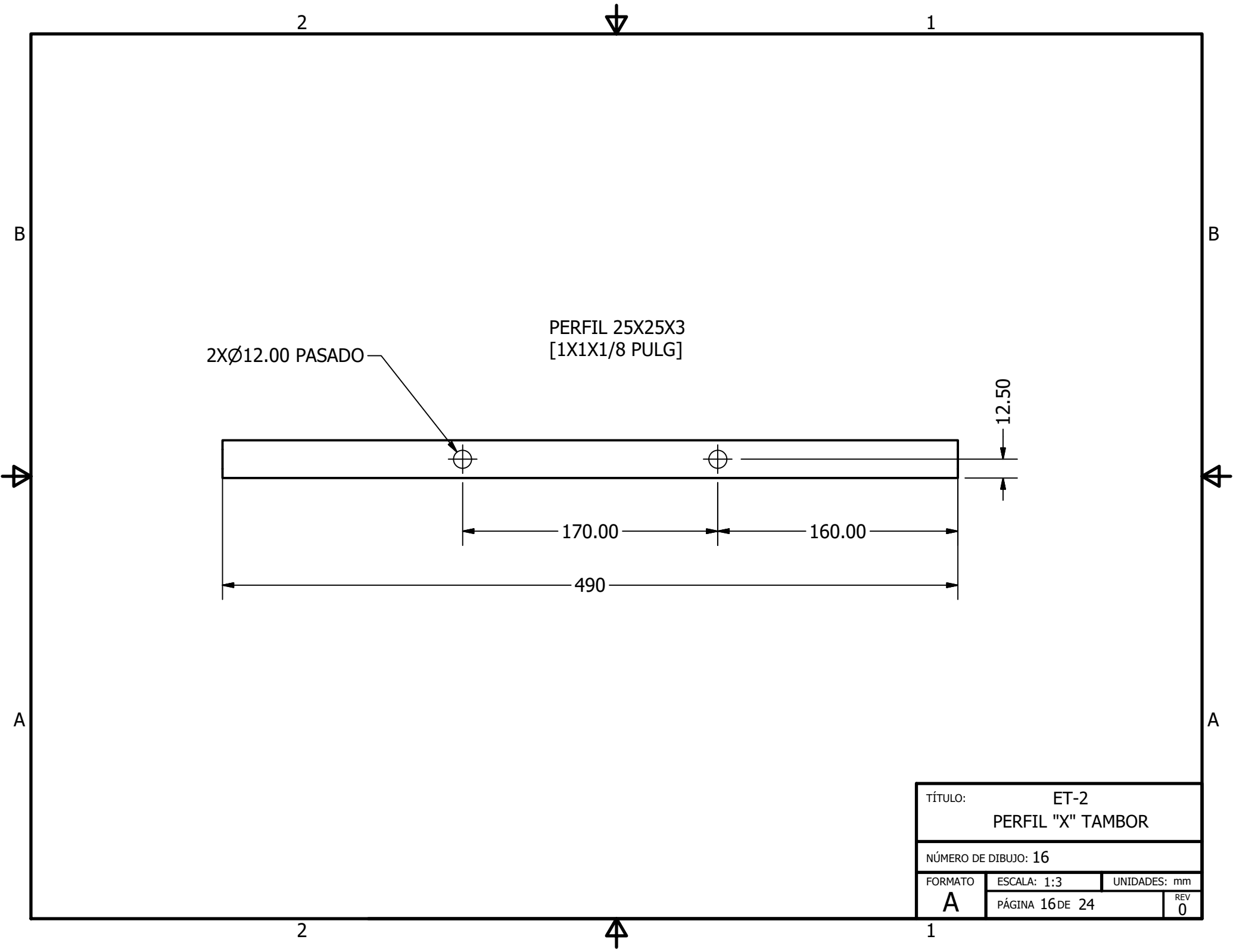
TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL "Z" TAMBOR	
NÚMERO DE DIBUJO: 14			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 14 DE 24	REV 0	



PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]

575

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL "Y" TAMBOR	
NÚMERO DE DIBUJO: 15			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 15 DE 24	REV	0



