

DISEÑO DE UNA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE
ALUMINIO PRE-AISLADO PARA LA EMPRESA ITC AIRE SAS.

ANDRES FELIPE GARCÍA MÉNDEZ
JAIRO ALEXANDER GARCIA WALTEROS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

DISEÑO DE UNA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE
ALUMINIO PRE-AISLADO PARA LA EMPRESA ITC AIRE SAS.

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECANICO

ANDRES FELIPE GARCÍA MÉNDEZ
JAIRO ALEXANDER GARCIA WALTEROS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2020

Nota de aceptación:

JURADO

JURADO

Bogotá D.C. octubre del 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica e Investigaciones

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZALEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONZO PEÑA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director de Investigaciones

Dr. LUIS FERNANDO SANCHEZ HUERTAS

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios, que, al estar presente en cada momento de mi vida, me ha brindado la fortaleza, la sabiduría para lograr este proyecto.

Dedico el desarrollo y esfuerzo de este trabajo a mi madre Milena Méndez y a mi tía Nancy Méndez, que sin su amor y cariño no habría logrado estar donde me encuentro el día de hoy, su guía me enseñó que todo se puede conseguir en la vida con esfuerzo y dedicación. A mi familia que, gracias a ellos y a sus esfuerzos, mi proyecto de vida y carrera se vio realizado, las palabras no son suficientes para expresar lo agradecido que estoy con ustedes.

A Estefanía Vargas, Fabian Hernández, Daniel López, Erika Obando, Juan David Diaz, Ximena Barreiro y a todos aquellos amigos que me acompañaron en todo este paso por la vida universitaria, que de ustedes encontré ese apoyo que va más allá de una sencilla amistad, de todos ustedes solo me llevo alegrías y buenos momentos.

Andrés Felipe García Méndez

Agradecimientos, cuando empecé la carrera pensé, cuando termine la carrera le voy a agradecer a mi mamá y así empieza: Gracias Nelly Elizabeth Walteros, porque nunca dudaste de mí, porque siempre me ayudaste, porque aunque fui un desastre tu siempre supiste como guiarme, porque no dejaste que me perdiera en todas mis locuras, hoy tengo el placer de decirte mamá ya soy ingeniero mecánico, gracias Jairo Alonso García Ferro porque siempre estuviste cuando más te necesitaba y aunque a veces no coincidimos en todo, yo siempre te voy a tratar igual gracias papá, sin ustedes dos no sería la persona que soy hoy, también gracias a mi hermana Lina Andrea García Walteros, porque tú sin saber nada de ingeniería me acompañaste en las noches que me tocó trasnochar, siempre estás cuando te necesito y siempre te voy a necesitar y quiero que sepas, que yo siempre estaré para ti y también a mis compañeros Sergio Arcila delgado y Adrián Camilo Gil, su apoyo fue de mucho ayuda para mí, final mente gracias a mi tío Carlos Mauricio García Ferro el hombre que siempre será mi ejemplo.

Jairo Alexander García Walteros

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEORICO	24
1.1 GENERALIDADES DE LOS PANELES DE ALUMINIO PRE-AISLADO	24
1.2 PARAMETROS DEL MATERIAL A RECICLAR	29
2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEPARACIÓN Y DE TRITURACIÓN DEL MERCADO	31
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEPARACIÓN	31
2.1.1 Sistemas de separación por procesos mecánicos.	31
2.1.2 Maquinaria de corte de espuma CNC.	31
2.1.2.1 Máquina de corte de espuma horizontal con cuchilla.	32
2.1.2.2 Sistema modelangelo..	34
2.1.3 Procesos físicos de separación.	35
2.1.3.1 Ciclón.	36
2.1.3.2 Centrifugadora.	36
2.1.3.3 Separación por cambio de densidades.	37
2.1.3.4 Retiro por calor.	38
2.1.3.5 Presión directa sobre la superficie.	39
2.1.4 Sistema de separación por procesos químicos.	40
2.1.5 Inserción en acetona.	40
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRITURACIÓN	40
2.2.1 Trituración.	41
2.2.2 Molino de bajas revoluciones (25 RPM).	42
2.2.2.1 Molino de 4 ejes.	42
2.2.2.2 Molino de 2 ejes.	44
2.2.3 Molino de altas revoluciones.	45
2.2.3.1 Molino de cuchillas.	45
2.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	46

2.3.1	Parámetros de funcionamiento de la máquina de separación.	46
2.3.2	Parámetros de funcionamiento de la máquina de trituración.	47
3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE ALUMINIO PRE-AISLADO DETERMINANDO PARÁMETROS DE DISEÑO, MODO FUNCIONAL Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN		48
3.1	DISEÑO CONCEPTUAL	48
3.1.1	alternativas de solución para separación.	48
3.1.2	Alternativas de solución de trituración.	49
3.2	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	50
3.2.1	Ponderación Scoring para separación.	50
3.2.2	Ponderación Scoring para trituración.	51
4. DISEÑO DETALLADO DE LA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE ALUMINIO		53
4.1	DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN	53
4.1.1	Selección de los rodillos.	53
4.1.2	Calculo de fuerza de fricción..	55
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN	57
4.2.1	Cálculo de la fuerza de corte.	57
4.2.2	Cálculo del torque y selección del motor.	60
4.2.3	Diseño de la cuchilla de corte.	62
4.2.3.1	Selección del material de la pieza.	63
4.2.3.3	Realizar el enmallado 3D.	65
4.2.3.4	Eliminar la malla 2D.	66
4.2.3.5	Asignar las restricciones del modelo.	67
4.2.3.6	Asignar las cargas al modelo.	67
4.2.3.7	Simulación.	69
4.3	DISEÑO DETALLADO DE LOS EJES	70
4.3.1	Descomposición de las fuerza de corte en los planos “yz” y “xz”.	70
4.3.2	Selección del Sprocket y calculo de la fuerza de tensión.	71

4.3.3	Calculo de diagramas de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flector eje 1.	74
4.3.3.1	Diagrama de cuerpo libre del eje 1 plano xz. ¡Error! Marcador no definido.	
4.3.4	Cálculo de diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector eje 2.	86
4.3.5	Calculo del límite de resistencia a la fatiga (se).	95
4.3.6	Parámetros de diseño para los ejes.	97
4.3.7	Cálculo de los diámetros primer eje.	104
4.3.8	Cálculo de los diámetros segundo eje.	113
4.4	SELECCIÓN DE ACOUPLE	118
4.5	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS	120
4.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN	123
4.6.1	Descripción sistema de separación.	123
4.6.2	Diseño del subsistema de tuberías.	124
4.6.3	Determinación del Régimen del fluido.	126
4.6.4	Cálculo de la rugosidad relativa.	127
4.6.5	Cálculo del factor de fricción.	
4.6.6	Cálculo de la Caída de Presión.	129
4.6.7	Cálculo de pérdidas.	130
4.6.8	Cálculos de pérdidas por accesorios.	131
4.6.9	Cálculo de la diferencia de alturas para impulsar el fluido.	134
4.6.10	Cálculo de la cabeza de la bomba.	134
4.6.11	Cálculo de la potencia de la bomba.	135
4.6.12	Selección de la bomba.	135
4.6.13	Válvula para cono de separación.	136
4.7	ESTRUCTURA	138
4.7.1	Cálculo de carga muerta.	138
4.7.2	Cálculo De Viga.	139
4.7.3	Sumatoria de fuerzas y de momentos y diagramas.	141
4.7.4	Cálculo de columna.	
4.7.5	Calculo pie de amigo.	148

4.7.6	Anclaje del equipo.	161
5.	CALCULO DE TORNILLERIA	164
5.1	CALCULO TORNILLERÍA INTERNA	164
5.1.1	Cálculo de carga externa.	164
5.1.2	Cálculo de precarga.	164
5.1.3	Fracción de la carga externa.	167
5.1.4	Cálculo de la carga P en tornillería interna.	169
5.2	CÁLCULO DE TORNILLERÍA EXTERNA	170
5.2.2	Cálculo de la carga P en tornillería externa.	172
6.	PANEL DE CONTROL	173
6.1	FUNCIONAMIENTO DEL PANEL DE CONTROL	177
7.	MANUAL DE MONTAJE	180
8.	MANUAL DE SEGURIDAD	203
9.	MANUAL DE OPERACIÓN	205
10.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	207
11.	IMPACTO AMBIENTAL	212
11.1	FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE PIEZAS	212
11.2	PUESTA EN MARCA Y MANTENIMIENTOS	212
12.	CAPITULO FINANCIERO	215
12.1	COSTES DE INGENIERÍA	215
12.1.1	Costes de talento humano.	215
12.1.2	Costes de equipos y licencia .	
12.1.3	Gastos Fungibles.	216
12.1.4	coste total egresos de Ingeniería..	216
12.2	COSTES DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DEL EQUIPO	216

12.3	COSTO TOTAL DE LA MAQUINA	217
12.4	EVALUACIÓN FINANCIERA	218
12.5	CÁLCULO DE INDICADORES	220
12.5.1	VPN.	220
12.5.2	Tasa interna de retorno.	
13.	CONCLUSIONES	222
14.	RECOMENDACIONES	223
	BIBLIOGRAFÍA	224

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Visualización de los Poros PIR	29
Figura 2. Máquina de corte de espuma horizontal marca D&T modelo DTC – F1212.	31
Figura 3. Características modelo DTC F1212.	32
Figura 4. Máquina de corte de espuma horizontal con cuchilla marca SUNKIST modelo SA-2AS.	33
Figura 5. Datos maquina SA – 2AS SUNKIST.	33
Figura 6. Sistema Modelangelo.	34
Figura 7. Cuchilla de corte modelangelo.	35
Figura 8. Sistema tipo ciclón.	36
Figura 9. Sistema de separación por centrifugadora.	37
Figura.10 Trituración del material compuesto.	38
Figura 11. Resultado del Experimento de Temperatura.	39
Figura 12. Resultados del experimento de presión.	39
Figura 13. Resultados del experimento de separación por medio de acetona.	40
Figura 14. Tipos de trituración en la industria.	41
Figura 15. Clasificación de los sistemas de trituración.	41
Figura 16. Trituradora de 4 ejes.	43
Figura 17. Trituradora de 4 ejes isométrica.	43
Figura 18. Máquina trituradora de 2 ejes.	44
Figura 19. Máquina de molino con cuchillas.	45
Figura 20. Diagrama de Caja Negra del diseño requerido.	48
Figura 21. Tolva de alimentación con rodillos.	53
Figura 22. Datos técnicos de los rodillos motorizados.	54
Figura 23. Dimensiones Geométricas de los Rodillos motorizados y no motorizados.	55
Figura 24. Diagrama de fuerzas de los rodillos y el panel.	56
Figura 25. Disposición de las cuñas en el eje.	60
Figura 26. Cuchillas montadas sobre el eje.	61
Figura 27. Catalogo de selección del motorreductor de SIEMENS.	62
Figura 28. Información sobre el material Steel 1005.	64
Figura 29. Proceso de enmallado 2D.	65
Figura 30. Proceso de enmallado 3D.	66
Figura 31. Proceso de eliminación de enmallado.	66
Figura 32. Restricción de grados de libertad.	67
Figura 33. Asignación de las cargas en la cuchilla.	68
Figura 34. Vectores de carga aplicados.	69
Figura 35. Deformación en la cuchilla.	70

Figura 36. Esquema sistema de acople entre ejes "Sprocket".	72
Figura 37. Catálogo de Martin para selección de Sprockets.	73
Figura 38. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 Plano xz.	75
Figura 39. Diagrama de Fuerza Cortante en plano xz eje 1.	74
Figura 40. Diagrama de Momento Flector plano xz eje 1.	80
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 Plano yz.	81
Figura 42. Diagrama de <i>fuerza</i> cortante plano en yz eje 1.	83
Figura 43. Diagrama de Momento Flector plano yz eje 1.	84
Figura 44. Diagrama de momento total eje1.	84
Figura 45. Diagrama de torque eje 1.	85
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano "xz".	86
Figura 47. Diagrama fuerza cortante eje 2 plano xz.	88
Figura 48. Diagrama de momento flector eje 2 en el plano xz.	89
Figura 49. Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano yz.	90
Figura 50. Diagrama fuerza cortante eje 2 plano yz.	91
Figura 51. Diagrama de momento flector eje 2 en el plano yz.	92
Figura 52. Diagrama de momento total eje 2.	93
Figura 53. Diagrama de torque eje 2.	94
Figura 54. Diagrama básico eje 1.	104
Figura 55. Valores de cálculo para el punto A.	105
Figura 56. Valores de cálculo para el punto B.	106
Figura 57. Material cuña punto B.	107
Figura 58. Valores de cálculo para el punto C.	108
Figura 59. Valores de cálculo para el punto C.	109
Figura 60. Material cuña punto C.	110
Figura 61. Selección anillos.	112
Figura 62. Diagrama básico eje 2.	113
Figura 63. Valores de cálculo para el punto D.	113
Figura 64. Valores de cálculo para el punto E.	114
Figura 65. Material cuña punto E.	115
Figura 66. Valores de cálculo para el punto F.	117
Figura 67. Acople flexible tipo cadena.	119
Figura 68. Propiedades acople flexible tipo cadena.	119
Figura 69. Ajuste rodamiento en el eje.	122
Figura 70. Sistema de separación y sus componentes.	123
Figura 71. Longitud tubería sistema de separación en mm.	129
Figura 72. Tubería de bordes afilados hacia adentro.	130
Figura 73. Factor de forma para mallas RAS 2000.	133
Figura 74. Malla Mesh 8 Incolmallas.	133
Figura 75. Curva de eficiencia de la bomba seleccionada con 120w.	136
Figura 76. Válvula mariposa cono de separación.	137

Figura 77. Características válvula de mariposa wafer PN10/16.	137
Figura 78. Carga muerta equipo.	138
Figura 79. Viga que resiste el quipo.	139
Figura 80. Diagrama cuerpo libre.	141
Figura 81. Diagramas de fuerza cortante y momento flector viga.	142
Figura 82. Columna.	145
Figura 83. Pie de amigo.	149
Figura 84. Puntos de apoyo.	150
Figura 85. Diagrama Cuerpo libre.	151
Figura 86. Diagrama fuerza cortante y momento flector.	153
Figura 87. Diagrama cuerpo libre.	154
Figura 88. Diagrama fuerza cortante y momento flector.	156
Figura 89. Sistema de vigas pie de amigo.	157
Figura 90. Diagrama viga 2 y 3.	158
Figura 91. Diagrama viga 3.	158
Figura 92. Diagrama de cuerpo libre.	159
Figura 93. Diagrama fuerza cortante y momento flector.	160
Figura 94. Anclaje.	161
Figura 95. Proceso de instalación anclaje.	161
Figura 96. Tornillo de sujeción Kwik Bolt 3.	162
Figura 97. Fuerza de precarga.	166
Figura 98. Circuito eléctrico panel de control.	173
Figura 99. Conexión arranque en estrella motorreductor y conexión bomba.	174
Figura 100. Braker.	175
Figura 101. Pulsador de parada.	175
Figura 102. Pulsador de inicio.	176
Figura 103. Pulsador de parada de emergencia.	176
Figura 104. Sistema des energizado.	177
Figura 105. Sistema energizado.	178
Figura 106. Conexión arranque en estrella motorreductor y conexión bomba energizada.	178
Figura 107. Sistema des energizado.	179
Figura 108. Sistema en paro de emergencia.	179
Figura 109. Simbología de identificación de pieza.	180
Figura 110. Ensamble etapa 1.	181
Figura 111. Ensamble etapa 2.	181
Figura 112. Ensamble etapa 3.	182
Figura 113. Ensamble etapa 4.	183
Figura 114. Ensamble eje 1.	184
Figura 115. Ensamble trituración 1.	185
Figura 116. Ensamble trituración 2.	186

Figura 117. Ensamble trituración 3.	187
Figura 118. Ensamble trituración 4.	188
Figura 119. Ensamble trituración 5.	189
Figura 120. Piezas sistemas 1.	190
Figura 121. Piezas sistemas tanque1.	191
Figura 122. Piezas sistemas tanque2.	192
Figura 123. Piezas sistemas tanque 3.	193
Figura 124. Piezas sistemas tanque 4.	194
Figura 125. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 1.	195
Figura 126. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 2.	195
Figura 127. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 3.	196
Figura 128. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 4.	196
Figura 129. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 5.	197
Figura 130. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 6.	198
Figura 131. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 7.	199
Figura 132. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 8.	199
Figura 133. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 9.	200
Figura 134. Ensamble 1.	201
Figura 135. Ensamble final 1.	202
Figura 136. Descripción de los componentes de la máquina.	208
Figura 137 Matriz ambiental	213
Figura 138 Componentes y acciones del proyecto	214
Figura 139 Componentes ambientales	214
Figura 140. Descripción tasa.	220

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades paneles de PIR-ALU	30
Tabla 2. Otros sistemas de corte CNC.	35
Tabla 3. Parámetros de funcionamiento de la separadora.	46
Tabla 4. Comparación de parámetros de sistemas de separación.	46
Tabla 5. Comparación de parámetros de sistemas de trituración.	47
Tabla 6. Ponderación Scoring para la separación.	51
Tabla 7. Ponderación Scoring para la trituración.	52
Tabla 8. Tabla de coeficientes de fricción.	56
Tabla 9. Parámetros de cálculo de esfuerzo ultimo del PIR-ALU.	58
Tabla 10. Parámetros y resultados del cálculo de fuerzas de corte.	59
Tabla 11. Parámetros para el cálculo del torque.	61
Tabla 12. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería.	63
Tabla 13. Descomposición de fuerzas sobre los ejes.	71
Tabla 14. Parámetros de transmisión por Sprocket/Cadena.	74
Tabla 15. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano xz eje 1.	76
Tabla 16. Valores diagrama de esfuerzo Cortante en plano xz eje 1.	77
Tabla 17. Valores del diagrama del momento flector en el plano xz eje 1.	80
Tabla 18. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano yz eje 1.	82
Tabla. 19 Valores diagrama de fuerza cortante plano yz en eje 1.	83
Tabla 20. Valores diagrama de Momento Flector plano yz eje 1.	84
Tabla 21. Valores diagrama de momento total eje1.	85
Tabla 22. Valores diagrama de torque eje 1.	85
Tabla 23. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano XZ.	87
Tabla 24. Valores diagrama de fuerza cortante eje 2 plano xz.	88
Tabla 25. Valores diagrama de momento flector eje 2 en el plano xz.	89
Tabla 26. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano yz.	91
Tabla 27. Valores diagrama fuerza cortante eje 2 plano yz.	92
Tabla 28. Valores diagrama de momento flector eje 2 en el plano yz.	93
Tabla 29. Valores diagrama de momento total eje 2.	94
Tabla 30. Valores diagrama de torque eje 2.	95
Tabla 31. Factor de superficie.	96
Tabla 32. Limite de resistencia a la fatiga (Se).	97
Tabla 33. Tabla de concentradores de esfuerzos Kt.	101
Tabla. 34. Tabla de concentradores de esfuerzo Kts.	101
Tabla. 35. Tabla de concentradores de esfuerzo Kt ranura.	102
Tabla 36. Tabla de concentradores de esfuerzo Kts ranura.	103
Tabla. 37. Tabla de concentradores para cuña.	103
Tabla 38. Tabla de diámetros de ejes para cuña.	104

Tabla 39. Diámetro inicial en el punto A.	105
Tabla 40. Diámetro seleccionado en el punto A.	106
Tabla 41. Diámetro inicial punto B.	106
Tabla 42. Diámetro seleccionado en el punto B.	108
Tabla 43. Diámetro inicial punto c.	108
Tabla 44. Diámetro seleccionado punto C.	109
Tabla 45. Diámetro inicial en el punto C caso cuña.	110
Tabla 46. Análisis del diámetro en la cuña.	111
Tabla 47. Análisis del diámetro en la ranura.	112
Tabla 48. Diámetro inicial punto D.	113
Tabla 49. Diámetro seleccionado en el punto D.	114
Tabla 50. Diámetro inicial en el punto E.	115
Tabla 51. Diámetro seleccionado en el punto E.	116
Tabla 52. Diámetro inicial punto F.	117
Tabla 53. Diámetro seleccionado punto F.	118
Tabla 54. Tabla de rodamientos a seleccionar.	121
Tabla 55. Propiedades del fluido de trabajo.	124
Tabla 56. Tubería SCH 40 1/2 de pulgada.	125
Tabla 57. Tubería SCH 40 PVC ½ de pulgada características.	126
Tabla 58. Rugosidad absoluta por materiales.	127
Tabla 59. Pérdida de carga por accesorios.	131
Tabla 60. Características de la bomba.	136
Tabla 61. Perfil de estructura seleccionado.	143
Tabla 62. Condiciones de borde.	146
Tabla 63. Propiedades de columna.	146
Tabla 64. Perfil estructural pie de amigo.	154
Tabla 65. Tabla para soldadura libro de Mott.	162
Tabla 66. Tabla para soldadura libro de Mott.	163
Tabla 67. Tabla Área de esfuerzo a tensión.	165
Tabla 68. Tabla resistencia de prueba.	166
Tabla 69. Tabla parámetro de rigidez de varios materiales.	169
Tabla 70. Partes de sistema alimentación.	180
Tabla 71. Piezas Eje de trituración.	183
Tabla 72. Piezas trituración.	185
Tabla 73. Piezas sistemas.	189
Tabla 74. Piezas sistemas tanque.	191
Tabla 75. Ensamble de estructura – alimentación – trituración.	194
Tabla 76. Acople de sistemas.	200
Tabla 77. Ensamble final.	201
Tabla 78. Valores financieros 1.	215
Tabla 79. Valores financieros 2.	215

Tabla 80. Valores financieros 3.	216
Tabla 81. Valores financieros 4.	216
Tabla 82. Costos de producción.	217
Tabla 83. Valores financieros 5.	217
Tabla 84. Valores financieros 6.	219

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Características de los paneles de aluminio preaislado y norma que lo rigen	24
Cuadro 2. Cuadro de inspecciones	209
Cuadro 3. Cuadro de fallas.	210

RESUMEN

En los últimos años se ha presentado un incremento de la contaminación ambiental dado el desmedido consumo de productos de origen polimérico, estos polímeros en su mayoría son elementos poliméricos de carácter termoestable, los cuales no permiten su reutilización una vez fabricado el mismo.

Actualmente en los sistemas de ventilación de alta precisión es necesario utilizar elementos aislantes de bajas tasas de transferencia de calor, como lo son los paneles de aluminio pre-aislado, los cuales constan de dos láminas de aluminio gofrado de 60 μm que recubren una lámina de espuma de polisociunorato el cual es un polímero termoestable.

Como decíamos anteriormente los paneles de aluminio pre-aislado son utilizados en la construcción de sistemas de aire acondicionado y ventilación de alta precisión, para ser exactos en los ductos del sistema. Estos ductos tienen una construcción manual en el que se corta el panel en diferentes formas y tamaños para generar diferentes geometrías en el sistema, al generar estas geometrías parte del material inicial se pierde como material sobrante de la generación de los ductos de aire acondicionado, este material tiene un elevado costo de disposición dado que es un material altamente contaminante y dispuesto por empresas específicas para depositarlo en zonas con permisos especiales, lo cual no elimina el problema principal en cuanto a contaminación ambiental.

Dados los altos costos que manejan las empresas que disponen del material sobrante de los paneles de aluminio pre-aislado, la empresa ITC Aire SAS ha decidió diseñar un proyecto para un equipo que le permita separar las láminas de aluminio de la espuma polimérica para reutilización de las partes poliméricas en la fabricación de nuevos paneles de relleno útil en el aislamiento de fachadas, logrando con esto que la empresa recupere parte del gasto inicial en la compra de los paneles de aluminio, con el ingreso de dinero mediante la reutilización de los materiales sobrantes.

Para el proceso de reutilización de los materiales, la maquina debe contar con un equipo especial que le permita separar las láminas de aluminio pre-aislado de la espuma polimérica y también un sistema de trituración que le facilite reducir la espuma polimérica a un tamaño de partículas de entre 10 mm a 20 mm de diámetro para la construcción de los paneles de relleno de fachadas que permitan el aislamiento.

INTRODUCCIÓN

La empresa ITC aire SAS, es una compañía especializada en diseño e instalación de aire acondicionado y ventilación mecánica, a nivel nacional ubicada en Bogotá, el objeto social esta empresa está enfocado al desarrollo de soluciones en sistemas de aire acondicionado y ventilación en el área comercial y de oficinas. Uno de los factores a controlar dentro del área de trabajo en las diferentes empresas es su ambiente, el cual se tiene que mantener en condiciones de operación que garanticen su presión, su humedad y su temperatura, las cuales deben ser funcionales y aptas para el normal desarrollo de las labores cotidianas de sus trabajadores.

Dentro de estos proyectos comúnmente se usan ductos de acero galvanizado para la extracción y renovación de aire, pero este último presenta un problema en el control de las propiedades del aire, al permitir un intercambio de temperatura por su alto índice de transferencia de calor. Por esta razón cuando se trabaja ductos de aire acondicionado es necesario la utilización de paneles de aluminio preaislado, el cual, al tener un índice de transferencia de calor más bajo, permite que el fluido de trabajo mantenga sus propiedades de operación, impidiendo la transferencia de calor del medio ambiente que lo rodea.

La construcción se desarrolla de forma manual, gracias a las facilidades que presenta este material para su manejo, debido a las complicadas geometrías que se deben desarrollar en los diferentes proyectos; estas geometrías se ven afectadas tanto por su funcionalidad de operación, como por las intersecciones que se generen en los diferentes sistemas presentes en el área de trabajo como lo son redes de incendio, líneas eléctricas, redes sanitarias, sistema estructural, etc.

Una vez culminado el proyecto, se generan residuos de la materia prima que se dispone por empresas especializadas para el manejo de estos, dado que los paneles de aluminio preaislado están hechos de un material altamente contaminante que no permite su reutilización de forma típica.

La empresa ITC aire SAS en busca de reutilizar el aluminio y la espuma se planteó la opción de separar estos dos componentes, de un lado, el aluminio se reciclará y se venderá, y por el otro lado la espuma se pretende triturar, para posteriormente adicionarle resinas y hacer paneles de espuma reciclada de 50 cm por 50 cm, para el aislamiento de techos falsos.

En este proyecto se realizará un diseño de una máquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado para la empresa ITC aire SAS, el diseño se efectuará para paneles de aluminio preaislado, PIR-ALU 20/35, caracterizando los sistemas de separación y trituración del mercado, identificando los parámetros funcionales de la máquina, para plantear un diseño conceptual y así poder

determinar sus parámetros de diseño, modo funcional, y alternativas de solución. De esta forma escoger la alternativa óptima que cumpla con los requisitos, que nos permitan determinar los materiales y dimensiones de cada sistema como son: alimentación, separación, trituración, potencia, control eléctrico y estructural, soportado a partir de los cálculos necesarios para cada uno de ellos.

Con base en lo anterior se elaboraran los planos de construcción que componen cada uno de los sistemas de la máquina, así mismo se realizarán distintos manuales tales como manual de montaje, que nos permitirá realizar el correcto ensamble estructural, manual de seguridad que nos permitirá evitar posibles riesgos latentes a la hora de entrar en funcionamiento, manual de operación que nos indicara la correcta forma de manipulación durante el proceso de separación y trituración y manual de mantenimiento que nos recomendara las acciones necesarias para mantener la maquina en un estado óptimo de operación.

Finalmente se elaborará un estudio de impacto ambiental y un análisis de costos de fabricación comparado con el proceso actualmente empleado en la empresa ITC Aire SAS.

Por esta razón surge la siguiente pregunta ¿Cuál es el diseño adecuado para una maquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado para la empresa ITC aire SAS?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseño de una maquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado para la empresa ITC aire SAS

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Reconocer los sistemas de separación y trituración, identificando los parámetros funcionamiento de la maquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado.
- 2) Plantear el diseño conceptual de la maquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado determinando alternativas de solución, parámetros de diseño y modo funcional.
- 3) Realizar diseño detallado de la maquina separadora y trituradora de paneles de aluminio preaislado a partir de la selección óptima.
- 4) Elaborar los respectivos manuales de montaje, operación, seguridad y mantenimiento.
- 5) Elaborar un estudio de impacto ambiental y un análisis de costos de fabricación.

1. MARCO TEORICO

1.1 GENERALIDADES DE LOS PANELES DE ALUMINIO PRE-AISLADO

Dado que se va a generar un proceso de separación y trituración, es necesario caracterizar el material que compone el panel de PIR-ALU, compuesto por un material polimérico como relleno y un material metálico que lo recubre, sobre el cual la maquina va a trabajar, especificando las propiedades químicas, físicas, térmicas, estructurales, etc. El material para trabajar será el PIR-ALU 20/35TM, siendo la lámina de espuma rígida de polisociunorato, la cual es una lámina de espuma rígida de polisociunorato de 30 mm de espesor recubierta por dos láminas de aluminio gofrado con 60µm de espesor y se utiliza en sistemas de aire acondicionado de alta precisión dada su baja tasa de transferencia de calor. En el cuadro 1 podemos evidenciar las características de los paneles de aluminio preaislado y las normas que lo rigen.

Cuadro 1. Características de los paneles de aluminio preaislado y norma que lo rigen.

DIMENSIONES	<p>El espesor estándar de producción es de 20 mm, con un intervalo de tolerancia de +1,5, -1 mm (ensayado según la Norma EN 823).</p> <p>La longitud estándar del panel es de 3.000 mm, con un intervalo de tolerancia de +/- 7 mm (ensayado según la Norma EN 822).</p> <p>La anchura estándar del panel es de 1.200 mm, con un intervalo de tolerancia de +/- 2 mm (ensayado según la Norma EN 822).</p> <p>La rectangularidad estándar del panel se encuentra dentro del intervalo +/- 2 mm (ensayado según la Norma EN 824).</p> <p>Bajo pedido es posible suministrar paneles con otras longitudes y espesores manteniendo las mismas tolerancias arriba descritas.</p>

Cuadro 1 (Continuación)

<p>CARACTERÍSTICAS QUÍMICO FÍSICAS</p>	<p>Material aislante: la espuma rígida de poliisocianurato (PIR) constituyente del panel es el resultado de una reacción química entre polioliol e isocianato específicamente formulados y de primera calidad.</p> <p>El polímero obtenido es fisiológica y químicamente inerte, insoluble y no metabolizable.</p> <p>La densidad nominal del panel PIR-ALU es de 35 kg/m³ con un valor mínimo de 33 kg/m³.</p> <p>El revestimiento está formado por una lámina de aluminio puro gofrado de espesor 60 µm en ambas caras del panel. La lámina de aluminio está protegida en la superficie externa con laca transparente.</p> <p>Color de la espuma: Azul</p> <p>Espumante: el agente espumante no contiene CFC, ni HCFC, ni HFC.</p> <p>El producto final no contiene fibras.</p>
<p>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</p>	<p>La resistencia a la compresión es de 3 kg/cm² +/-0,5 (ensayado según la Norma EN 826).</p>
<p>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</p>	<p>Gracias al elevado número de celdas cerradas, superior al 95%, el panel tiene un valor inicial del coeficiente de conductividad térmica de 0,024 W/m·K (7d, 10°C), según Norma EN 12667</p>

Cuadro 1 (Continuación)

REACCIÓN AL FUEGO	El panel está clasificado Euroclase B-s2, d0, según la Norma EN 13501-1 de reacción al fuego para productos de la construcción y elementos para la edificación.
OPACIDAD DE HUMOS	El panel presenta un valor de VOF4= 23 y DS (4) =19, según la Norma ISO 5659-2 para aplicaciones ferroviarias descritas en la Norma EN 45545-2.
TOXICIDAD DE HUMOS	El panel presenta un valor de CIT=0, según la Norma ISO 5659-2 para aplicaciones ferroviarias descritas en la Norma EN 45545-2.
RIGIDEZ	La rigidez elástica del panel es superior a 160.000 N.mm ² , clasificado como R3, según Norma EN 13403.
ABSORCIÓN DEL AGUA	El panel después de 28 días de inmersión total en agua presenta un aumento de peso no superior al 1,5% según la norma EN 12087.
PERMEABILIDAD AL AGUA	El aluminio con espesor >50 µm es considerado como barrera de vapor.
TEMPERATURA DE USO	El panel puede ser utilizado en un rango de temperatura de -40° a +80°C en ejercicio continuado sin substanciales diferencias en las características termo aislantes. El coeficiente de dilatación térmica lineal es de: 40x10 ⁻⁶ mm/mm K
PRESENTACIÓN Y EMBALAJE	El suministro se realiza en paquetes de 12 paneles, equivalente a 43,2 m ² , de 3.000mm de longitud embalados con robusto cartón.

Cuadro 1 (Continuación)

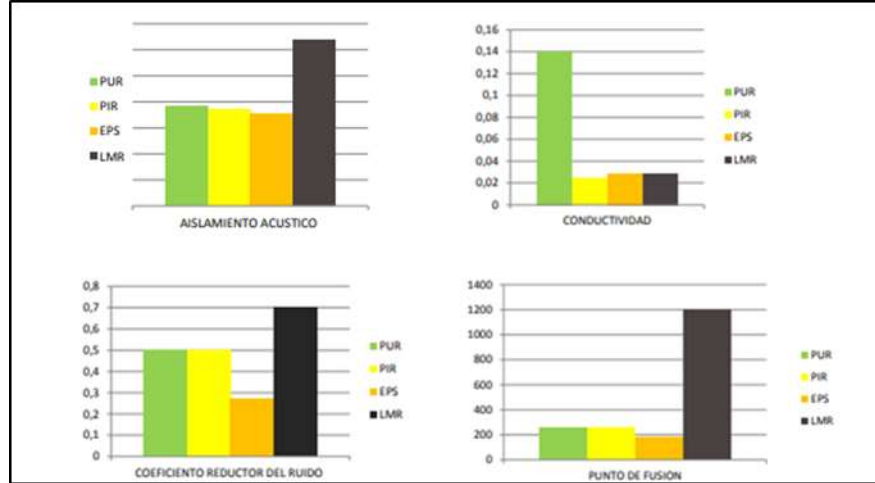
<p>DIMENSIONES</p>	<p>El espesor estándar de producción es de 20 mm, con un intervalo de tolerancia de +1,5, -1 mm (ensayado según la Norma EN 823).</p> <p>La longitud estándar del panel es de 3.000 mm, con un intervalo de tolerancia de +/- 7 mm (ensayado según la Norma EN 822).</p> <p>La anchura estándar del panel es de 1.200 mm, con un intervalo de tolerancia de +/- 2 mm (ensayado según la Norma EN 822).</p> <p>La rectangularidad estándar del panel se encuentra dentro del intervalo +/- 2 mm (ensayado según la Norma EN 824).</p> <p>Bajo pedido es posible suministrar paneles con otras longitudes y espesores manteniendo las mismas tolerancias arriba descritas.</p>
---------------------------	--

Fuente: PIRALU. [Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible En http://www.piralu.com/web-e/ficha%2020_35.htm

“Las espumas de polisociunorato (PIR) difieren de las espumas de poliuretano puro (PUR) solo en la relación de la mezcla de los componentes: polioli e isocianato. Esta relación es de aproximadamente 100:150 en comparación con el 100:100 del PUR. Por lo tanto, hay más isocianato en el PIR que en el PUR como lo muestra la grafico 1. Esta diferencia de composición ofrece al material final propiedades diferentes a causa de la distinta estructura química, incluso si el proceso de espumado, las propiedades mecánicas y físicas normalmente son parecidas”¹. Teniendo en cuenta el proyecto citado anteriormente, nos permitirá abordar el diseño de la máquina, el cual va a trabajar con los paneles de aluminio preaislado.

¹ MONGE PONTON, Alex. Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente. Cuenca, 2016, 136p. Universidad de Cuenca. Facultad de ingeniería. Trabajo de investigación (maestría en construcciones)

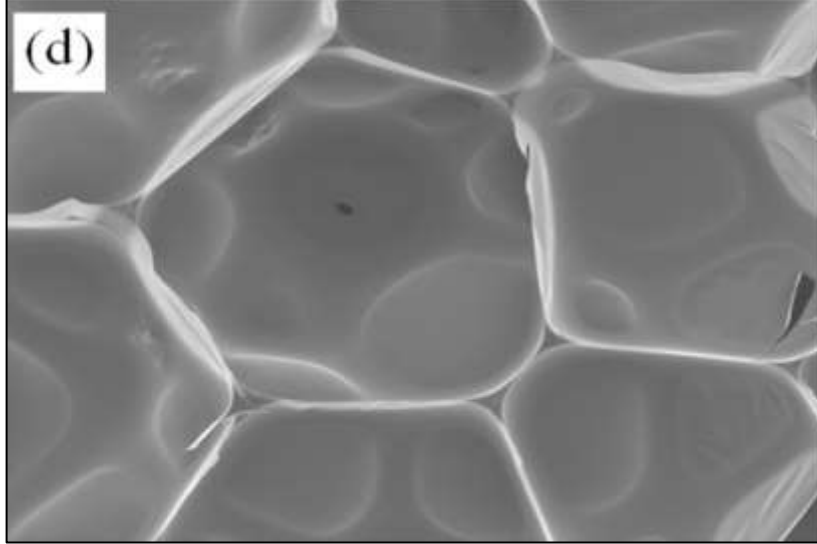
Gráfico 1 Propiedades de espuma



Fuente: MONGE PONTÓN, Alex Guillermo, Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente, universidad cuenca. [Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible En <https://n9.cl/spi9>

Con las características se observa que el PIR es un material de poro cerrado con la cual se determina la estructura de las espumas junto con la densidad relativa, condicionan tanto el comportamiento mecánico como los fenómenos de transporte del material celular. La determinación de los parámetros estructurales incluye un elevado número de aspectos como son: la densidad, el tamaño de celdas, los espesores de pared, etc. Esta determinación resulta necesaria para la modelización del comportamiento de los materiales celulares mediante modelos analíticos o mediante simulación por elementos finitos MEF. También resulta necesario para la modelización MEF, la determinación de la estructura celular tipo que mejor reproduce la estructura real de la espuma, y cuyo requisito es el empleo de modelos topológicos adecuados capaces de llenar completamente el espacio como se muestra en la figura 1, donde se tiene la imagen a microscopio a un aumento de 200x.

Figura 1. Visualización de los Poros PIR



Fuente: Arrué Burillo, Paloma & Cárcel, Alfonso & Romero-Sedo, Antonio-Manuel & cárcel, Bernabe. (2010). Análisis estructural de espumas aislantes PUR y Poliisocianurato de poro cerrado. Boletín Extraordinario de SOCIEMAT. I. 260-263. [Consultado: 6 de febrero 2020]. Disponible En <https://n9.cl/cfi4g>

1.2 PARAMETROS DEL MATERIAL A RECICLAR

En la tabla 1 se describen las propiedades del material a reciclar, indicando el material sobrante en kg, siendo este el material que utilizaremos para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1. Propiedades paneles de PIR-ALU

Propiedades		Proyecto	
Longitud Pir-Alu	3 m	Número de laminas	22
Ancho Pir-Alu	1.2 m	Volumen	1.7424 m ³
Espesor Pir-Alu	0.022 m	Porcentaje de uso (75%)	1.3068 m ³
Volumen lamina	0.0729 m ³	Porcentaje perdida (25%)	0.4356 m ³
		Material para reciclar	15.246 kg

Fuente: elaboración propia, con base en PIRALU

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEPARACIÓN Y DE TRITURACIÓN DEL MERCADO

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SEPARACIÓN

Existen diferentes procesos de separación en el mercado y la industria. Para caracterizarlos se dividen en tres grupos, separación por procesos mecánicos, separación por procesos físicos y separación por procesos químicos.

2.1.1 Sistemas de separación por procesos mecánicos. Para la separación por procesos mecánicos se contempla la maquinaria de corte de espuma, la cual permitirá generar un corte transversal sobre la espuma dividiendo los dos materiales

2.1.2 Maquinaria de corte de espuma CNC. Como se muestra en la figura 2 la máquina TC-F1212 MARCA D&T, la cual genera un corte con un cable abrasivo de alta velocidad, consta de 3 ejes de movimiento, el primero ajusta la altura para el corte, el segundo gradúa el ángulo de corte de 0° a 5° y el tercero es el eje de movimiento transversal de la cama donde se sitúa la espuma, este determina la velocidad de avance, en la figura 3 se muestran las características de la máquina de ese modelo.

Figura 2. Máquina de corte de espuma horizontal marca D&T modelo DTC – F1212.



Fuente: Hangzhou Fuyang D&T Industry Co.,Ltd.[Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible en <https://n9.cl/cieio>

Figura 3. Características modelo DTC F1212.

Modelo	DTC-F1212
Tamaño máximo del producto (L * W * H)	2500*1200*1000mm
Alambre de corte	0,8 ~ 2mm
Sistema de Control	Industrial computadora + WindowsXP
Software	D & T Profiler
Velocidad de corte	0 ~ 0,6 m/min
La tolerancia	±0 5mm
Potencia total de	<5.5kw
Peso total	1200 kg
Dimensión general (L * W * H)	6200*2400*2380mm

Fuente: Hangzhou Fuyang D&T Industry Co.,Ltd.[Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible en <https://n9.cl/cieio>

2.1.2.1 Máquina de corte de espuma horizontal con cuchilla. La figura 4 muestra la maquina SA-2AS MARCA SUNKIST, genera un corte con una cuchilla dentada de 32mm, consta de 3 ejes de movimiento, el primero ajusta la altura para el corte, el segundo gradúa el ángulo de corte de 5 ° a 0 ° y el tercero es el eje movimiento transversal de la cama donde descansa la espuma, este determina la velocidad de avance y la unidad de succión de polvo.

Figura 4. Máquina de corte de espuma horizontal con cuchilla marca SUNKIST modelo SA-2AS.



Fuente: SUNKIST CHEMICAL MACHINERY LTD. [Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/tys4>

En la figura 5 se muestran los parámetros de la maquina SA-2AS tomados del fabricante SUNKIST.

Figura 5. Datos maquina SA – 2AS SUNKIST.

Ancho de corte	1500 mm
Altura de corte	1000 mm
Longitud de corte	200 cm (estándar)
Espesor de corte	5 mm (depende del tipo de material, en el paso de 1 / 10 mm)
Velocidad de mesa de corte	Aprox. 0 - 56 m por min
Contador de piezas de corte	0 - 999 pcs
Ancho de la hoja del cuchillo	32 mm (dientes)
Presión de operación	4 - 5 kg
Potencia necesaria	9 kW

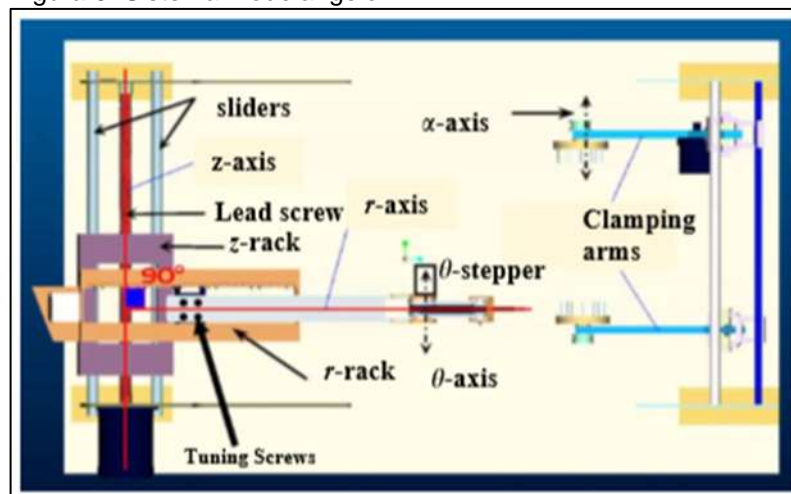
Fuente: SUNKIST CHEMICAL MACHINERY LTD. [Consultado: 26 de febrero 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/tys4>

2.1.2.2 Sistema modelangelo. Es un sistema de 5 ejes como lo muestra la figura 6 que combina el corte lineal con un movimiento de rotación, el movimiento de rotación permite 90° de giro, esto permite esculpir los extremos. La herramienta consta de dos cables de acero inoxidable, que superan el punto de fusión del material a cortar, el alambre externo es el que se encuentra más frío y es el que está en contacto con el material, mientras que el interno derrite la espuma para deshacerse de la viruta, de lo contrario esta podría pegarse a la pieza de trabajo, tal como se muestra en la figura 7.