2XØ12.00 PASADO

PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]

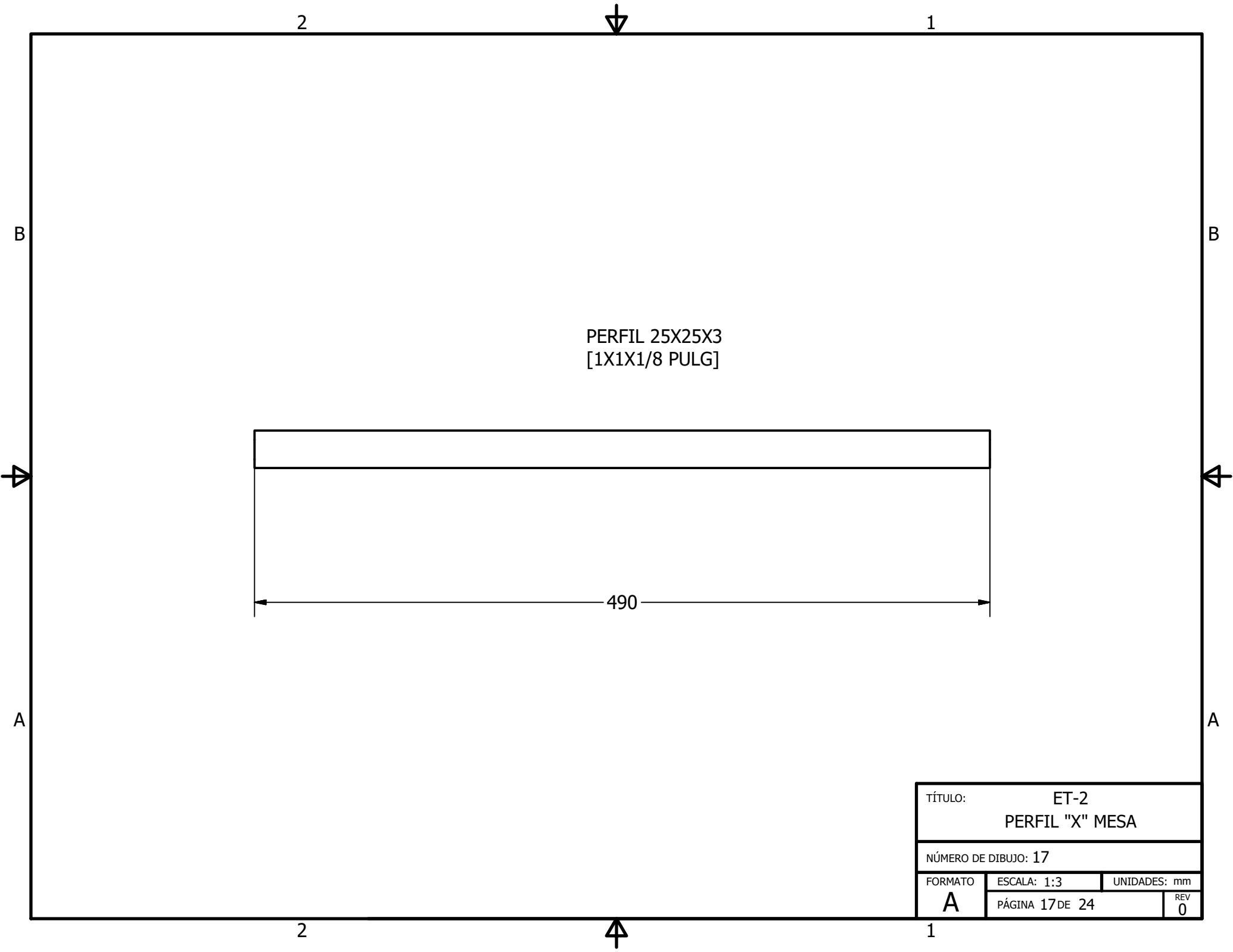
12.50

170.00

160.00

490

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL "X" TAMBOR	
NÚMERO DE DIBUJO: 16			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 16 DE 24	REV	0



PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]

490

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL "X" MESA	
NÚMERO DE DIBUJO: 17			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 17 DE 24	REV	0

2

1

B

B

A

A

2

1

2

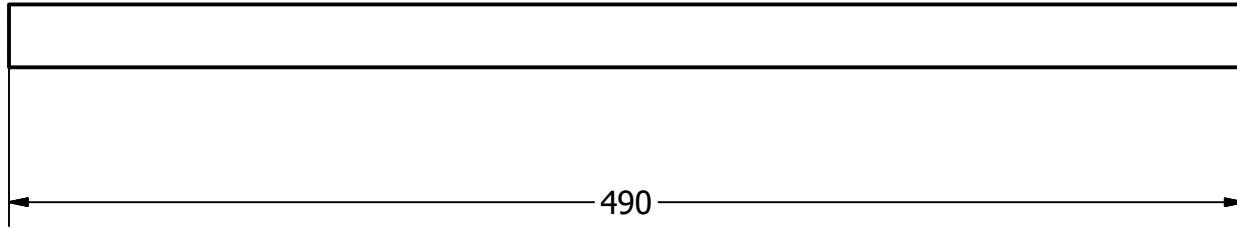


1

B

B

PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]



490

A

A

2



1

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL INFERIOR "X"	
NÚMERO DE DIBUJO: 18			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 18 DE 24	REV	0

2

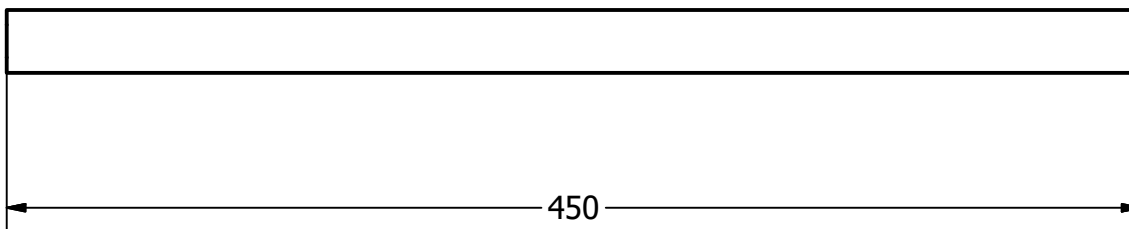


1

B

B

PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]



450



A

A

2



1

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL INFERIOR "Z"	
NÚMERO DE DIBUJO: 19			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 19 DE 24	REV	0

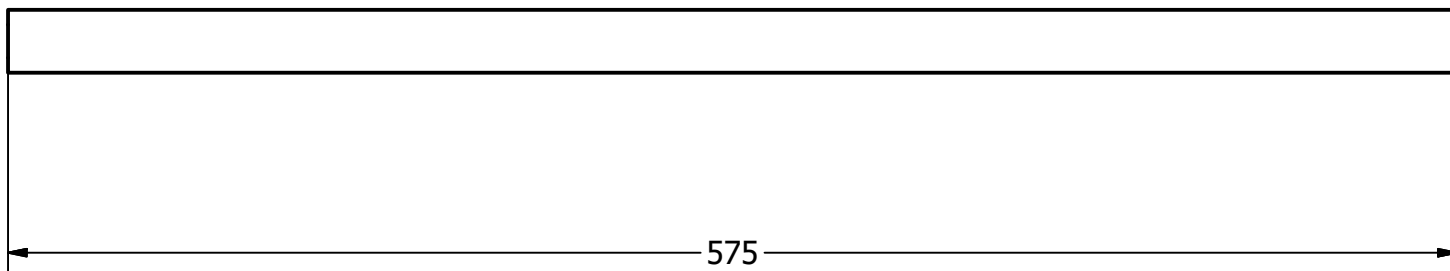
2

1

B

B

PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]