La nomenclatura usual de los ejes de rotación es la siguiente:

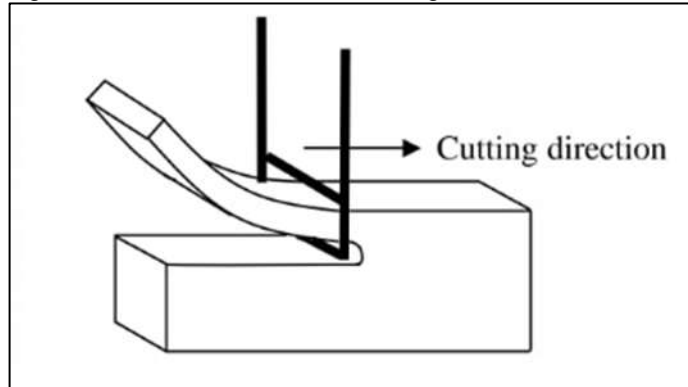
- Eje z movimiento lineal de la herramienta de corte.
- Eje r movimiento radial de la herramienta de corte.
- Eje α movimiento angular de la herramienta de corte.
- Eje θ movimiento angular de la pieza de trabajo.
- Eje y movimiento radial de la pieza de trabajo.

Figura 6. Sistema Modelangelo.



Fuente: R.F. Hamade, Modelangelo_a_subtractive_5-axis_robotic arm for rapid prototyping, 2005, Vol 21, Issue 2, pp 133-144, ISSN 0736-5845, [Consultado: 30 de febrero 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2004.06.004>

Figura 7. Cuchilla de corte modelangelo.



Fuente: BROOKS, Hadley, A review of state-of-the-art large-sized foam cutting rapid prototyping and manufacturing technologies, 2010, vol 16, issue 5, pp 318-327, ISSN 1355-2546 [Consultado: 30 de febrero 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/13552541011065713>

A continuación, se muestran otros sistemas de corte por CNC en la tabla 2 con los cuales podríamos hacer otras posibles opciones de separación.

Tabla 2. Otros sistemas de corte CNC.

Sistema	Herramienta para cortar	estrategia de construcción
RÁPIDO	la cinta caliente	esculpir directa
Trusurf	Chorro de agua	capa basada
SM II	Alambre caliente	capa basada
ModelAngelo	Alambre caliente	esculpir directa
FF-TLOM	la cinta caliente	capa basada
VLM	Alambre caliente	capa basada
RHA	herramienta caliente	esculpir directa
Stratoconcept	Alambre caliente	capa basada
Michelangelo	Alambre caliente	esculpir directa

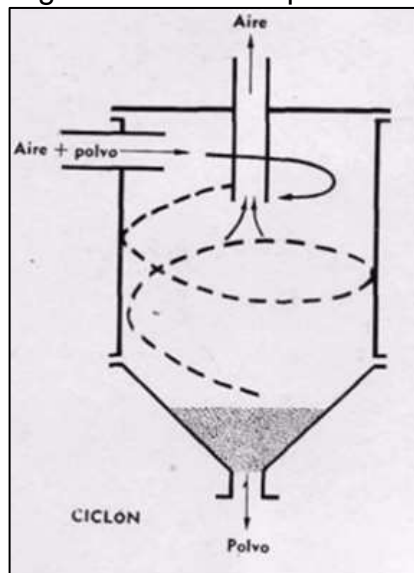
Fuente: BROOKS, Hadley, A review of state-of-the-art large-sized foam cutting rapid prototyping and manufacturing technologies, 2010, vol 16, issue 5, pp 318-327, ISSN 1355-2546 [Consultado: 30 de febrero 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/13552541011065713>

2.1.3 Procesos físicos de separación. Estos procesos constan de sistemas de separación que permitan separar el aluminio de la espuma por medio de principios

físicos como son cambio de densidades, aplicación de calor o presión y algunos de ellos requieren que exista una trituración previa.

2.1.3.1 Ciclón. Este es un equipo de separación de partículas con diferentes densidades, trabaja con dos corrientes de aire, la principal corriente de aire entra en la parte superior con las partículas suspendidas en ella, una vez allí las partículas comienzan a rotar alrededor del cilindro de forma helicoidal como se muestra en la figura 8. Posteriormente las partículas más densas que poseen una mayor inercia, cuando llegan a la parte más estrecha del cilindro chocan y se precipitan a la parte más baja del ciclón, aquí entra la segunda corriente de aire que eleva las partículas menos densas separando de esta forma los dos tamaños de partículas.

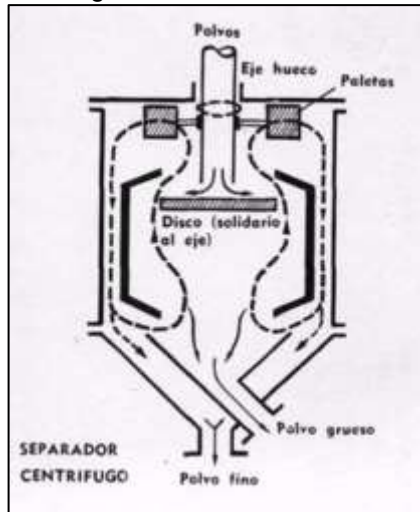
Figura 8. Sistema tipo ciclón.



Fuente: DA GIAU, Bruno, CICLONES: Funcionamiento y aplicaciones en la industria, [En línea], 2017 [Consultado: 2 de marzo 2020]. Disponible En: <https://n9.cl/myi7>

2.1.3.2 Centrifugadora. La centrifugadora es un equipo de separación que aprovecha la fuerza centrífuga y la diferencia de densidades del material, una vez se introducen las partículas dentro de un medio líquido en la cámara de centrifugado e inicia a rotar el eje, las partículas más densas se alejan de este mientras que las menos densas se acercan al eje permitiendo así la separación de las dos densidades tal como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Sistema de separación por centrifugadora.



Fuente: DA GIAU, Bruno, CICLONES: Funcionamiento y aplicaciones en la industria, [En línea], 2017 [Consultado: 2 de marzo 2020]. Disponible En: <https://n9.cl/myi7>

2.1.3.3 Separación por cambio de densidades. En este método de separación se tritura el material compuesto a un tamaño de partícula aproximado de 2 a 5 mm tal y como muestra la figura 10, después se introduce agua para aprovechar la mayor densidad del aluminio (2698 kg/m^3), para que se precipite en el fondo del recipiente y la espuma con una densidad menor (35 kg/m^3) y por el efecto de flotabilidad se mantiene en la superficie del fluido.

Figura. 10 Trituración del material compuesto.



Fuente: elaboración propia

En los resultados del experimento se observó que la mayoría de las partículas de aluminio se precipito al fondo del recipiente, sin embargo, algunas de las partículas de aluminio también flotaron junto con las partículas de la espuma de poliisocianurato (PIR), debido a que, todavía se presentaba una unión entre ellas, pero dicho porcentaje es despreciable en comparación al aluminio decantado. El experimento anterior se realizó basado en el proceso de reciclaje tetra pack, en este proceso los compuestos del tetra pack, como son el papel, el aluminio y los polímeros, son sumergidos en una cámara rotativa con agua, hasta por dos horas, en este tiempo el papel del envase se separa del mismo y se realiza un proceso de colación, posteriormente el papel es reciclado para hacer nuevo papel, mientras que el polietileno de aluminio restante al no poderse separar en sus componentes es prensado para fabricar tejas, otros posibles usos son observados en el documento "Posibilidades de fabricación con el polietileno de aluminio obtenido del reciclaje de envases multicapas", en el cual se basó la idea principal del experimento.

2.1.3.4 Retiro por calor. En este experimento se aplicó un suministro de calor generado por fuego de una estufa a una temperatura de 100 a 148°C (Centígrados) por un tiempo de 50 segundos, el objetivo de este experimento es degradar la unión del adhesivo entre la espuma y el aluminio.

Como resultado del experimento, se obtuvo que la espuma al tener un punto de fusión bajo, se degrado afectando sus propiedades, además la difusión del calor no es uniforme a través de toda la placa de polisociunorato, por lo cual no se cambió en

ninguna medida la adhesión de la lámina de aluminio contra la espuma. Como se muestra en la figura 11

Figura 11. Resultado del Experimento de Temperatura.



Fuente: elaboración propia

2.1.3.5 Presión directa sobre la superficie. En este experimento se aplicó una presión de 9899 KPa sobre la superficie del material, para aprovechar las propiedades de la espuma de celda cerrada y desplazar el aire dentro de esta, y así separar las superficies de aluminio y la espuma.

Los resultados del experimento fueron que la espuma únicamente se compactó con respecto a su volumen inicial pero no se desplazó hacia el exterior como lo hace una espuma convencional tal como lo muestra la figura 12.

Figura 12. Resultados del experimento de presión.



Fuente: elaboración propia

2.1.4 Sistema de separación por procesos químicos. Este proceso consta de adicionarle a los paneles de aluminio preaislado algún elemento químico que permita diluir el pegamento que une las láminas de aluminio con la lámina de espuma y que a su vez no dañe las propiedades de estos componentes.

2.1.5 Inserción en acetona. En este experimento se sumergió el material compuesto en un solvente, la cual es la acetona, por un tiempo de 24 horas, para que reaccionara químicamente con el adhesivo entre el aluminio y la espuma, sin embargo, no se obtuvo ninguna reacción debido a que la espuma tiene un bajo índice de absorción, como lo muestra la figura 13, por lo cual químicamente se hace inviable esta posibilidad, como método de separación. Adicionalmente, cualquier otro solvente al reaccionar con la espuma, la degradaría haciendo que pierda sus propiedades que son un requisito indispensable en el presente proyecto.

Figura 13. Resultados del experimento de separación por medio de acetona.



Fuente: elaboración propia

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRITURACIÓN

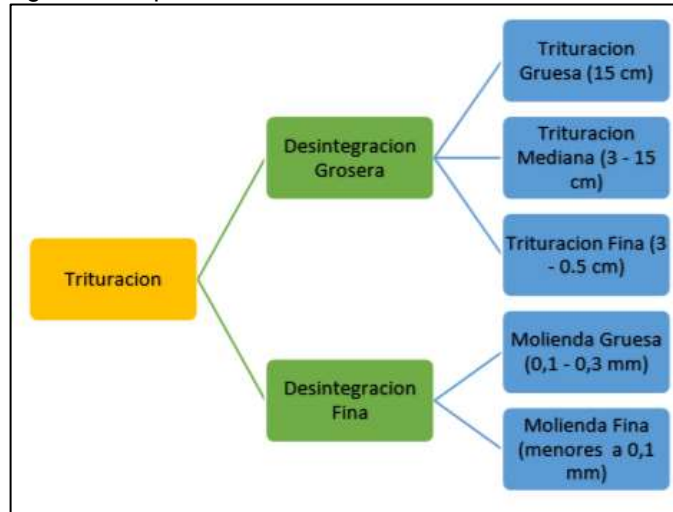
Para poder definir los sistemas de trituración es necesario tener en cuenta las propiedades del material que se va a triturar, estas propiedades se encuentran en los apartados (1.1 y 1.2).

También se comprobaron con los experimentos que se realizaron con el material para la separación en donde no se le podía agregar calor o someter a una compresión; es por esto por lo que se decide investigar los molinos de trituración, ya que permiten cortar el material por medio de cuchillas las cuales se utilizaron para la prueba de separación por cambio de densidades donde el material ya tenía que estar triturado. Es importante caracterizar los tipos de maquinaria que existen

actualmente en el mercado y visualizar las mejores alternativas que permitan dar tratamiento al material.

2.2.1 Trituración. Se tomaron diferentes tipos de trituración existentes en la industria y sus clasificaciones, tal y como lo muestra la siguiente figura 14.

Figura 14. Tipos de trituración en la industria.



Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 de marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>

Existen diferentes tipos de sistemas para trituración, con los cuales se puede llevar un acabado específico al material según la operación a realizar, la clasificación se muestra a continuación en la figura 15.

Figura 15. Clasificación de los sistemas de trituración.



Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 de marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>

2.2.2 Molino de bajas revoluciones (25 RPM). “Son molinos que no tienen cuchillas rotatorias ni fijas, estos equipos tienen incorporados en sus ejes de trituración, cuerpos o elementos dispuestos para agarrar el producto y dar una forma uniforme al triturarlo”². Estos molinos emplean una potencia instalada mucho menor, ya que cuentan con un conjunto de motor eléctrico y reductor, que proporciona un alto par a bajas revoluciones, lo que permite reducir el consumo eléctrico, ruido e intervenciones por mantenimiento puesto que se obtendrá un menor desgaste en los componentes de este.

Para la clasificación de los molinos de trituradores de revoluciones bajas tenemos los siguientes:

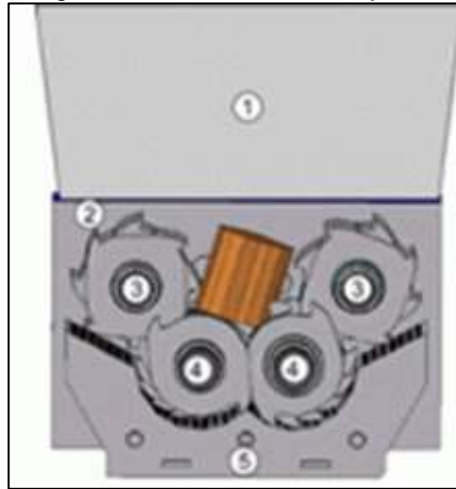
2.2.2.1 Molino de 4 ejes. Como se muestra en las figuras 16 y 17 estos molinos constan de 4 ejes, los cuales tendrán distribuidos a lo largo de los mismos discos con uñas de corte a los cuales se les podrían llamar garfios como los nombra la siguiente cita “La función de los garfios consiste en agarrar el producto y llevarlo hasta las fresas montadas sobre dos o más ejes motores contra giratorios, que realizan el corte neto del material. Es adecuado para pequeñas y medianas empresas, puesto que permite reducir grandes volúmenes de desechos plásticos con la mínima absorción de potencia o energía eléctrica, permite obtener un producto con poca rugosidad y defectos y lo más importante de este es su silencioso andar del motor y del cuerpo de trituración lo que le permite funcionar en cualquier área”³, ya sea industrial o residencial puesto que no afectara al operario o personas de su alrededor.

Como se nombraba en el párrafo anterior los molinos de 4 ejes al ser molinos trituradores bajas revoluciones se caracterizan por un fácil y económico mantenimiento, el cual puede ser realizado por el mismo operario y no es necesario la contratación de personal calificado para la limpieza, ajuste de las piezas del equipo, lubricación o revisión del sistema eléctrico del mismo.

² GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel. Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogota D.C, 2018, 9 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica.

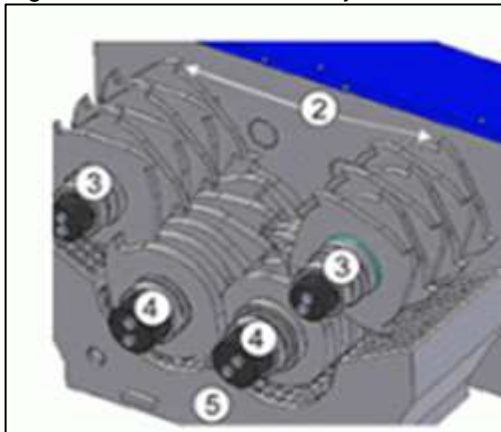
³ GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel. Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogota D.C, 2018, 10p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica.

Figura 16. Trituradora de 4 ejes.



Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 demarzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>

Figura 17. Trituradora de 4 ejes isométrica.



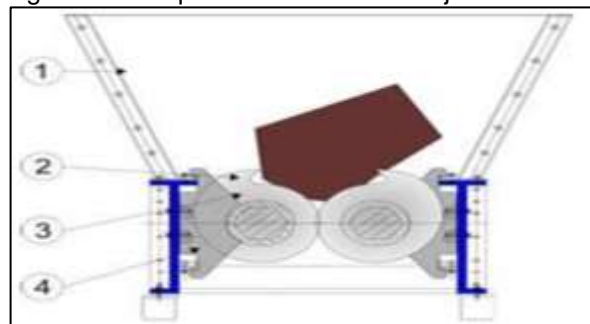
Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 de marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>

2.2.2.2 Molino de 2 ejes. Este molino triturador está diseñado para una alta capacidad de corte con una baja velocidad de sus órganos de corte, los cuales están fabricados en acero de alta aleación antidesgaste, lo que le permite tener un régimen de consumo energético muy bajo, también se caracteriza por su bajo nivel de ruido en operación, lo que le permite operar en cualquier área ya sea industrial o residencial puesto que no generara repercusión o efectos secundarios en el operario.

“La máquina está conformada por dos ejes compuestos de cuchillas o garfios rotatorios como se muestra en la figura, que tienen como función principal agarrar el producto, arrastrarlo y cortarlo gracias a la acción de los dos ejes contra giratorios. Los peines distanciadores tienen la función mantener limpio los utensilios facilitando así la descarga de material ya triturado sobre el tamiz”⁴. Del mismo modo gracias a su elevada capacidad de trituración y a las diferentes conformaciones de grupos de fresas es posible triturar cuerpos enteros y de diferentes dimensiones.

Este y otros molinos deben tener una gran capacidad de disipación de calor, puesto que, si la energía cinética del corte resulta en un incremento excesivo de la temperatura del polímero, este se degradará y de incorporarse al moldeo producirá partes defectuosas, lo cual no sería lo apropiado para el proceso de reutilización del plástico, ya que estarían destinadas nuevamente a la trituración, lo que conlleva a un mayor consumo energético.

Figura 18. Máquina trituradora de 2 ejes.



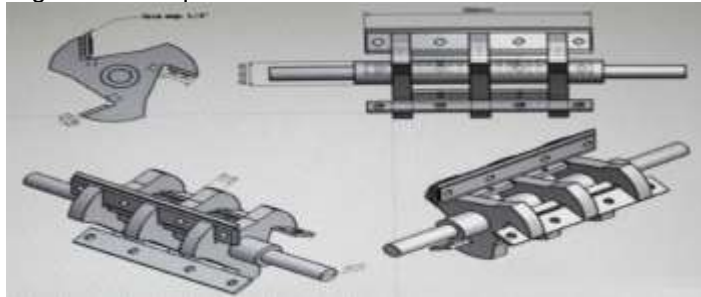
Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 de marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>

⁴ GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel. Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogota D.C, 2018, 12p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica.

2.2.3 Molino de altas revoluciones. Se tratan de “equipos más simples y fácil de utilizar, no obstante demandan un mayor consumo energético, puesto que en este caso de trituración no se requiere un par alto, sino por el contrario, se requiere de un par bajo para obtener así una mayor velocidad de giro de los elementos de corte, esto con el fin de obtener un producto más fino que el obtenido con los molinos de bajas revoluciones”⁵, (todo esto acorde al proceso posterior que obtendrá el material ya triturado). Los molinos de altas revoluciones están constituidos por 3 o más cuchillas rotatorias que giran solidarias al rotor; y en los extremos cuentan con una o más cuchillas fijas las cuales son graduadas para que con el paso de las cuchillas giratorias se produzcan un efecto de cizalla, lo que permite cortar el material.

2.2.3.1 Molino de cuchillas. Los molinos de cuchillas se encargan de triturar y moler los desechos de plásticos con la ayuda de sus cuchillas. Este molino cuenta con la capacidad de variar la velocidad de giro de los órganos de corte, esto con el fin da variar la velocidad de molienda, lo cual ofrece la ventaja de aumentar la capacidad de desechos triturados en menos tiempo, acelerar el proceso y dar resultados óptimos. En su cámara de molienda, que es el lugar donde se lleva a cabo todo el proceso, el giro constante de las cuchillas mezcla, trituran y muelen los residuos de plástico. De esta manera se obtienen mezclas homogéneas que facilitan el proceso de reciclaje de plástico. En la figura 19 se muestra la representación básica de este molino.

Figura 19. Máquina de molino con cuchillas.



Fuente: GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica. [Consultado: 10 de marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10901/11605>



⁵ GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel. Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogota D.C, 2018, 14p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica.

2.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Los parámetros de funcionamiento que se explicaran a continuación son los que permiten un correcto funcionamiento de los equipos anteriormente mencionados, estos parámetros se dividirán para los sistemas de separación y para los sistemas de trituración.

2.3.1 Parámetros de funcionamiento de la máquina de separación. En las tablas 3 y 4 se dan los parámetros de los equipos de separación siendo la separación mecánica para la tabla 3 y para la tabla 4 la separación por procesos físicos.

Tabla 3. Parámetros de funcionamiento de la separadora.

Maquina	sistemas	Sistema de corte	Vc m/min	Lc cm	Tolerancia de corte mm	Requisitos funcionales
S4=Cortadora de espuma D&TDTC-F1212	Mecanico, corte, eléctrico, seguridad, control potencia	 Referencia 4	0-6	50	1	Sistema de sujeción alimentación
S5=Cortadora de espuma Sunkist SA-2AS	Mecanico, corte, eléctrico, seguridad, control potencia	 Referencia 5	0-56	50	3-5	Sistema de sujeción alimentación

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Comparación de parámetros de sistemas de separación.

maquina	requisito de Tamaño de partícula	proceso
Ciclón	100 - 200µm	Dos corrientes de aire
centrifugación	1-2cm	Eje centrifugado y agua
Cambio de densidades	1-2cm	Agua

Fuente: elaboración propia

2.3.2 Parámetros de funcionamiento de la máquina de trituración. En la tabla 5 se evidenciarán los parámetros de funcionamiento de los equipos de trituración que nombramos en el apartado anterior.

Tabla 5. Comparación de parámetros de sistemas de trituración.