575

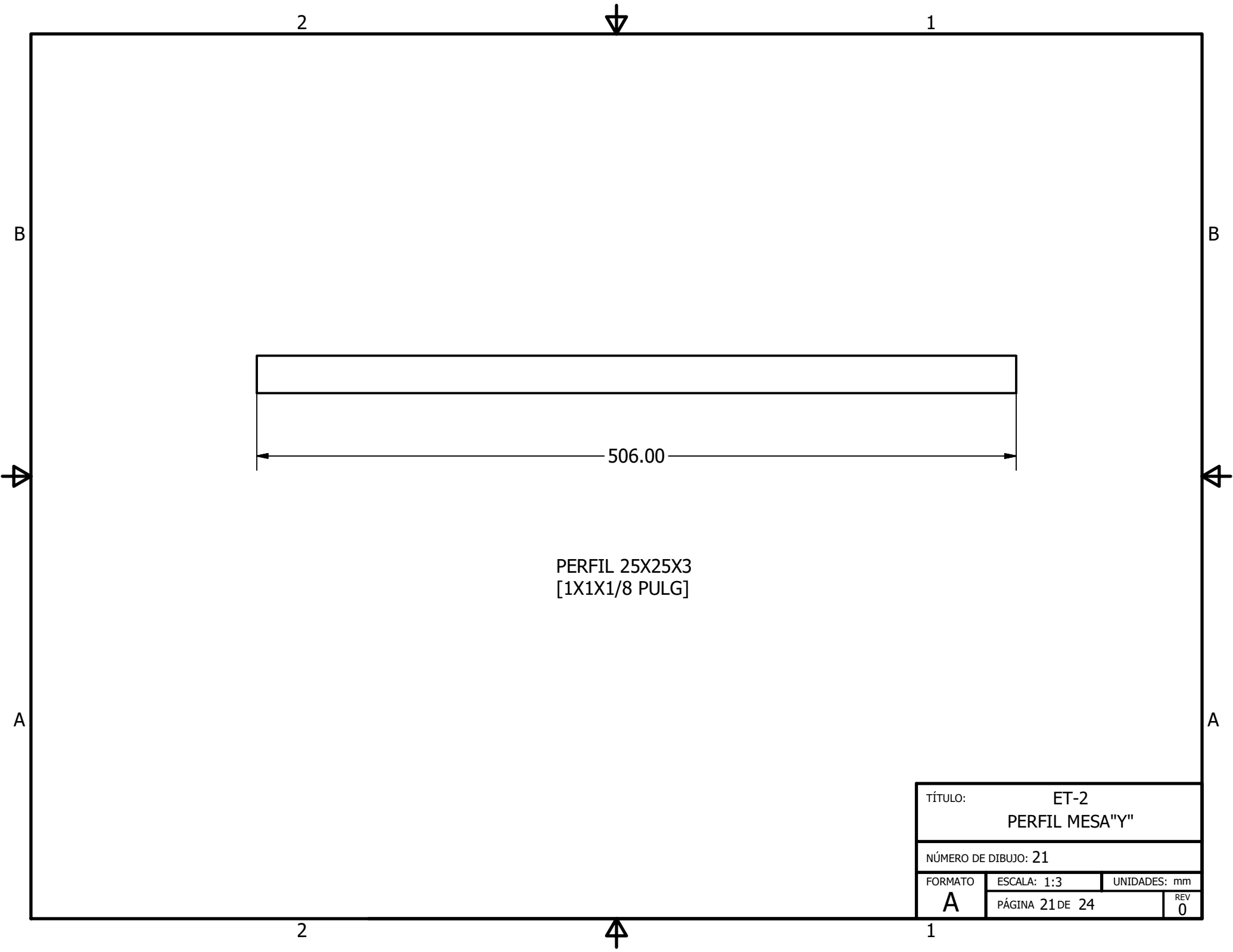
A

A

2

1

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL MESA "Z"	
NÚMERO DE DIBUJO: 20			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 20 DE 24	REV	0



PERFIL 25X25X3
[1X1X1/8 PULG]

506.00

TÍTULO:		ET-2	
		PERFIL MESA"Y"	
NÚMERO DE DIBUJO: 21			
FORMATO	ESCALA: 1:3	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 21 DE 24	REV	0

2

1

B

B



A

A

2

1