Maquina	Rpm recomendadas	Area de triturdo	Sistemas
Molino de 4 ejes Modelo:2566	25	15cm x 50 cm	Alimentacion, Potencia, Trituracion, Estructural, Mecanico
Molino de 2 ejes Modelo:70/80s	25	15cm x 50 cm	Alimentacion, Potencia, Trituracion, Estructural, Mecanico
Molino de cuchillas Modelo:MC 40-120	95	15cm x 50 cm	Alimentacion, Potencia, Trituracion, Estructural, Mecanico

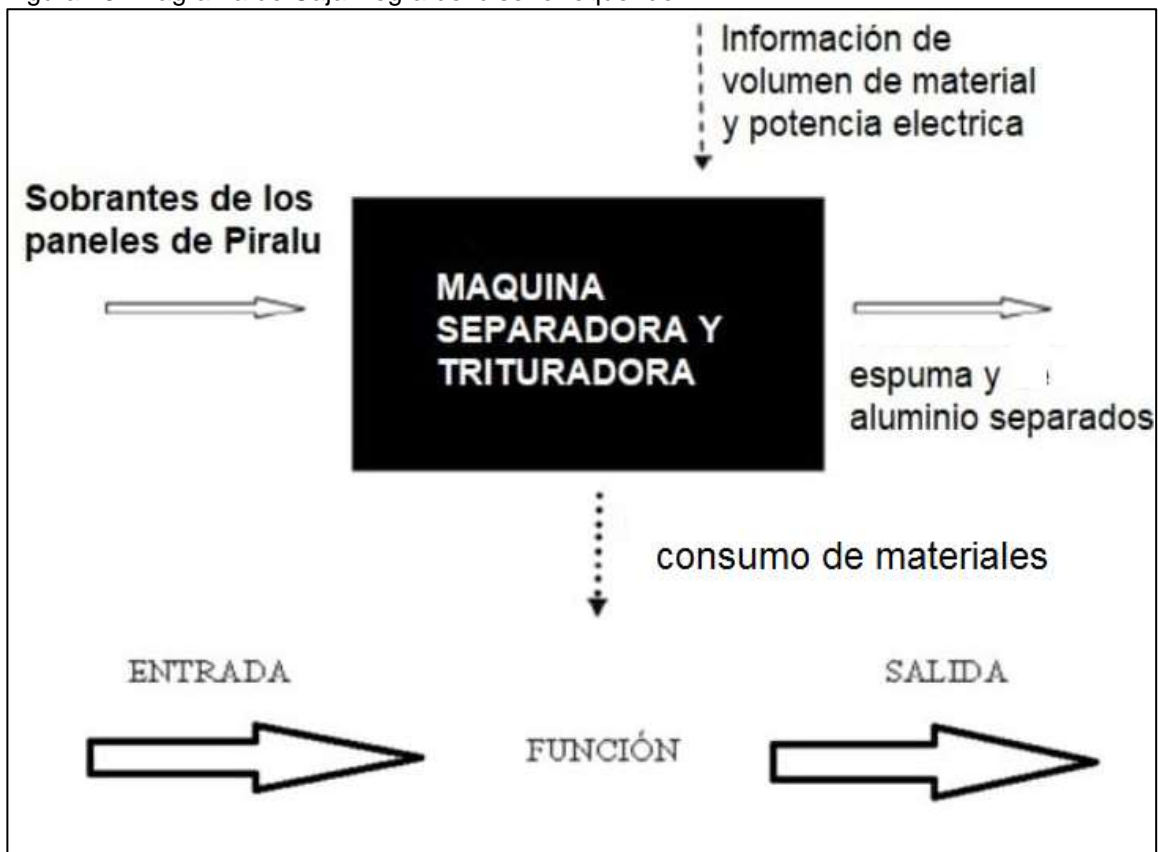
Fuente: elaboración propia

3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE ALUMINIO PRE-AISLADO DETERMINANDO PARÁMETROS DE DISEÑO, MODO FUNCIONAL Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

3.1 DISEÑO CONCEPTUAL

A continuación, para dar inicio al enfoque del diseño óptimo requerido para cumplir con los requerimientos de la empresa ITC Aire SAS, se utiliza un esquema de caja negra para representar lo que entra y lo que sale en el proceso requerido tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Diagrama de Caja Negra del diseño requerido.



Fuente: elaboración propia

3.1.1 alternativas de solución para separación. De acuerdo con el objetivo donde se caracterizan los sistemas de separación y trituración donde se identifican los parámetros funcionamiento de la maquina separadora y trituradora de paneles

de aluminio preaislado, se presentan las siguientes alternativas de separación de material.

3.1.1.1 Primer alternativa de solución para la separación. La máquina de corte DTC-F1212 MARCA D&T figura 2, se escoge ya que el sistema de corte se realiza por medio de alambre de corte de alta velocidad que permite una separación de los componentes de manera más eficiente al tener su corte más exacto y se recupera mayor porcentaje de material.

3.1.1.2 segunda alternativa de solución para la separación. La separación por centrifugado figura 9, se escogió debido a que con esta, se puede trabajar el tamaño de partícula a separar, por otro lado, el sistema de separación de ciclón figura 8, requiere partículas demasiado pequeñas haciendo que el polisociunorato pierda algunas de sus propiedades.

3.1.1.3 Tercera alternativa de solución para la separación. La alternativa de separación por cambio de densidades de los materiales que componen el panel a tratar, dado que es la única que no genera algún tipo de daño en el polisociunorato como se mostro en la figura 10.

3.1.2 Alternativas de solución de trituración. Al igual que en el apartado anterior se procede a presentar las alternativas de solución para la trituración.

3.1.2.1 Trituración de 4 ejes. Dados los beneficios que se pueden tener a la trituración de los molinos de 4 ejes que se observo en la figura 16, se opta por seleccionar este tipo de molino.

3.1.2.2 Molino doble eje. Al ser un molino de bajas revoluciones y tener cualidades similares a las del molino de 4 ejes se opta como posible opción a evaluar, este molino se observó en la figura 18.

3.1.2.3 Trituración con cuchillas. dado que la trituración por cuchillas permite obtener un mejor tamaño de partícula, entre las opciones a evaluar, este molino se puede observar a selección en la figura 19.

3.2 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Método Ponderación de Scoring. Por medio del método de ponderación lineal de Scoring, las ocho alternativas de solución serán evaluadas, escogiendo la mejor alternativa que cumpla con los requerimientos y parámetros de diseño, después se realizara una nueva evaluación Scoring para el proceso de triturado.

Ecuación 1. Ecuación de ponderación de Scoring.

$$s_j = \sum_i W_i * r_{ij}$$

DONDE:

r_{ij} = rating de la Alternativa j en función del criterio i

W_i = ponderación para cada Criterio i.

S_j = Score para la Alternativa j

Escala de valoración de la ponderación para cada criterio i.

5= muy importante

4= algo importante

3 = medianamente importante

2 = poco importante

1= muy poco importante

3.2.1 Ponderación Scoring para separación. Para la ponderación Scoring para separación, se tuvieron en cuenta diferentes criterios, como la facilidad de entrada de material, tamaño adecuado de la partícula, como es la recolección, el costo, cuál de las alternativas tiene un bajo impacto ambiental, facilidad de mantenimiento y ergonomía en el ensamble, dando un peso (o porcentaje) a cada uno de ellos con

el objeto que el SCORE completara el 100%, obteniendo como mejor opción la alternativa de cambio de densidades, como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6. Ponderación Scoring para la separación.

PONDERACIÓN SCORING PARA LA SEPARACIÓN				
Criterio	Peso	Alt 1. Alambre Abrasivo	Alt 2. Maquina Centrifugadora	Alt 3. Cambio de Densidades
facil entrada del material	10%	4	1	4
Tamaño de Particula Adecuado	30%	3	2	3
Facilidad de Recolección	5%	2	3	4
Bajo Costo	15%	3	3	4
Bajo Impacto Ambiental	10%	3	4	3
Facilidad de Mantenimiento	15%	3	2	4
Ensamble Ergonomico	15%	3	3	4
SCORE	100%	3.05	2.45	3.6

Fuente: elaboración propia

3.2.2 Ponderación Scoring para trituración. De igual forma se realizó el estudio de la mejor alternativa para el proceso de trituración teniendo en cuenta los mismos criterios anteriores para dar uniformidad al análisis, dando un porcentaje valorativo a cada uno de ellos, con el objeto de obtener la mejor opción, de este análisis se concluyó que la mejor alternativa es la numero 2, trituración con molino de cuchillas, como se puede apreciar en la tabla 7.

Tabla 7. Ponderación Scoring para la trituración.

PONDERACIÓN SCORING PARA LA TRITURACIÓN				
Criterio	Peso	Alt 1. Molino de 2 ejes	Alt 2. Molino de Cuchillas	Alt 3. Molino de 4 ejes
facil entrada del material	10%	4	4	4
Tamaño de Particula Adecuado	30%	3	4	4
Bajo Costo	15%	3	4	2
Bajo Impacto Ambiental	15%	3	3	3
Facilidad de Mantenimien to	15%	2	4	1
Ensamble Ergonomico	15%	2	4	1
SCORE	100%	2.8	3.85	2.65

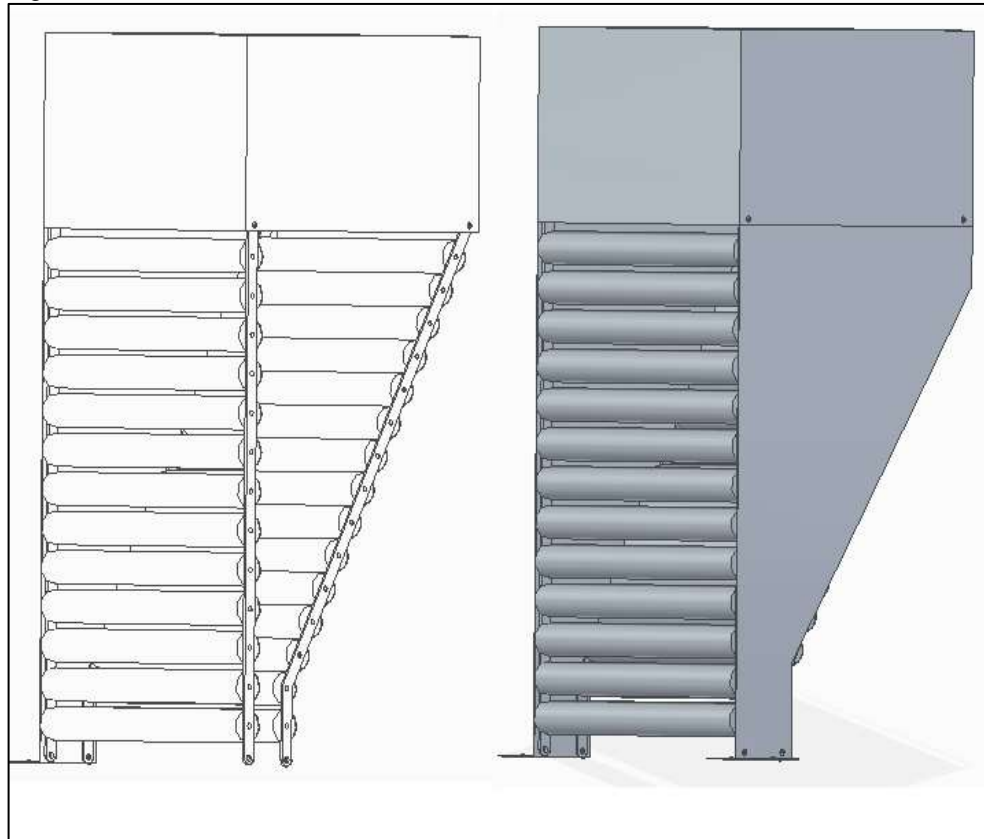
Fuente: elaboración propia

4. DISEÑO DETALLADO DE LA MAQUINA SEPARADORA Y TRITURADORA DE PANELES DE ALUMINIO

4.1 DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN

La tolva de alimentación se diseña de tal forma que el material que se deposite se direccione de forma vertical a la trituración, para esto se emplean una serie de rodillos libres y motorizados como se puede observar en la figura 21.

Figura 21. Tolva de alimentación con rodillos.



Fuente: elaboración propia

La tolva cuenta con cuatro sujetadores atornillados a la carcasa y la tapa lateral de la tolva, con un total de veinticuatro rodillos libres y cuatro rodillos motorizados, estos últimos ubicado en la salida de la tolva a lado y lado fijados con rosca M8.

4.1.1 Selección de los rodillos. Los rodillos motorizados se seleccionan del catálogo de rodillos trasportadores Rollerdrive serie EC310 de la empresa Interroll. Las características de estos rodillos se observan en la figura 22 y a su vez las

uniones tanto para los rodillos no motorizados y motorizados se pueden apreciar en la figura 23.

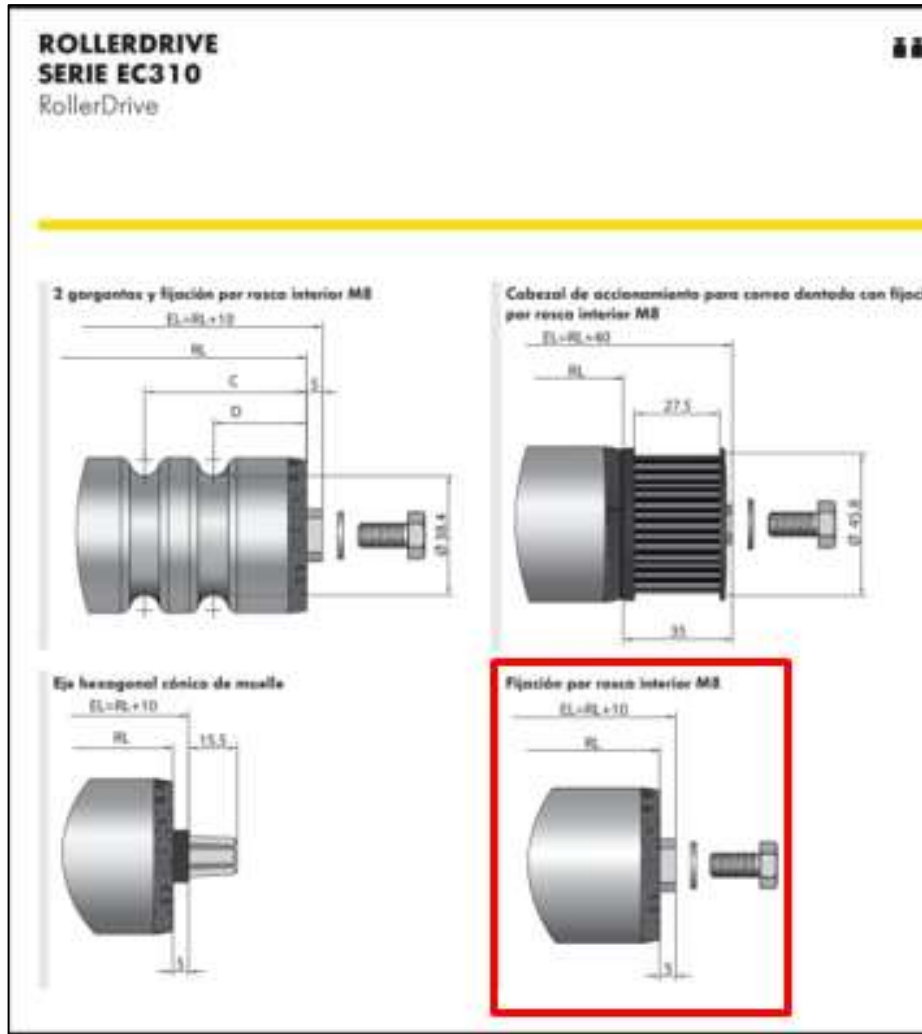
La finalidad de los 4 rodillos motorizados es generar una presión positiva en la entrada del sistema de trituración, para evitar atascos del material, la fuerza de contacto entre los rodillos y el material es despreciable, aclarando que estos rodillos tienen una fuerza carga estática de 1100 N, de esta forma se asegura la alimentación, adicional poseen un recubrimiento en goma de 2 mm para garantizar una mayor adherencia al momento de contacto con los retazos.

Figura 22. Datos técnicos de los rodillos motorizados.

Datos técnicos	
Datos técnicos generales	
Potencia mecánica	32 W (a una temperatura ambiente de 20 °C)
Nivel de ruido máximo (montado)	55 dB(A), en función de la aplicación
Capacidad de carga estática posible	350 N – en la versión con cabezal de accionamiento (para correas PolyVee, redondas o dentadas) 1100 N – en la versión sin cabezal de accionamiento
Eje de motor	11 mm HEX, rosca M12 x 1
Longitud de cable del motor	0,40 m
Datos eléctricos	
Tensión nominal	24 V DC
Corriente nominal	Aprox. 2 A
Corriente de arranque	Aprox. 4 A
Grado de protección	IP54
Version antiestática	Si (< 10 ⁻⁶ Ω)
Dimensiones	
Díametro de tubo/espesor de pared	50 x 1,5 mm; 51 x 2 mm
Longitud máx. de referencia	1500 mm
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiente durante el funcionamiento	0 hasta +40 °C
Temperatura ambiente durante el transporte y el almacenamiento	-30 hasta +75 °C
Material	
Tubo	Acero inoxidable, acero-zincado, acero-cromado, aluminio
Eje de motor	Acero inoxidable
Recubrimiento del tubo	Fundo de PVC 2 mm, 5 mm Fundo de PU 2 mm Recubrimiento de goma 2 hasta 5 mm Elemento cónico

Fuente: INTERROLL, [En línea], [Consultado: 24 de abril 2020].
Disponible En: <https://n9.cl/pa4f>

Figura 23. Dimensiones Geométricas de los Rodillos motorizados y no motorizados.



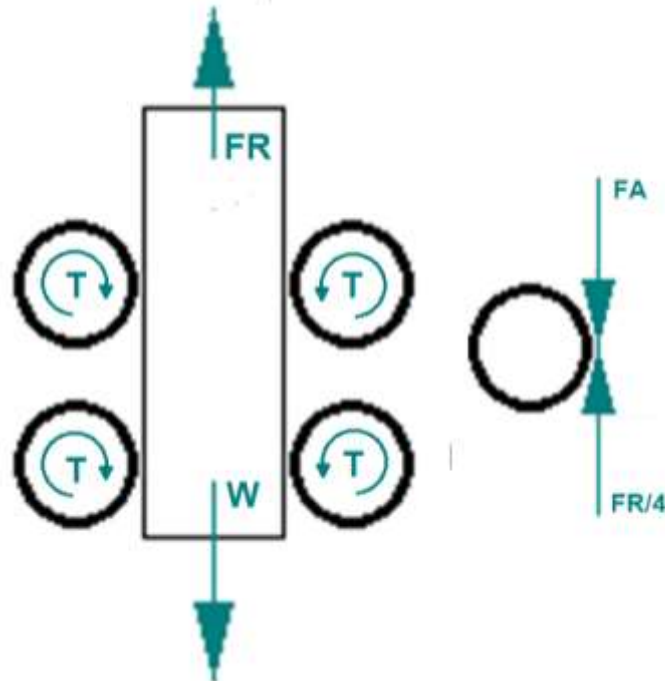
Fuente: INTERROLL, Rollerdrive EC310 [En línea], [Consultado: 24 de abril 2020]. Disponible En: <https://n9.cl/pa4f>

Como observamos en la figura 23 se especifica que las uniones serán con rosca M8 las cuales irán sujetas a los tensores, cabe aclarar que los rodillos vienen incluidos con rodamientos para garantizar si libre movimiento.

4.1.2 Calculo de fuerza de fricción. La finalidad de los 4 rodillos motorizados es generar una fuerza de arrastre en la entrada del sistema de trituración, para evitar atascos del material, la fuerza de ficción se calcula con la ecuacion 2 en donde multiplicando el peso del panel de aluminio pre aislado, que para efectos de cálculo se tomara con un tamaño estándar de 30 cm por 30 cm, dándonos un valor de peso igual a 0,6798 N y el coeficiente de rozamiento dinámico entre la goma de recubrimiento de los rodillos y el aluminio del panel, la fuerza de arrastre esta se

dividirá en 4 por cada uno de los rodillos, esta fuerza es generada por el torque de cada uno de los rodillos motorizados, el diagrama de fuerzas se observa en la figura 24.

Figura 24. Diagrama de fuerzas de los rodillos y el panel.



Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Tabla de coeficientes de fricción.

Material Contact Properties Table				
Material 1:	Material 2:	Mu static:	Mu dynamic:	Restitution coefficient:
Dry rubber	Dry Steel	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Greasy steel	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Dry aluminium	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Greasy aluminium	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Acrylic	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Nylon	0.80	0.76	0.95
Dry rubber	Dry rubber	0.80	0.76	0.95

Fuente: Adams/Solver, MSC Adams, 2010, [Consultado: 24 de abril 2020].
 Disponible En: <https://n9.cl/dkhzy>

Ecuación 2. Fuerza de fricción.

$$fr = w * \mu$$

Donde

fr = fuerza de fricción

w = peso del panel

μ = coeficiente de fricción dinámico

reemplazando los valores

$$fr = 0,6798 N * 0,76$$

$$fr = 0,5168 N$$

la fuerza de fricción es de 0,5168 N, cada rodillo debe superar una fuerza de 0,1292 N debido a que se divide en los 4 rodillos que están en contacto, la fuerza de arrastre según catalogo es 1100 N para cada rodillo, esto quiere decir que no se presentaran atascos de material debida a la fuerza de fricción.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN

4.2.1 Cálculo de la fuerza de corte. Para este cálculo se tuvo en cuenta el documento de la revista científica CSIC titulado “Determinación de la resistencia a esfuerzo cortante en ensayos de flexión a paneles sándwich PUR”, donde se estima la resistencia al esfuerzo cortante de la espuma de polisociunorato con valor promedio de 0,14 MPa, en este mismo documento se evidencia en la simulación por medio de elementos finitos que después de un valor de 0,15 MPa se produce la fractura de la misma, con base en este valor y el de esfuerzo ultimo del aluminio se calcula la fuerza con la regla de mezclas para materiales compuestos laminados, donde se multiplica el esfuerzo ultimo de cada material y su fracción de volumen para finalmente sumarlos.

Ecuación 3. Esfuerzo ultimo de un material tipo sándwich con base a sus esfuerzos individuales y fracciones de volumen.

$$\delta_{sut\ panel} = \delta_{sut\ ALU} * fv\ ALU + \delta_{sut\ PIR} * fv\ PIR$$

Fuente: PÉREZ A. Marco Fundamentos de la mecánica de los materiales compuestos [en línea] Barcelona 20014 [Consultado 28, abril, 2020], disponible en: <https://n9.cl/te3q3>

Donde

$\delta_{sut\ panel}$ = esfuerzo último del panel compuesto

$\delta_{sut\ ALU}$ = esfuerzo último aluminio

$fv\ ALU$ = fracción de volumen aluminio

$\delta_{sut\ PIR}$ = esfuerzo último polisociunorato

$fv\ PIR$ = fracción de volumen polisociunorato

Con base a los parámetros de la espuma de polisociunorato y la ecuación 3 se obtiene la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de cálculo de esfuerzo ultimo del PIR-ALU.

esfuerzo ultimo espuma	0,15	MPa
esfuerzo ultimo aluminio	290	MPa
espesor aluminio	0,00006	m
espesor PIR	0,02	m
volumen total	0,000002012	m ³
volumen PIR	0,000002	m ³
volumen aluminio	0,000000012	m ³
fracción de volumen PIR	0,994035785	
fracción de volumen aluminio	0,005964215	

Fuente: elaboración propia

Reemplazando así en la ecuación 3

$$\delta_{sut\ panel} = 290\ MPa * 0,005964 + 0,15\ MPa * 0,994036$$

$$\delta_{sut\ panel} = 1,879\ MPa$$

Finalmente, Se calcula las fuerzas necesarias para el primer y segundo eje utilizando el área proyectada de corte por medio de la ecuación 4

Ecuación 4 Fuerza de corte de las etapas de trituración

$$f_c = \delta_{sut} * \text{Área}$$

Donde

F_c = fuerza de corte

δ_{sut} = esfuerzo último del material compuesto

Área = área proyectada corte

En este diseño se propone una cuchilla de corte de diámetro de 15 cm con un ancho de 1 cm para el primer eje y 0,5 cm para el segundo eje, el área proyectada de corte será la multiplicación del ancho por el largo del corte, este último se tomara igual que el ancho de cada cuchilla, puesto que se espera tener un tamaño de partícula de 1 cm para el primer eje y 0,5 cm para el segundo eje tal como se muestra en la tabla 10 de parámetros de cálculo de la fuerza de corte.

Tabla 10. Parámetros y resultados del cálculo de fuerzas de corte.

Esfuerzo último del material compuesto	1,87872763	MPa
Ancho de la cuchilla eje 1	0,01	m
Ancho de la cuchilla eje 2	0,005	m
Área proyectada corte eje1	0,0001	m ²
Área proyectada corte eje 2	0,000025	m ²

Fuente: elaboración propia

f_{c1} = fuerza de corte primer eje

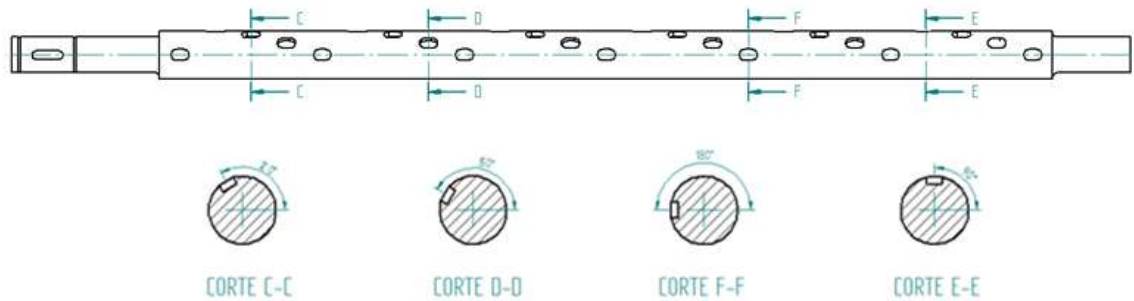
$$f_{c1} = 1,879 \text{ MPa} * \left((1 \text{ cm} * 1 \text{ x cm}) * \frac{1 \text{ m}^2}{100 \text{ cm}^2} \right) = 1,879 \times 10^{-4} \text{ MN} = 187,9 \text{ N}$$

f_{c2} = fuerza de corte segundo eje

$$f_{c2} = 1,879 \text{ MPa} * \left((0,5 \text{ cm} * 0,5 \text{ cm}) * \frac{1 \text{ m}^2}{100 \text{ cm}^2} \right) = 4,6975 \times 10^{-5} \text{ MN} = 46,975 \text{ N}$$

4.2.2 Cálculo del torque y selección del motor. Para calcular el torque necesario en cada eje, se debe saber la posición de las cuchillas a lo largo de este, el desfase será de 0, 30, 60 y 90 grados respectivamente, como se observa en la figura 25 en donde se ven los cortes C-C, D-D, F-F y E-E sobre el eje donde se posicionan las cuñas, cada una se desfasa 30 grados de cada cuña.

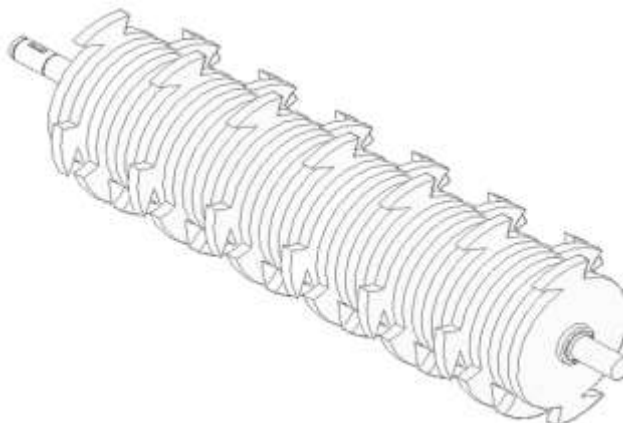
Figura 25. Disposición de las cuñas en el eje.



Fuente: elaboración propia, con base a Solid Edge

una vez montada las cuchillas en el eje se podrá ver el desfase de las cuchillas como se observa en la figura 26. el caso crítico para el primer y segundo eje se presenta en las cuchillas de 0 grados puesto que el eje comienza y termina con cuchilla a 0 grados, obteniendo un total de 7 cuchillas en contacto para el primer eje y 14 cuchillas para el segundo eje, por otro lado a 30, 60 y 90 grados el número de cuchillas en contacto es de 6 en el primer eje y 12 en el segundo eje, teniendo en cuenta lo anterior se calcula el torque de una cuchilla de cada eje y se multiplicara por el valor respectivo, del caso crítico, es de aclarar que el torque de la cuchilla del primer eje y segundo eje no es el mismo puesto que su fuerza de corte es distinta, se tomara un factor de seguridad de 2,5 en eje primario y 1,6 en el eje secundario, estos valores se deben a la posibilidad de que la cuchilla a borde más área de corte y la fuerza aumente. Con lo anterior se utiliza la ecuación 5 para el cálculo base del torque.

Figura 26. Cuchillas montadas sobre el eje.



Fuente: elaboración propia, con base a Solid Edge
Ecuación 5 Torque sobre los ejes 1 y 2

$$T = f * r * \#c * FS$$

Fuente: MOTT, Resistencia de materiales aplicada, 3era Edición, (Pag 137), Disponible en línea: <https://ingcarloszedonlanuza.files.wordpress.com/2011/03/resistencia-de-materiales-aplicada-mott-3ed1.pdf>

Donde

T = torque

f = fuerza de corte

r= radio de la cuchilla

#c= Numero de cuchillas en contacto simultaneo

FS = Factor de Seguridad

Tabla 11. Parámetros para el cálculo del torque.

fuerza de corte eje 1	187,872763	N
fuerza de corte eje 2	46,9681909	N
radio de la cuchilla eje1	0,075	m
radio de la cuchilla eje2	0,075	m

Fuente: elaboración propia

Reemplazando los valores de la tabla 11 en la ecuación 5 para obtener el torque 1 y el torque 2.

T1= Torque primer eje

$$T1 = 187,873 N * 0,075 m * 7 * 2,5 = 246,58 Nm$$

T2= Torque segundo eje

$$T2 = 46,968 N * 0,075 m * 14 * 1,6 = 78,906 N m$$


Seguido de esto se procede a hacer la suma de los dos torques para obtener el torque total.

$$\text{Torque Total} = T1 + T2 = 246,58 Nm + 78,906 Nm = 325,486 Nm$$

Con base a este torque total se seleccionará un motorreductor del catálogo de motorreductores de SIEMENS tal como se muestra en la figura 27.

Figura 27. Catalogo de selección del motorreductor de SIEMENS.

Potencia P_{motor} kW	Velocidad de salida		Par de salida T_2 Nm	Factor de servicio f_s	Índice de reducción i_{tot}	Referencia	Código (n.º polos)	Peso ¹⁾ kg
	n_2 (50 Hz) min ⁻¹	n_2 (60 Hz) min ⁻¹						
1,5 (50 Hz) 1,8 (60 Hz)	C.68-LA90L4							
	38	46	330	1,7	37,50	★ 2KJ1603 - EP13 - U1		57
	42	50	300	1,4	33,61	★ 2KJ1603 - EP13 - S1		57
	42	50	300	1,8	34,17	2KJ1603 - EP13 - T1		57
	45	54	275	2,0	31,25	★ 2KJ1603 - EP13 - R1		57
	47	56	272	1,4	30,46	2KJ1603 - EP13 - Q1		57
C.68-LA90L4								
d	$so1$	l	$l2$	$l4$	t	u	q	DR
35	k6	70	56	5	38,0	10	95	M12x28
40	k6	80	70	5	43,0	12	105	M16x36
50 ¹⁾	k8	100	90	10	53,5	14	125	M16x36
torque eje 1		246,583002 Nm						
torque eje 2		73,2703777 Nm						
torque total		319,85338 Nm						
motor torque		330 Nm						
motor velocidad angular		46 rpm						
dimetro		35 mm						



Fuente: SIEMENS, [Consultado: 10 de abril 2020]. Disponible en: <http://www.rodamientos.com/catalogos/moto/sie01es.pdf>

El Motorreductor que se selecciono fue el C 68 LA90L el cual tiene un torque de 330Nm

4.2.3 Diseño de la cuchilla de corte. Para validar el diseño propuesto de las cuchillas se utilizará la simulación de esfuerzos por medio del programa NX de Siemens, para lo cual se realizará el siguiente procedimiento.

4.2.3.1 Selección del material de la pieza. se utilizará el AISI SAE 1040 el cual es un acero al carbono y cuenta con las siguientes propiedades mecánicas según la Sociedad Americana de Metales las cuales se observan en la tabla 12.

Tabla 12. propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería.

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Fuente: INGEMECANICA, [Consultado: 10 de abril 2020]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>

Y las propiedades físicas del material obtenidas de la base de datos de Siemens NX como se observa en la figura 28.

Figura 28. información sobre el material Steel 1005.

```

INFORMACION SOBRE EL MATERIAL
-----
Material de la biblioteca : AISI_Steel_1005
Categoría                  METAL
Referencia de biblioteca  physicalmateriallibrary.xml
Categoría                  : METAL
Subcategoría              : Carbon Steel
Densidad de la masa (RHO) : 7.872e-06kg/mm³

===== Mecánico
Módulo de Young (E)      : 200000000kPa
Coeficiente de Poisson (NU) : 0.25
Tipo de no linealidad (TYPE) : 1
Criterio de la función del rendimiento (YF): 1
Regla de endurecimiento (HR) : 1

===== Fuerza
Límite elástico          : 226000kPa
Tensión de rotura        : 321000kPa

===== Durabilidad
Coeficiente de resistencia a la fatiga: 440000kPa
Exponente de resistencia a la fatiga: -0.088
Coeficiente de ductilidad a la fatiga: 0.311
Exponente de ductilidad a la fatiga : -0.538

===== Formabilidad
Deformación inicial      : 0.02mm/mm
Exponente de endurecimiento : 0.22
Coeficiente de fuerza    : 1738.649MPa
R0                        : 1
R45                       : 1
R90                       : 1

===== Térmico/eléctrico
Coeficiente de dilatación térmica (A): 1.26e-05°C⁻¹
Conductividad térmica (K) : 56000µW/(mm·°C)
Calor específico (CP)     : 481000000µJ/(kg·K)

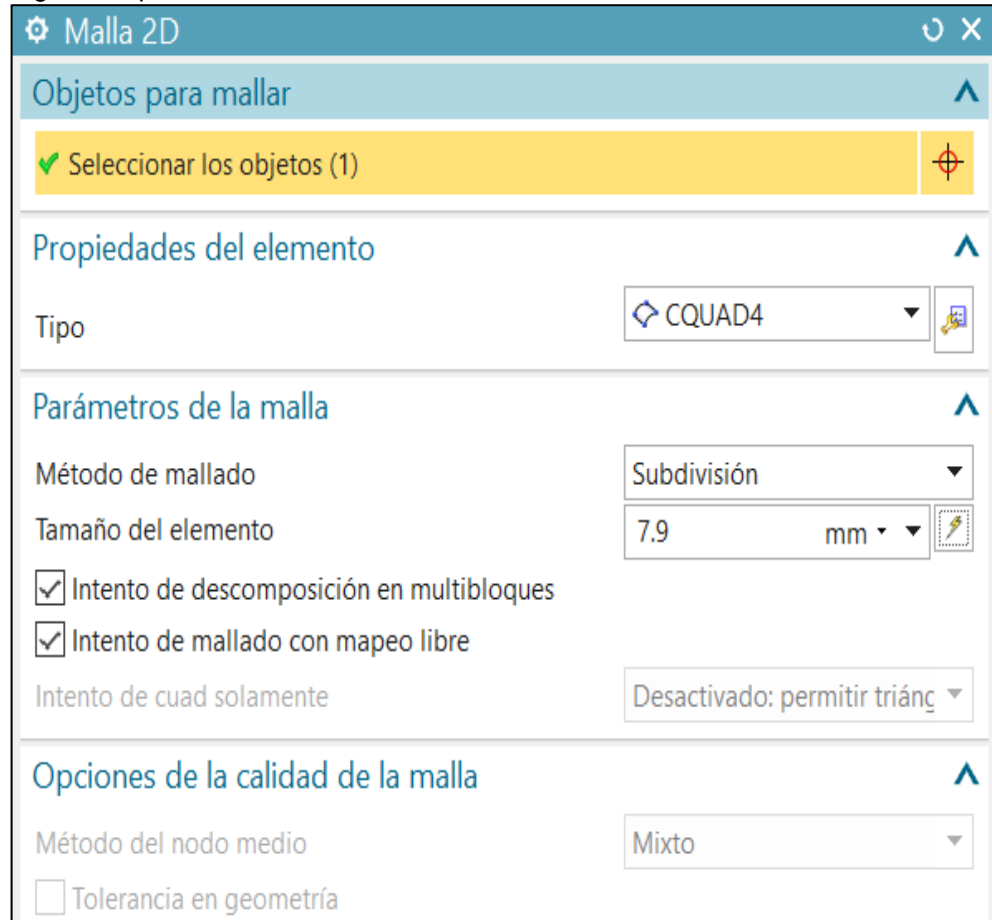
===== Misceláneo
Patrón de entramado      : Steel
  
```

Fuente: Base de datos programa NX de Siemens

4.2.3.2 Realizar el enmallado en 2D. se debe ajustar la geometría de la malla a la superficie de la cuchilla para evitar singularidades en el elemento y cualquier elemento prohibido que se pudiera generar por indeterminaciones en la cuchilla (agujeros) o puntos de concentración de esfuerzo como son los filos de esta, se determina automáticamente por el

programa el tamaño de elemento de malla para la pieza, se utilizara una malla cuadrada, La cual se especifica sus características en la figura 29.

Figura 29. proceso de enmallado 2D.

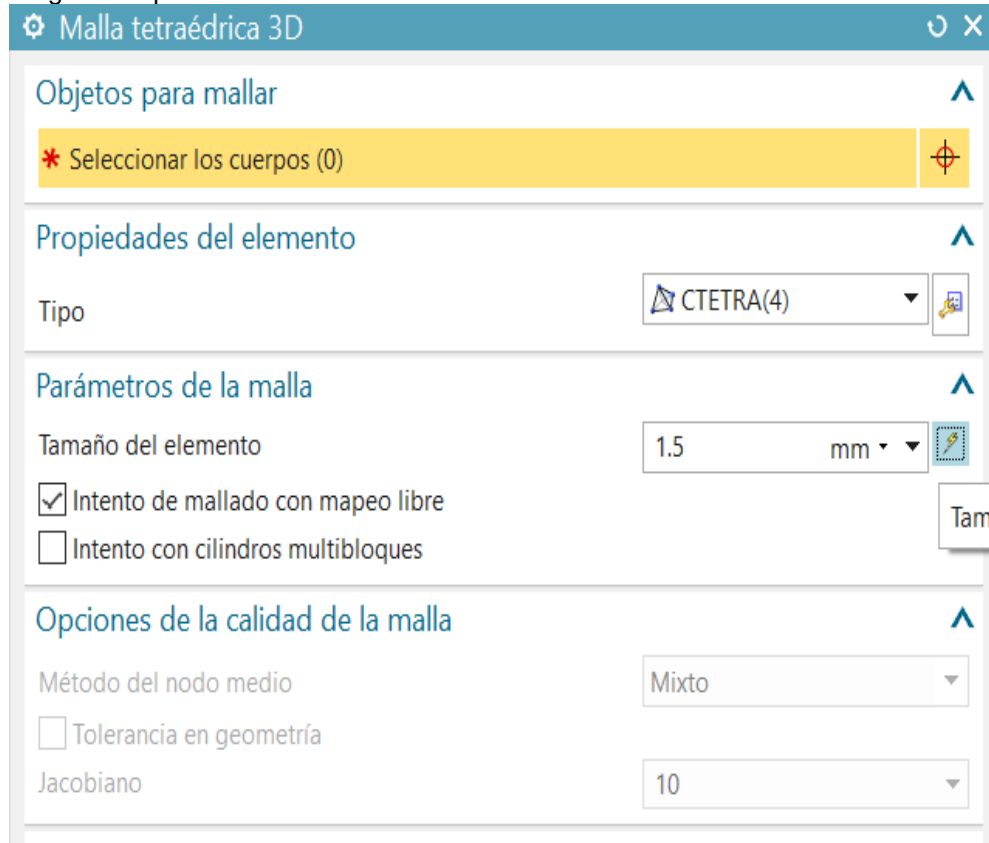


Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

Una vez determinado el tamaño de elemento mínimo para la cuchilla de 7.9 mm como se indicó en la figura 29 (se debe tener en cuenta que al realizar este análisis de malla se genera un costo computacional adicional al utilizar otro programa de ingeniería para diseño y análisis).

4.2.3.3 Realizar el enmallado 3D. una vez realizado el mallado 2D, se debe aplicar el mallado en volumen a la cuchilla, se realizará acomodando elementos triangulares a la malla rectangular previamente determinada con el mismo tamaño de malla de este, como se observa en la figura 30.

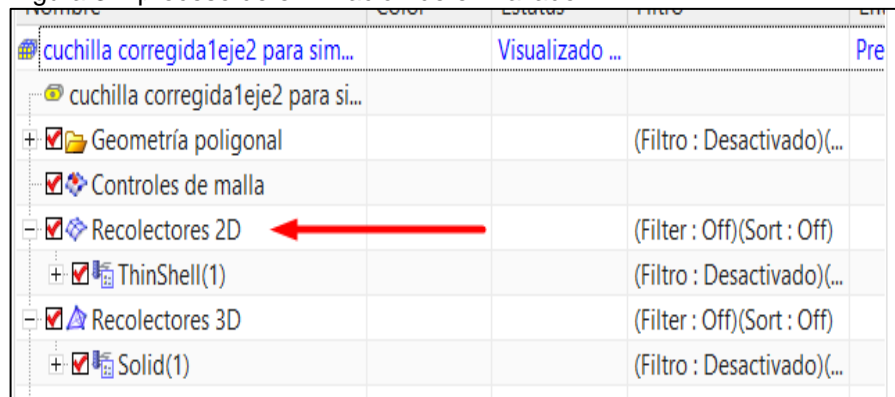
Figura 30. proceso de enmallado 3D.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

4.2.3.4 Eliminar la malla 2D. Se debe eliminar la malla 2D una vez ajustada la malla tetraédrica ya que el programa daría error pese que no puede trabajar con mallas superpuestas en la cuchilla, se especifica la malla a eliminar en la figura 31.

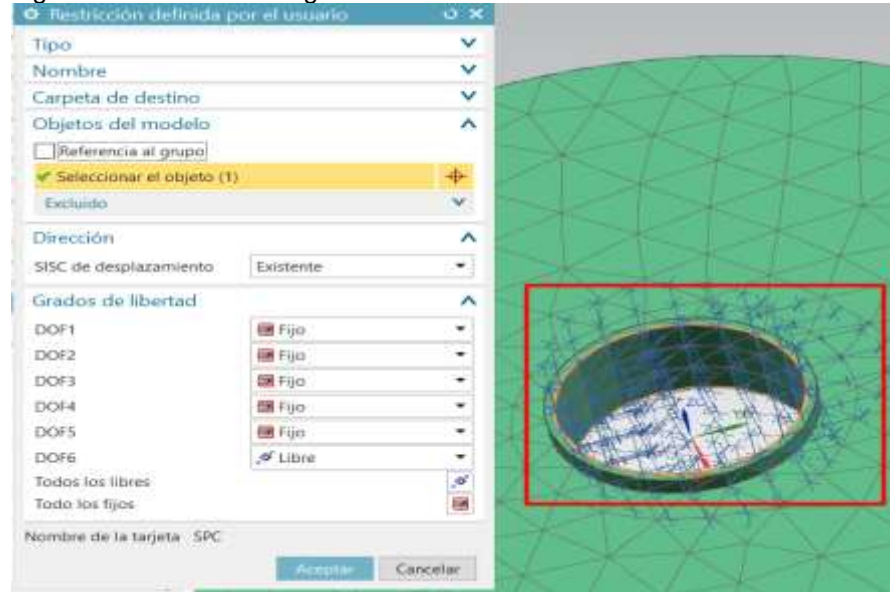
Figura 31. proceso de eliminación de enmallado.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

4.2.3.5 Asignar las restricciones del modelo. una vez culminado la parte del enmallado de la cuchilla se procede a asignar las condiciones de la simulación, como es las restricciones del modelo, en este caso se tendrán restricciones de desplazamiento en cualquier dirección, pero se tendrá un grado de libertad (DOF) en el eje Z de rotación de la cuchilla así, esta restricción podrá ser observada en la figura 32.

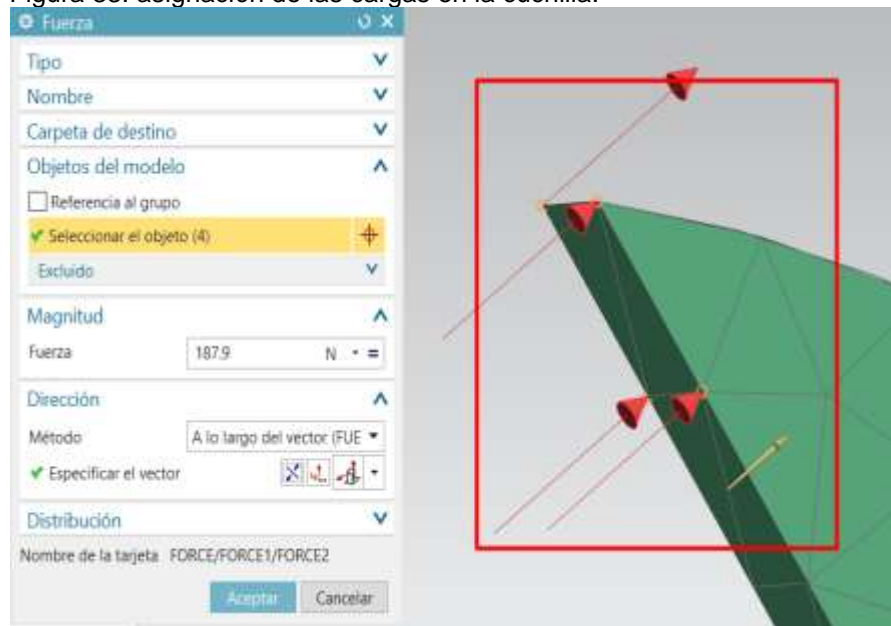
Figura 32. restricción de grados de libertad.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

4.2.3.6 Asignar las cargas al modelo. se procedió a asignar la máxima carga en la cuchilla que en este caso sería la fuerza de corte la cual se encuentra en el área de corte de 1cm x 1 cm para el primer nivel de cuchillas de corte y para el segundo nivel de cuchillas de corte será de 0.5 cm x 0.5 cm, con el valor de la fuerza calculado anteriormente calculada con un valor de 19.16 kgf equivalente a 187.9 N, como se muestra en la figura 33, en donde la carga se aplica sobre el área de corte ya mencionada:

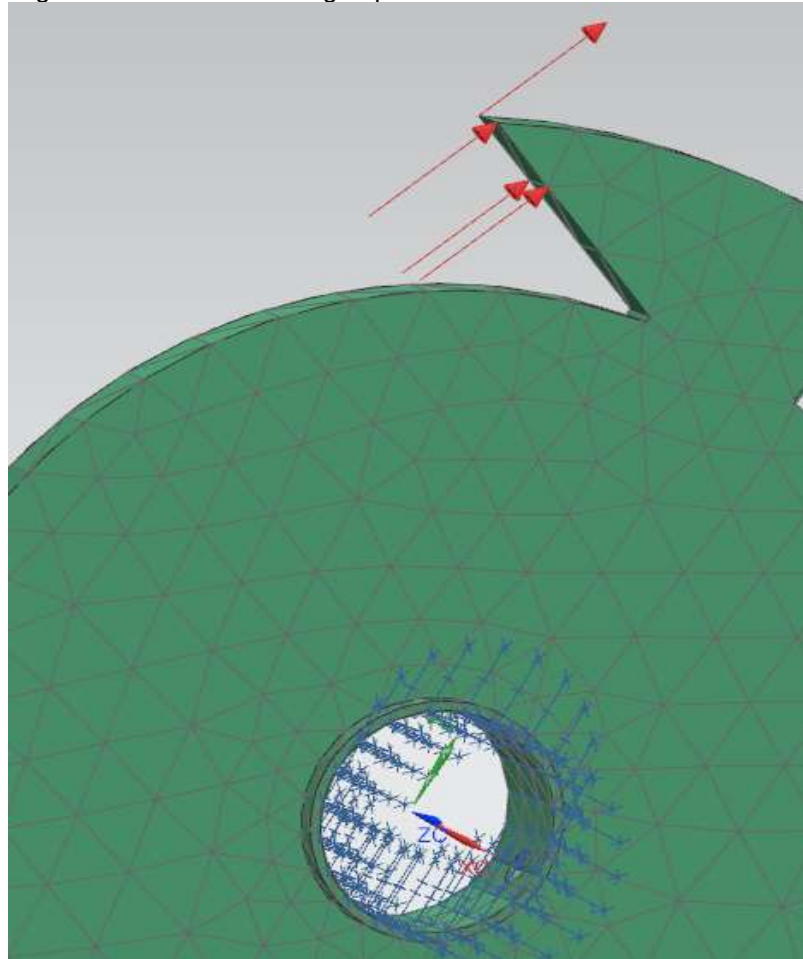
Figura 33. asignación de las cargas en la cuchilla.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

Obteniendo finalmente todas las condiciones requeridas para la simulación como se observa en la figura 34.

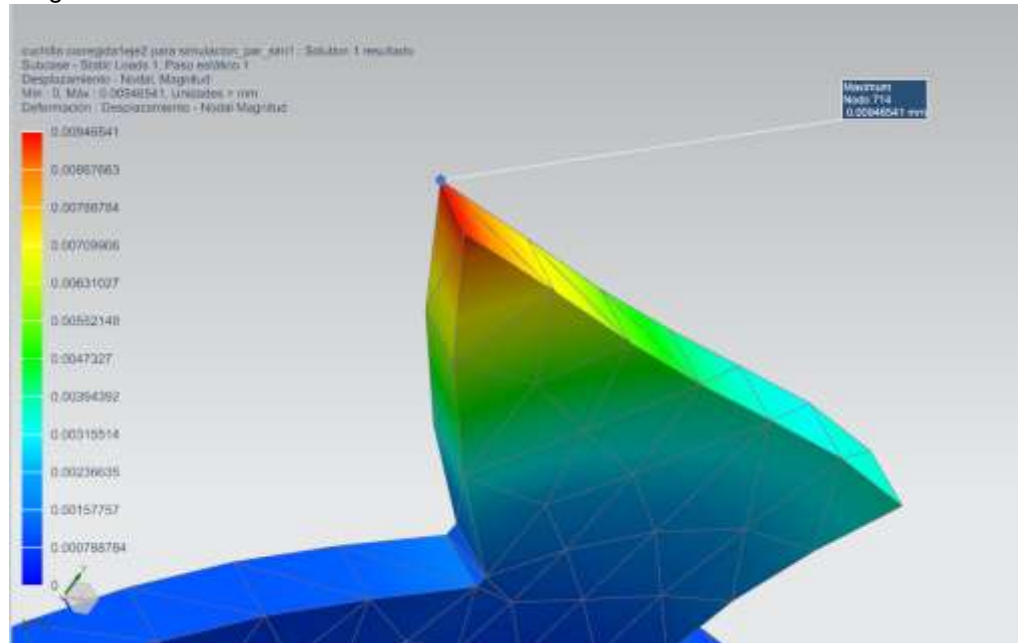
Figura 34. vectores de carga aplicados.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

4.2.3.7 Simulación. Se procede a realizar la simulación por el programa NX que utiliza el modelador NASTRAN obteniendo los resultados de desplazamiento máximos y esfuerzos tanto elementales como nodales así: como se observa en la figura 35.

Figura 35. deformación en la cuchilla.



Fuente: elaboración propia, en base a programa NX de Siemens

Como se observa en la figura 35 el desplazamiento máximo es de 9.4×10^{-3} mm, lo cual el máximo desplazamiento permitido comúnmente es de 1 mm, lo que significa que cumple el diseño propuesto con lo requerido en desplazamiento.

Esfuerzo elemental: los resultados de esfuerzo elemental del programa fueron de 45.03 MPa en la base de la cuchilla.

4.3 DISEÑO DETALLADO DE LOS EJES

Para el cálculo detallado del eje se usará el criterio ED Goodman 7-8 del libro de diseño en ingeniería mecánica de Shigley, se realizarán los diagramas de cuerpo libre, diagramas de esfuerzo cortante y diagramas de momento flector en sus respectivos planos “yz” y “xz”, finalmente se obtendrá el diagrama de momento flector total y junto con el diagrama de torque, se diseñarán los ejes, se calculará el diámetro mínimo y se comprobarán dichos ejes en los puntos críticos, de tal forma que se obtengan diámetros que no falle en ningún punto del eje.

4.3.1 Descomposición de la fuerza de corte en los planos “yz” y “xz”. Como el torque del motor seleccionado es de 330 Nm, la fuerza adicional se reparte de forma equitativa en cada eje, dándonos un factor de seguridad mayor; para calcular los diagramas de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flector en los

respectivos planos "yz" y "xz" se debe descomponer la fuerza de la cuchilla en sus componentes.

El Angulo de corte de la cuchilla es de 41.07 grados; para calcular la componente en "x" y la componente en "y" se multiplica la fuerza por el coseno y seno del Angulo respectivamente, siguiendo la teoría de descomposición de vectores tal y como se ve en la tabla 13.

Tabla 13. Descomposición de fuerzas sobre los ejes.

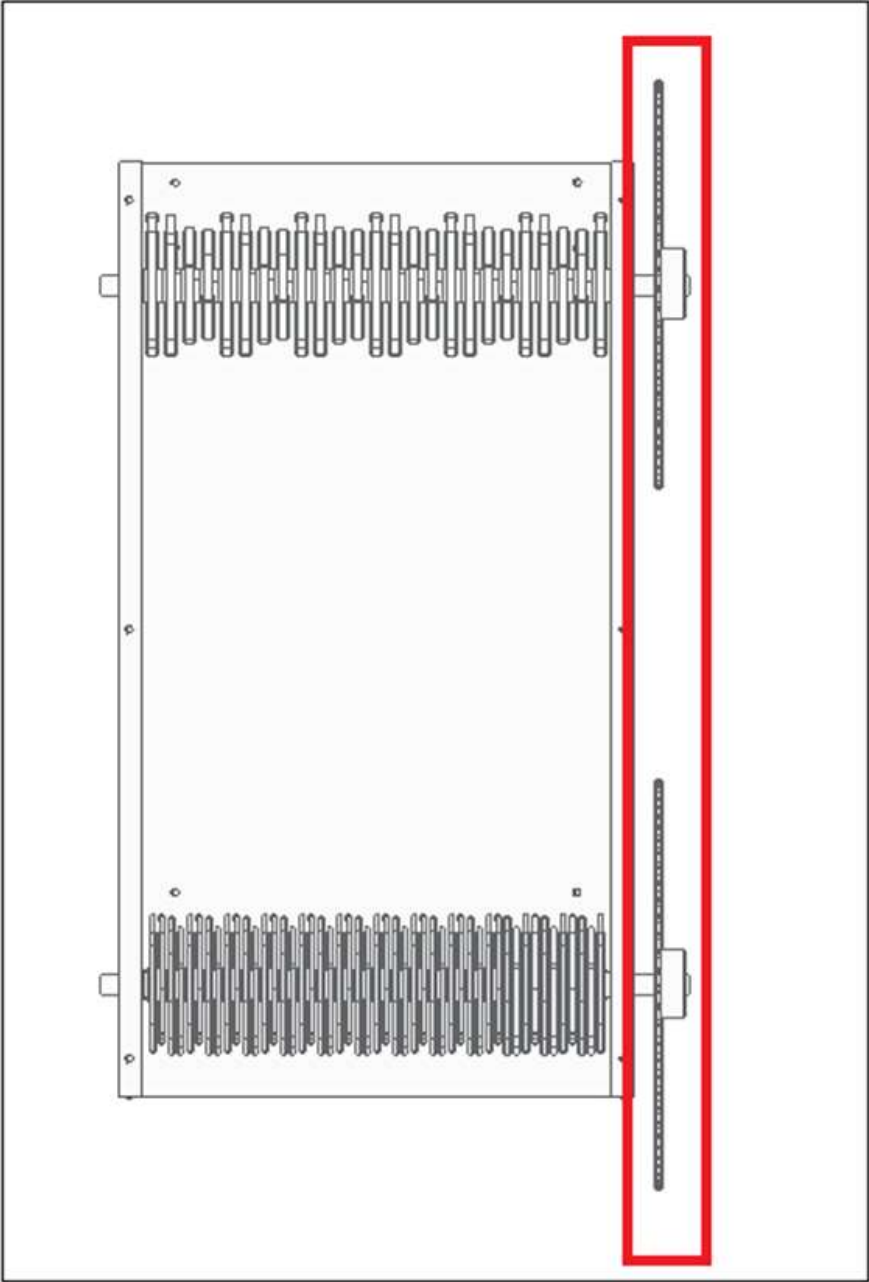
fuerza eje 1 del motor	191,142754	N
fuerza eje 2 del motor	50,2381813	N
componente x eje 1	144,103954	N
componente y eje 1	125,577079	N
componente x eje 2	37,8749412	N
componente y eje 2	33,00551	N

Fuente: elaboración propia

4.3.2 Selección del Sprocket y calculo de la fuerza de tensión. La selección del sprocket y cálculo de la fuerza de tensión: Para transmitir el torque del eje 1 al eje 2 se realizará mediante un sistema de cadena y sprocket, como se puede ver en la

figura 36, seleccionado del catálogo de Martin sprockets serie E mostrado en la figura 37.

Figura 36. Esquema sistema de acople entre ejes "Sprocket".



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 37. Catálogo de Martin para selección de Sprockets.

Sencillo - Tipo B — Acero							
Número de Dientes	Diámetro de Paso	Número de Parte	Barreno (mm)		Maza (mm)		Peso Aprox. (kg)
			Piloto	Máx.	Diámetro	Largo Total	
8	24.89	06B8	8	9	13	22	0.03
9	27.85	06B9	8	11	16	22	0.04
10	30.82	06B10	8	12	20	22	0.06
11	33.81	06B11	8	14	23	25	0.09
12	36.80	06B12	8	16	26	25	0.10
13	39.80	06B13	10	18	29	25	0.11
14	42.80	06B14	10	19	31	25	0.12
15	45.81	06B15	10	20	34	25	0.14
16	48.82	06B16	10	22	37	25	0.18
17	51.84	06B17	10	25	40	28	0.20
18	54.85	06B18	10	25	43	28	0.23
19	57.87	06B19	10	28	46	28	0.25
20	60.89	06B20	10	30	49	28	0.31
21	63.91	06B21	12	30	50	28	0.36
22	66.93	06B22	12	32	51	28	0.37
23	69.95	06B23	12	32	52	28	0.39
24	72.97	06B24	12	32	54	28	0.40
25	76.00	06B25	12	35	57	28	0.41
26	79.02	06B26	12	38	60	28	0.42
27	82.05	06B27	12	38	60	28	0.44
28	85.07	06B28	12	38	60	28	0.45
29	88.10	06B29	12	38	60	28	0.47
30	91.12	06B30	12	38	60	30	0.48
32	97.18	06B32	14	40	65	30	0.56
35	106.26	06B35	14	40	65	30	0.68
36	109.29	06B36	16	45	70	30	0.71
38	115.35	06B38	16	45	70	30	0.77
40	121.40	06B40	16	45	70	30	0.81
42	127.46	06B42	16	45	70	30	0.85
45	136.55	06B45	16	45	75	30	0.91
48	145.64	06B48	16	45	75	30	0.97
54	163.82	06B54	16	45	75	30	1.09
57	172.91	06B57	19	45	75	30	1.27
60	182.00	06B60	19	45	75	30	1.34
64	194.12	06B64	19	45	75	30	1.43
70	212.30	06B70	19	45	75	30	1.56
72	218.37	06B72	19	45	75	30	1.60
76	230.49	06B76	19	45	75	30	1.91
80	242.61	06B80	19	45	75	30	2.01
84	254.74	06B84	19	45	75	30	2.11
90	272.93	06B90	19	52	75	30	2.26
95	288.08	06B95	19	52	75	30	2.61
96	291.11	06B96	19	52	75	30	2.64
114	345.68	06B114	19	52	75	30	3.63

Fuente: Martin sprocket serie E. [Consultado: 17 de abril 2020].
 Disponible en: <https://n9.cl/8wxq>

Se debe Tener en cuenta que en la figura 37, se seleccionó el sprocket 06B70, dado que, es necesario mantener una fuerza de tensión no tan elevada, para asegurar que el torque no aumente de forma considerable, para garantizar un menor diámetro de eje en el sistema de trituración.

Ecuación 6. Ecuación de fuerza de tensión.

$$F = \frac{T}{r}$$

La anterior ecuación anterior nos permite encontrar la fuerza de tensión que se genera en la cadena con respecto al torque genera el eje 2 "T2".

En donde:

F = Fuerza de Tensión

T = Torque

r= Radio del sprocket

Remplazando torque del eje 2 y el radio del sprocket en ecuación 6 se obtiene que la fuerza de tensión tiene un valor de 738.309 N como se observa en la tabla 14.

$$F = \frac{78,3716 \text{ Nm}}{0,10615 \text{ m}} = 738,31 \text{ N}$$

Tabla 14. Parámetros de transmisión por Sprocket/Cadena.

radio sprocket	0,10615	m
torque de transmisión	78,3715628	Nm
fuerza de tensión	738,309589	N

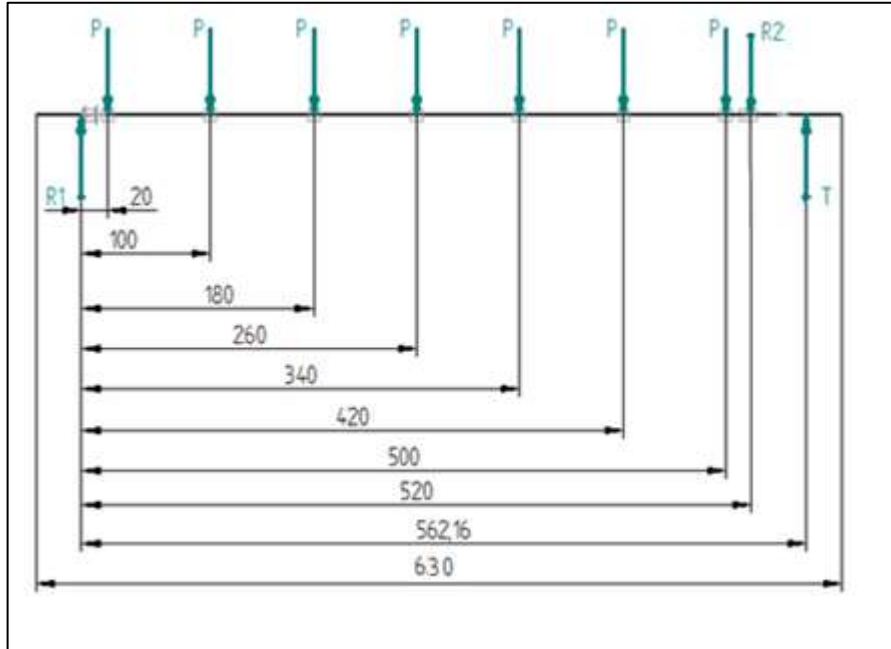
Fuente: elaboración propia

4.3.3 Cálculo de diagramas de cuerpo libre, esfuerzo cortante y momento flector eje 1. Se procede a calcular los diagramas que permitan generar los calculos adecuados para el diseño del eje.

4.3.3.1 Diagrama de cuerpo libre del eje 1 plano xz. Para plano xz para calcular los diagramas de fuerza cortante y momento flector es necesario conocer

las reacciones en los apoyos, que en este caso son los rodamientos laterales simétricos como se observa en la figura 38.

Figura 38. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 Plano xz.



Fuente: elaboración propia

Seguido del diagrama de cuerpo libre figura 38, se procede a hacer la sumatoria de fuerzas del eje 1 en el plano "xz" como se observa en la ecuación 7 y la sumatoria de momentos en el plano "xz" como se observa en la ecuación 8, cabe aclarar que en la ecuación 7 "P" se multiplica por 7 dado que en el diagrama de cuerpo libre se observa 7 cargas.

Ecuación 7. sumatoria de fuerzas.

$$\sum x = 7 * P - R1 + R2 - T$$

Donde

P= componente en "x" de la fuerza de corte

R1= reacción en el apoyo 1

R2= reacción en el apoyo 2

T= fuerza de tensión

Ecuación 8. sumatoria de momentos en R1.

$$\Sigma M_{R1} = P * (20 + 100 + 180 + 260 + 340 + 420 + 500) + R2 * 520 - T * 562,16$$

Igualado la sumatoria a 0, reemplazando los valores de la tabla 15 se procede a despejar despejando R2.

Una vez reemplazando R2 en la ecuación 7 de sumatoria de fuerzas e igualando esta última a 0 y despejando R1, hallando las reacciones en los apoyos como se observa en la tabla 15.

$$R2 = \frac{-P * (20 + 100 + 180 + 260 + 340 + 420 + 500) + R2 * 520 + T * 562,16}{520}$$

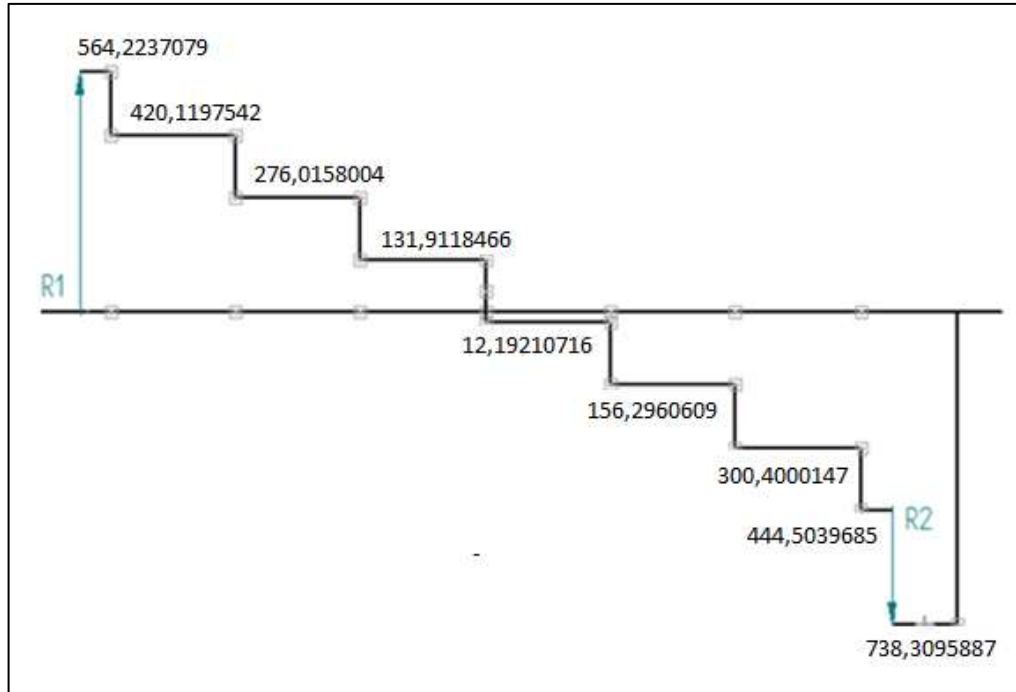
$$R1 = 7 * P + R2 - T$$

Tabla 15. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano xz eje 1.

componente "x" eje 1	144,103954	N	
fuerza de tención	738,309589	N	
r2xz eje 1	293,80562	N	
r1xz eje 1	564,2237079	N	

Fuente: elaboración propia

Figura 39. Diagrama de Fuerza Cortante en plano xz eje 1.



Fuente: elaboración propia

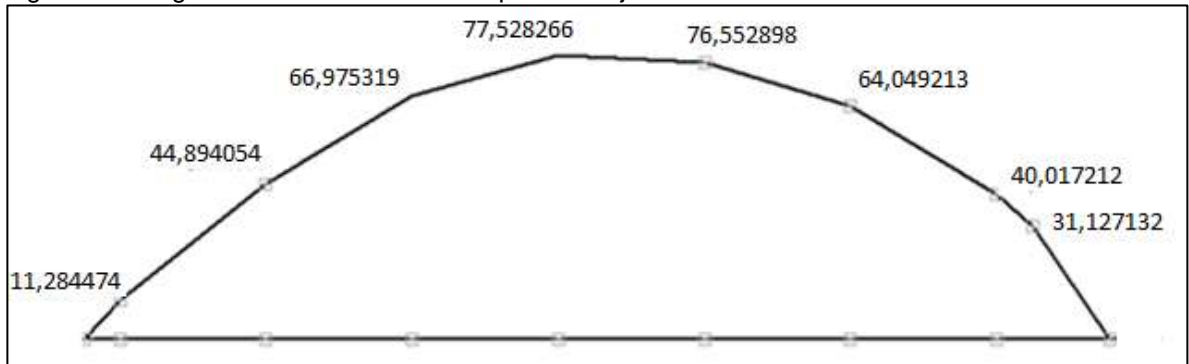
Tabla 16. Valores diagrama de esfuerzo Cortante en plano xz eje 1.

564,223708	N
420,119754	N
276,0158	N
131,911847	N
12,1921072	N
156,296061	N
300,400015	N
444,503969	N
738,309589	N

Fuente: elaboración propia

4.3.3.1 Diagrama de momento flector eje 1 en el plano “xz”. Con base al diagrama de fuerza cortante y el método de las áreas se realiza el diagrama de momento flector el cual se observa en la figura 40.

Figura 40. Diagrama de Momento Flector plano xz eje 1.



Fuente: elaboración propia

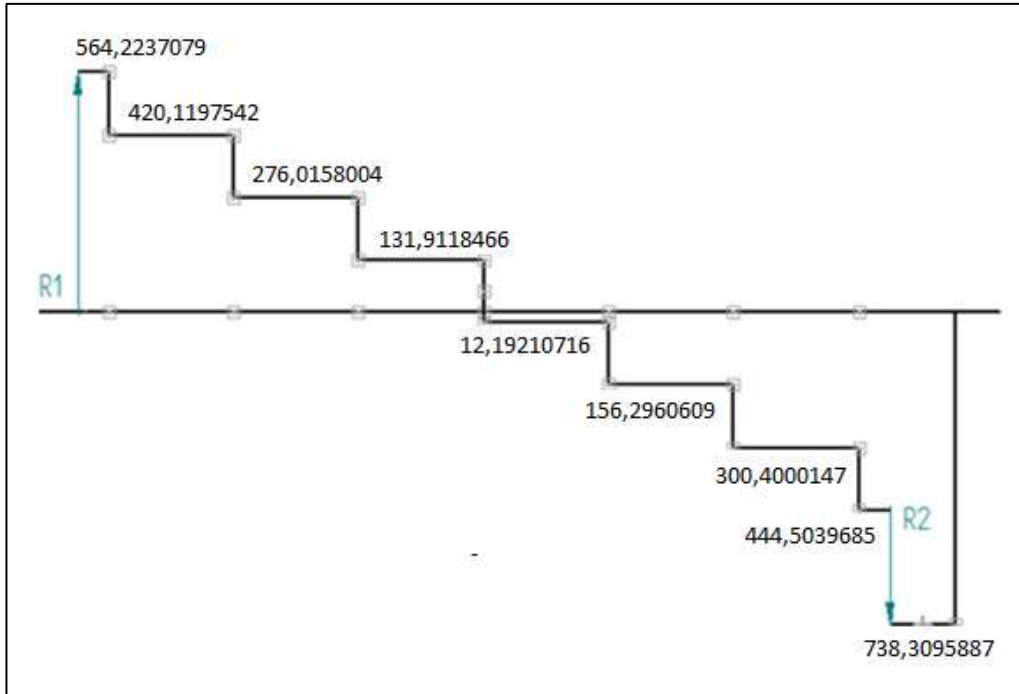
Tabla 17. Valores del diagrama del momento flector en el plano xz eje 1.

11,2844742	Nm
44,8940545	Nm
66,9753185	Nm
77,5282663	Nm
76,5528977	Nm
64,0492128	Nm
40,0172116	Nm
31,1271323	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.3.2 Diagrama de fuerza cortante eje 1 plano "xz". Con base a las fuerzas, reacciones en los apoyos se calculan el diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo en el plano xz. Con forme a la figura 39 se observa el diagrama fuerza cortante en el plano xz del eje 1

Figura 41. Diagrama de Fuerza Cortante en plano xz eje 1.



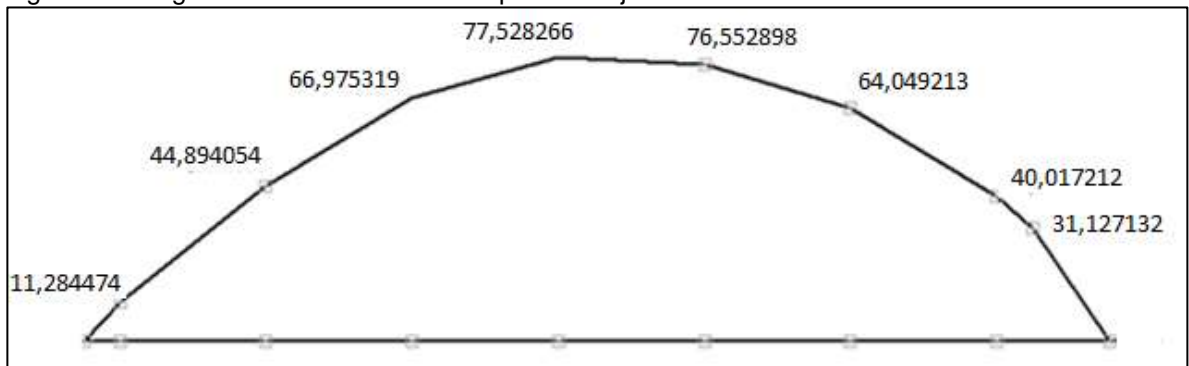
Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Valores diagrama de esfuerzo Cortante en plano xz eje 1.

564,223708	N
420,119754	N
276,0158	N
131,911847	N
12,1921072	N
156,296061	N
300,400015	N
444,503969	N
738,309589	N

Fuente: elaboración propia

Figura 42. Diagrama de Momento Flector plano xz eje 1.



Fuente: elaboración propia

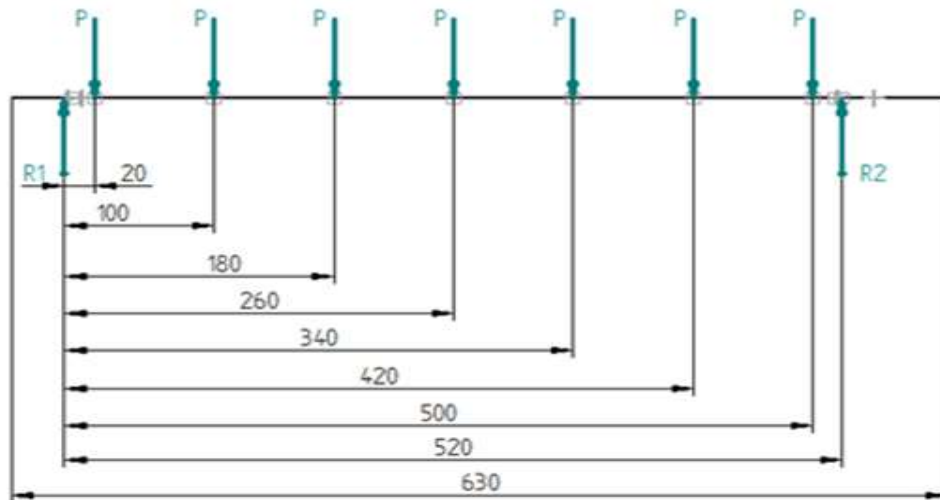
Tabla 19. Valores del diagrama del momento flector en el plano xz eje 1.

11,2844742	Nm
44,8940545	Nm
66,9753185	Nm
77,5282663	Nm
76,5528977	Nm
64,0492128	Nm
40,0172116	Nm
31,1271323	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.3.3 Diagrama de cuerpo libre eje 1 plano “yz”

Figura 43. Diagrama de cuerpo libre del eje 1 Plano yz.



Fuente: elaboración propia

Seguido del diagrama de cuerpo libre figura 41, se procede a hacer la sumatoria de fuerzas del eje 1 en el plano “yz” como se observa en la ecuación 9 y la sumatoria de momentos en el plano “yz” como se observa en la ecuación 10, cabe aclarar que en la ecuación 9 la “P” se multiplica por 7 dado que en el diagrama de cuerpo libre se observa 7 cargas.

Ecuación 9. sumatoria de fuerzas en plano yz.

$$\sum x = 7 * P - R1 - R2$$

Donde

P= componente en “y” de la fuerza de corte

R1= reacción en el apoyo 1

R2= reacción en el apoyo 2

Ecuación 10. sumatoria de momentos en R1.

$$\sum M_{R1} = P * (20 + 100 + 180 + 260 + 340 + 420 + 500) - R2 * 520$$

Igualado la sumatoria a 0, reemplazando los valores de la tabla 18 se procede a despejar despejando R2.

Una vez reemplazando R2 en la ecuación 9 de sumatoria de fuerzas e igualando esta última a 0 y despejando R1, hallando las reacciones en los apoyos como se observa en la tabla 18.

$$R2 = \frac{P * (20 + 100 + 180 + 260 + 340 + 420 + 500)}{520}$$

$$R1 = 7 * P - R2$$

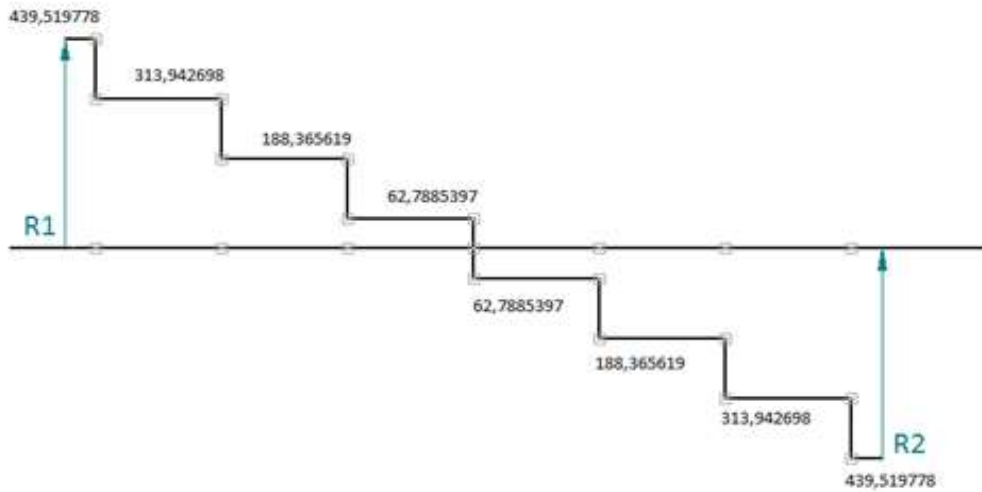
Tabla 20. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano yz eje 1.

Componente "y" "eje 1	125,577079	N
fuerza de tensión	738,309589	N
r1yz	439,519778	N
r2yz	439,519778	N

Fuente: elaboración propia

4.3.3.4 Diagrama fuerza cortante eje 1 plano "yz". Con base a las fuerzas, reacciones en los apoyos se calculan el diagrama fuerza cortante y momento flector máximo en el plano yz. En la figura 42 se observa el diagrama fuerza cortante en el plano yz del eje 1.

Figura 44. Diagrama de *fuerza cortante* plano en yz eje 1.



Fuente: elaboración propia

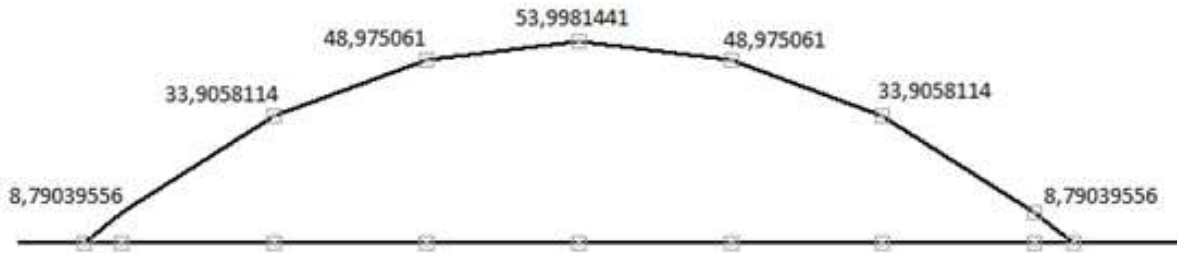
Tabla. 21 Valores diagrama de fuerza cortante plano yz en eje 1.

439,519778	N
313,942698	N
188,365619	N
62,7885397	N
62,7885397	N
188,365619	N
313,942698	N
439,519778	N

Fuente: elaboración propia

4.3.3.5 Diagrama de momento flector eje 1 en el plano “yz”. Con base al diagrama de fuerza cortante y el método de las áreas se realiza el diagrama de momento flector el cual se observa en la figura 43.

Figura 45. Diagrama de Momento Flector plano yz eje 1.



Fuente: elaboración propia

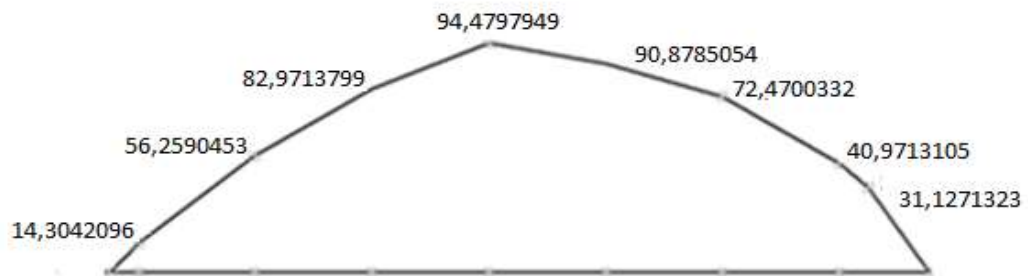
Tabla 22. Valores diagrama de Momento Flector plano yz eje 1.

8,79039556	Nm
33,9058114	Nm
48,975061	Nm
53,9981441	Nm
48,975061	Nm
33,9058114	Nm
8,79039556	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.3.6 Diagrama de momentos totales eje 1. Con base a los diagramas de momento flector en el plano “xz” y “yz” se genera el diagrama de momento flector total como se observa en la figura 44, mediante el proceso de suma de los componentes del plano xz y yz.

Figura 46. Diagrama de momento total eje1.



Fuente: elaboración propia

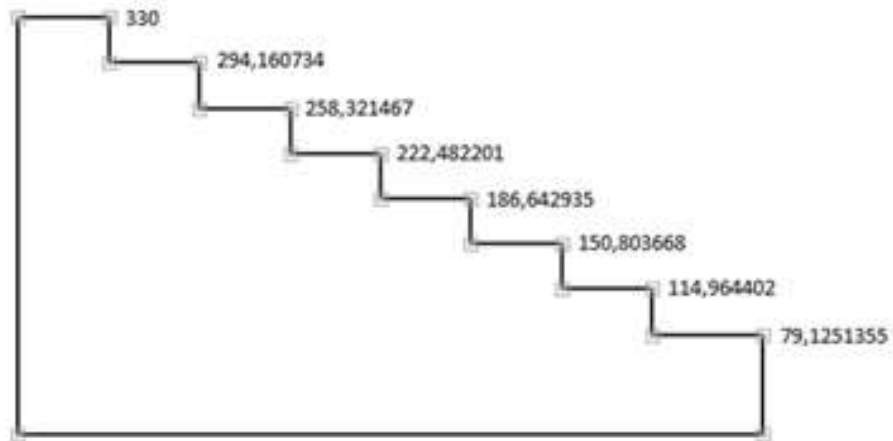
Tabla 23. Valores diagrama de momento total eje 1.

14,3042096	Nm
56,2590453	Nm
82,9713799	Nm
94,4797949	Nm
90,8785054	Nm
72,4700332	Nm
40,9713105	Nm
31,1271323	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.3.7 Diagrama de torque eje 1

Figura 47. Diagrama de torque eje 1.



Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Valores diagrama de torque eje 1.

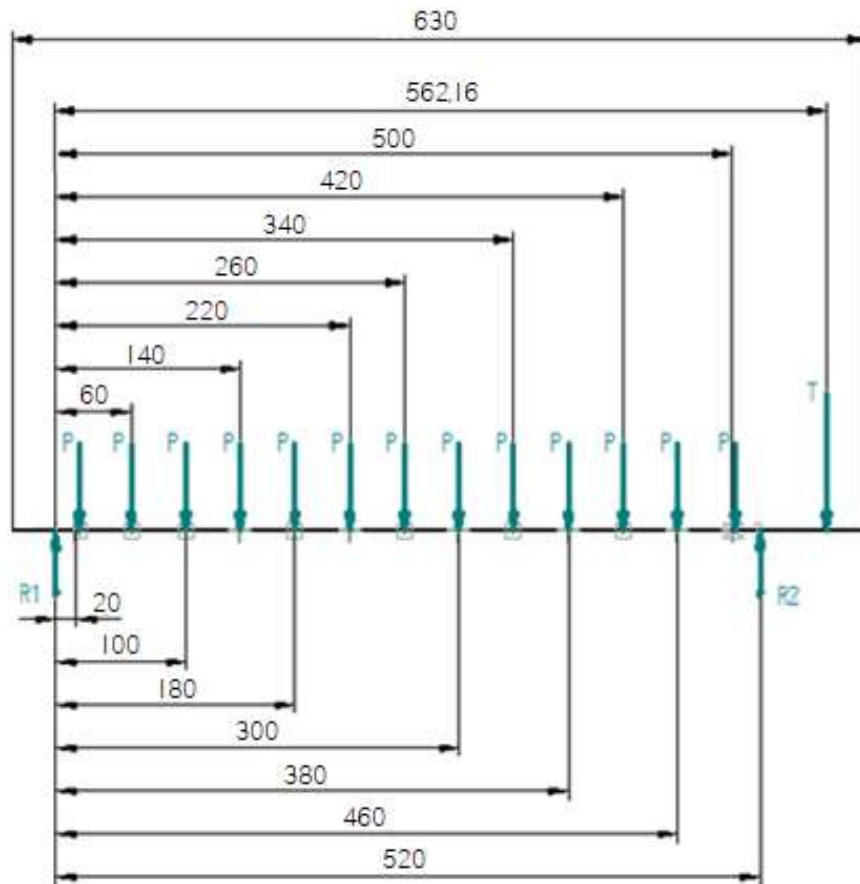
330	Nm
294,160734	Nm
258,321467	Nm
222,482201	Nm
186,642935	Nm
150,803668	Nm
114,964402	Nm
79,1251355	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.4 Cálculo de diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector eje 2. Para calcular los diagramas de fuerza cortante y momento flector es necesario encontrar las reacciones en los apoyos, mediante el diagrama de cuerpo libre.

4.3.4.1 Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano “xz”.

Figura 48. Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano “xz”.



Fuente: elaboración propia

seguido del diagrama cuerpo libre figura 46, se procede a hacer la sumatoria de fuerzas del eje 2 en el plano “xz” como se observa en la ecuación 10 y la sumatoria de momentos en el plano “xz” como se observa en la ecuación 11, cabe aclarar que en la ecuación 10 la “P” se multiplica por 13 dado que en el diagrama de cuerpo libre se observan 13 cargas.”

Ecuación 11. sumatoria de fuerzas en plano xz eje 2.

$$\sum x = 13 * P - R1 - R2 + T$$

Donde

P= componente en “x” de la fuerza de corte

R1= reacción en el apoyo 1

R2= reacción en el apoyo 2

T= fuerza de tensión

Ecuación 12. sumatoria de momentos en plano xz eje 2.

$$\sum M_{R1} = P * (20 + 60 + 100 + 140 + 180 + 220 + 260 + 300 + 340 + 380 + 420 + 460 + 500) - R2 * 520 + T * 562,16$$

Cabe aclarar que el procedimiento de despeje de R1 y R2 es el mismo que se realizó en el apartado anterior, es por eso, por lo que se omite el reemplazo del valor y se entrega la tabla 23 con los valores ya calculados.

Igualado la sumatoria a 0, reemplazando los valores de la tabla 23 y despejando R2, reemplazando R2 en la ecuación 11 de sumatoria de fuerzas, igualando esta última a 0 y despejando R1, hallando las reacciones en los apoyos como se observa en la tabla 23.

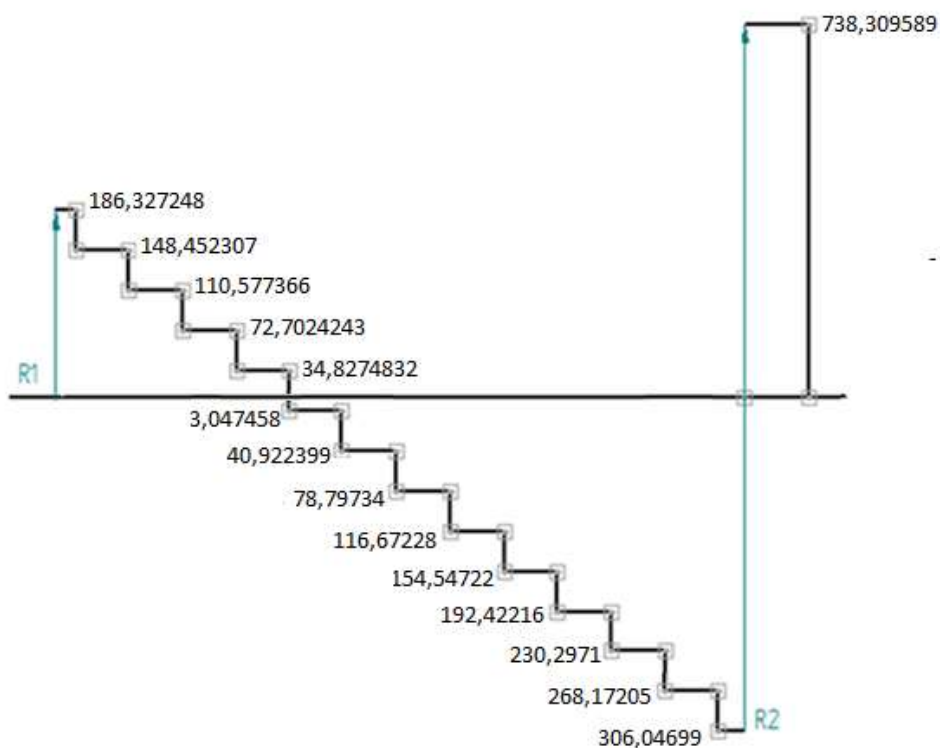
Tabla 25. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano XZ.

componente “x” eje 2	37,8749412	N
fuerza de tensión	738,309589	N
r2 zx eje2	1044,356576	N
r1 zx eje2	186,3272478	N

Fuente: elaboración propia

4.3.4.2 Diagrama de fuerza cortante eje 2 plano “xz”. Con base a las fuerzas, reacciones en los apoyos, se calcula el diagrama de fuerza cortante y momento flector máximo en el plano xz en la figura 47 se observa el diagrama fuerza cortante en el plano xz del eje 2.

Figura 49. Diagrama fuerza cortante eje 2 plano xz.



Fuente: elaboración propia

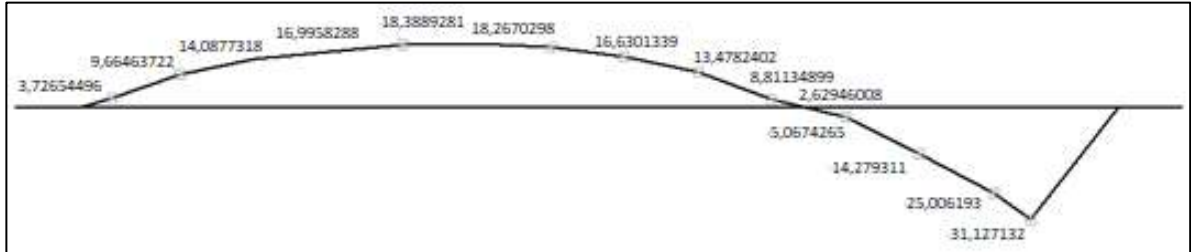
Tabla 26. Valores diagrama de fuerza cortante eje 2 plano xz.

186,327248	N
148,452307	N
110,577366	N
72,7024243	N
38,8274832	N
3,047458	N
40,922399	N
78,79734	N
116,67228	N
154,54722	N
192,42216	N
230,2171	N
268,17205	N
306,04699	N
738,309589	N

Fuente: elaboración propia

4.3.4.3 Diagrama de momento flector eje 2 en el plano “xz”. Con base al diagrama fuerza cortante y el método de las áreas se realiza el diagrama de momento flector el cual se observa en la figura 48.

Figura 50. Diagrama de momento flector eje 2 en el plano xz.



Fuente: elaboración propia

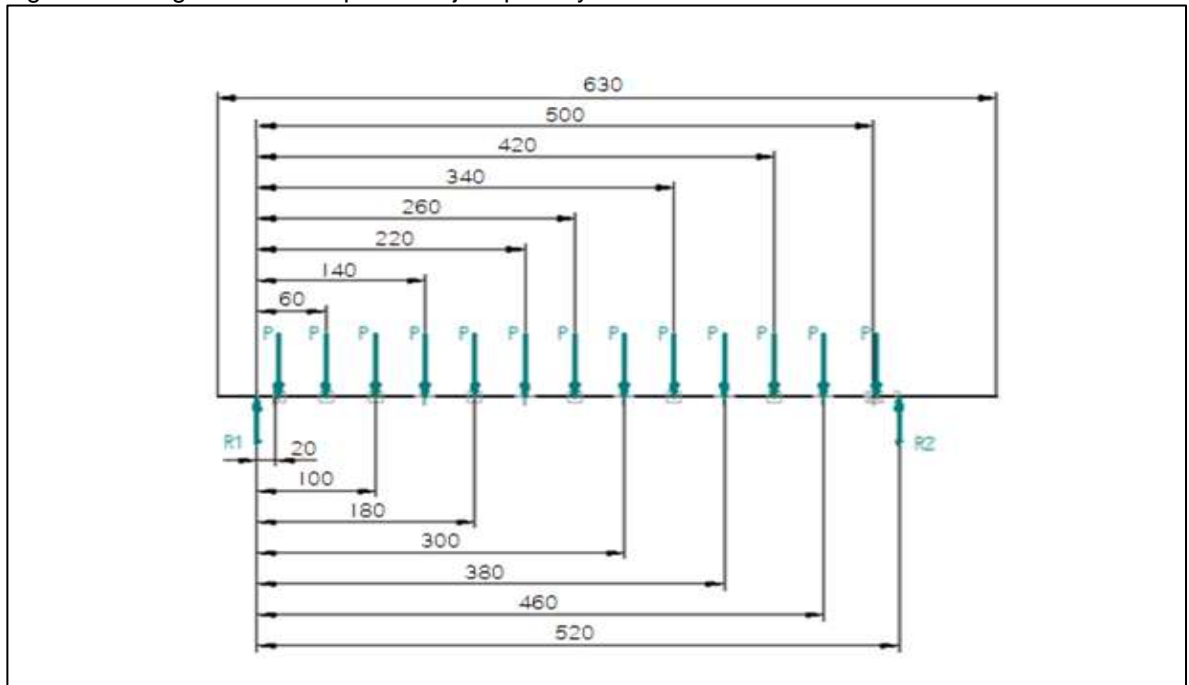
Tabla 27. Valores diagrama de momento flector eje 2 en el plano xz.

3,72654496	Nm
9,66463722	Nm
14,0877318	Nm
16,9958288	Nm
18,3889281	Nm
18,2670298	Nm
16,6301339	Nm
13,4782402	Nm
8,81134899	Nm
2,62946008	Nm
5,0674265	Nm
14,279311	Nm
25,006193	Nm
31,127132	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.4.4 Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano “yz”.

Figura 51. Diagrama de cuerpo libre eje 2 plano yz.



Fuente: elaboración propia

seguido del diagrama de cuerpo libre figura 49, se procede a hacer la sumatoria de fuerzas del eje 2 en el plano “yz” como se observa en la ecuación 13 y la sumatoria de momentos en el plano “yz” como se observa en la ecuación 14, cabe aclarar que en la ecuación 13 la “P” se multiplica por 13 dado que en el diagrama de cuerpo libre se observan 13 cargas.

Ecuación 13. sumatoria de fuerzas en plano yz eje 2.

$$\sum x = 13 * P - R1 - R2$$

Donde

P= componente en “y” de la fuerza de corte

R1= reacción en el apoyo 1

R2= reacción en el apoyo 2

Ecuación 14 sumatoria de momentos en plano yz eje 2

$$\sum M_{R1} = P * (20 + 60 + 100 + 140 + 180 + 220 + 260 + 300 + 340 + 380 + 420 + 460 + 500) - R2 * 520$$

Igualado la sumatoria a 0, reemplazando los valores de la tabla 26 y despejando R2, reemplazando R2 en la ecuación 13 de sumatoria de fuerzas, igualando esta última a 0 y despejando R1, hallando las reacciones en los apoyos como se observa en la tabla 26.

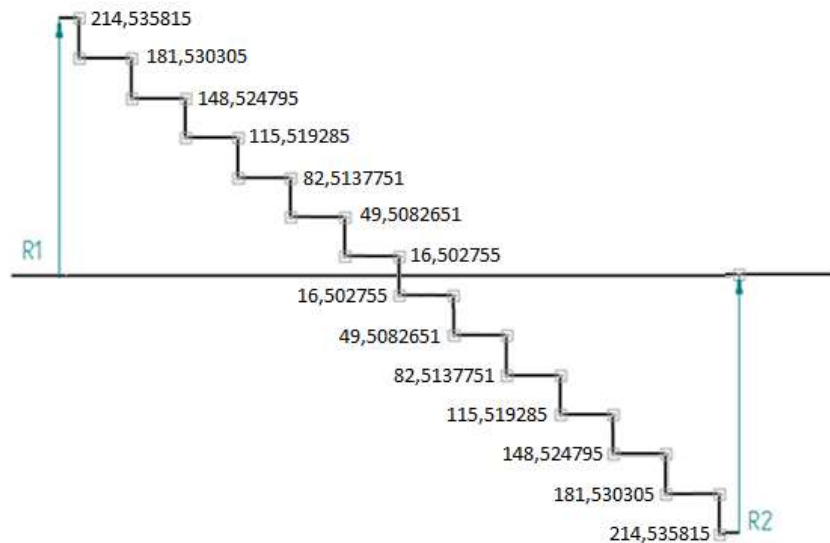
Tabla 28. Valores de cargas externas y de apoyos en el plano yz.

componente y eje 2	33,00551004	N
fuerza de tensión	738,309589	N
r1yz	214,535815	N
r2yz	214,535815	N

Fuente: elaboración propia

4.3.4.5 Diagrama fuerza cortante eje 2 plano “yz”. Con base a las fuerzas, reacciones en los apoyos se calculan el diagrama fuerza cortante y momento flector máximo en el plano yz, en la figura 50 se observa el diagrama fuerza cortante en el plano xz del eje 2

Figura 52. Diagrama fuerza cortante eje 2 plano yz.



Fuente: elaboración propia

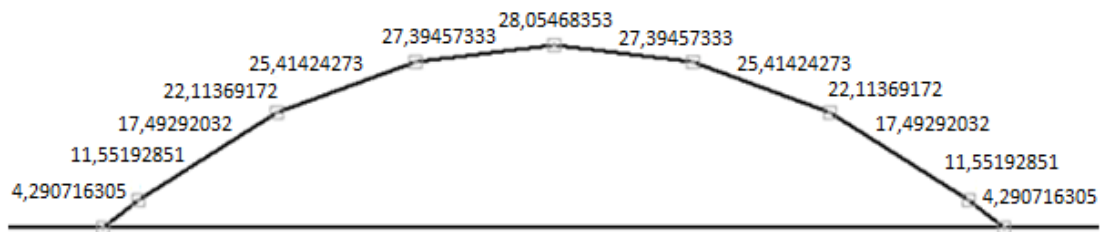
Tabla 29. Valores diagrama fuerza cortante eje 2 plano yz.

214,535815	N
181,530305	N
148,524795	N
115,519285	N
82,5137751	N
49,5082651	N
16,502755	N
16,502755	N
49,5082651	N
82,5137751	N
115,519285	N
148,524795	N
181,530305	N
214,535815	N

Fuente: elaboración propia

4.3.4.6 Diagrama de momento flector eje 2 en el plano “yz”. Con base al diagrama fuerza cortante y el método de las áreas se realiza el diagrama de momento flector con forme a la figura 51.

Figura 53. Diagrama de momento flector eje 2 en el plano yz.



Fuente: elaboración propia

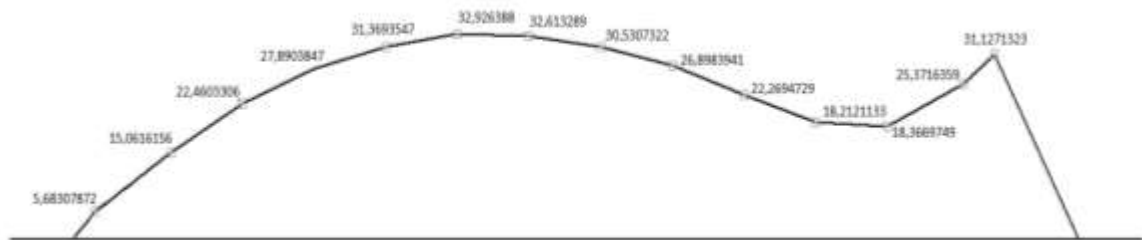
Tabla 30. Valores diagrama de momento flector eje 2 en el plano yz.

4,29071631	Nm
11,5519285	Nm
17,4929203	Nm
22,1136917	Nm
25,4142427	Nm
27,3945733	Nm
28,0546835	Nm
27,3945733	Nm
25,4142427	Nm
22,1136917	Nm
17,4929203	Nm
11,5519285	Nm
4,29071631	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.4.7 Diagrama de momentos totales eje 2: Con base a los diagramas de momento flector en el plano “xz” y “yz” se genera el diagrama de momento flector total como se observa en la figura 52, mediante el proceso de suma de los componentes del plano xz y yz.

Figura 54. Diagrama de momento total eje 2.



Fuente: elaboración propia

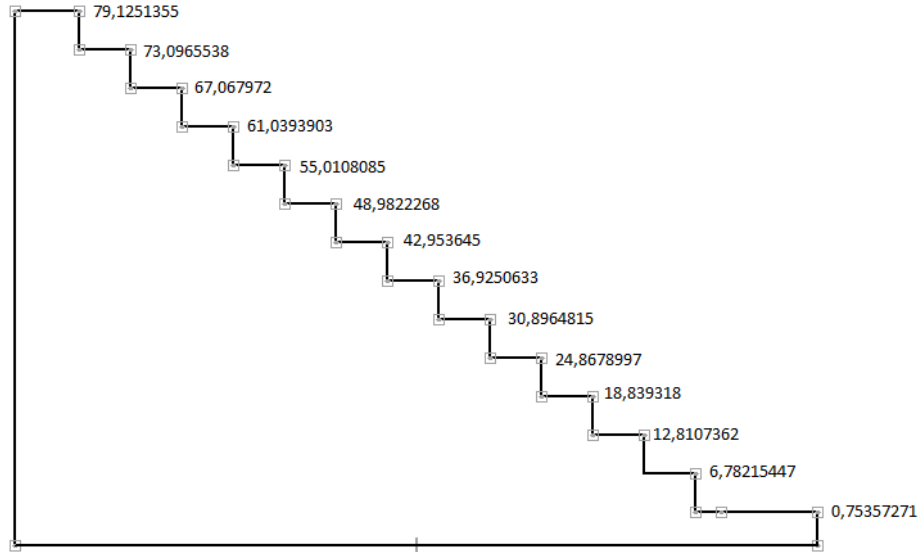
Tabla 31. Valores diagrama de momento total eje 2.

5,68307872	Nm
15,0616156	Nm
22,4603306	Nm
27,8903847	Nm
31,3693547	Nm
32,926388	Nm
32,613289	Nm
30,5307322	Nm
26,8983941	Nm
22,2694729	Nm
18,2121133	Nm
18,3669749	Nm
25,3716359	Nm
31,1271323	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.4.8 Diagrama de torque eje 2.

Figura 55. Diagrama de torque eje 2.



Fuente: elaboración Propia.

Tabla 32. valores diagrama de torque eje 2.

79,1251355	Nm
73,0965538	Nm
67,067972	Nm
61,0393903	Nm
55,0108085	Nm
48,9822268	Nm
42,953645	Nm
36,9250633	Nm
30,8964815	Nm
24,8678997	Nm
18,839318	Nm
12,8107362	Nm
6,78215447	Nm
0,75357271	Nm

Fuente: elaboración propia

4.3.5 Cálculo del límite de resistencia a la fatiga (se). Todos los cálculos serán realizados con base al libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shirley, con los cuales podremos diseñar el eje de la trituración.

4.3.5.1 Cálculo de límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa S'_e . para calcular este límite se multiplica el esfuerzo ultimo del acero 4140 (900 MPa) por (0,5), debido a que, es menor a 1400 MPa.

Ecuación 15. Limite de resistencia a la fatiga en viga rotativa.

$$S'_e = 0,5 Sut$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 269 ECUACION 6-8

4.3.5.2 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga. Para el proceso del cálculo del límite de resistencia a la fatiga es necesario tener en cuenta los diferentes factores que afectan el cálculo y que se muestran en las siguientes viñetas.

- Factor de superficie K_a : El acabado superficial que tendrá cada eje será maquinado.

Ecuación 16. Factor de superficie.

$$k_a = a s_{ut}^b$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 274 ECUACION 6-19

Tabla 33. Factor de superficie.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 274 tabla 6-2

Seguido de encontrar el factor de superficie se procede a calcular los otros factores para calcular el límite de resistencia a la fatiga señalando los valores de cada factor a continuación.

- Factor de tamaño k_b : Se supondrá este factor como 0,9 después se verificara.
- Factor de carga K_c : "cuando la torsión esta combinada con otros esfuerzos como la flexión, $K_c = 1$ y la carga combinada se maneja usando el esfuerzo de von Mises"⁶ según la cita se toma $K_c = 1$.
- Factor de confiabilidad K_e : Se toma el K_e como 1 debido a que se contemplan factores de seguridad bastante elevados en las fuerzas aplicadas sobre los ejes.
- Factor de temperatura K_d : K_d se tomara como 1, ya que, los ejes trabajan a temperatura ambiente.

⁶ SHIGLEY, Edward. Diseño en ingeniería mecánica de Shirley. México: McGraw Hill, 2008. 277 p. ISBN 9701064046.

4.3.5.3 Límite de resistencia a la fatiga (se).

Ecuación 17. Limite de resistencia a la fatiga.

$$se = s'_e ka kb kc ke kd$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 273 ECUACION 6-18

Tabla 34. Limite de resistencia a la fatiga (Se).

se	301,132271	MPa
se·	450	MPa
ka	0,74353647	
kb	0,9	
kc	1	
cd	1	
ke	1	

Fuente: elaboración propia

4.3.6 Parámetros de diseño para los ejes. Ecuaciones, tablas y constantes que se van a tener en cuenta en el diseño de los ejes serán la ecuación 18 de esfuerzo medio, la ecuación 19 de esfuerzo alternante y la ecuación 20 del criterio de Goodman, la ecuación 21 del criterio de Goodman con el despeje de "d". adicional a esto también se tendrán en cuenta las ecuaciones 22 raíz de "a" para flexión, 23 raíz de "a" para torsión, 24 concentrador de esfuerzos, 25 concentrador de esfuerzos y 26 Longitud de la cuña.

Ecuación 18. Esfuerzo medio.

$$\delta'm = \left[\left(\frac{32 * Kf * Mm}{\pi * d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 * Kfs * Tm}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Fuente SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 351 ECUACION 7-5

Ecuación 19. Esfuerzo alternante.

$$\delta' a = \left[\left(\frac{32 * K_f * M_a}{\pi * d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 * K_{fs} * T_a}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Fuente SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 351 ECUACION 7-6

Ecuación 20. Criterio de Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{\delta' a}{S_e} + \frac{\delta' m}{S_{ut}}$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 292 ECUACION 6-46

Ecuación 21. Criterio de Goodman despejado "d" y reemplazando esfuerzos.

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

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 353 ECUACION 7-14

Donde

d = diámetro inicial

n = factor de seguridad

Se = límite de resistencia a la fatiga

Sut = esfuerzo ultimo

Kf = factor de concentrador de esfuerzos (flexión)

KfW = factor de concentrador de esfuerzos (torsión)

Ma = momento flector alternante

Mm = momento flector medio

Ta = torque alternante

Tm = torque medio

Se supondrá un valor de $k_f = 1,7$ y $K_{fW} = 1,5$ como parámetros de entrada y un factor de seguridad $n = 1,5$. Los ejes se diseñaran con un acero 4140 esfuerzo ultimo $s_{ut} = 900$ Mpa, el límite de resistencia a la fatiga varia debido al factor K_b , que depende del diámetro, el valor inicial a tomar será el que anteriormente se calculó $S_e = 301,132271$.

Ecuación 22. Raíz de "a" para Flexión.

$$\sqrt{a} = 0,246 - 3,08 * 10^{-3} * S_{ut} + 1,51 * 10^{-5} * S_{ut}^2 - 2,67 * 10^{-8} * S_{sut}^3$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 282 ECUACION 6-35^a

Ecuación 23. Raíz de "a" para torsión.

$$\sqrt{a} = 0,190 - 2,51 * 10^{-3} * S_{ut} + 1,35 * 10^{-5} * S_{ut}^2 - 2,67 * 10^{-8} * S_{sut}^3$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 282 ECUACION 6-35b

Donde

S_{ut} = esfuerzo último del material en psi

Para calcular la raíz de a para flexión se utiliza la ecuación 21, que nos dará una constante con unidades de raíz de pulgada $\sqrt{a} = 0,041860361$

Para calcular La raíz de a para torsión se utiliza la educación 22, que nos dará una constante con unidades de raíz de pulgada $\sqrt{a} = 0,03300213$

K_f concentrador de esfuerzos por fatiga (flexión)

Ecuación 24. Concentrador de esfuerzos.

$$K_f = 1 + \frac{kt - 1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}}$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 281 ECUACION 6-33

Donde

K_t = factor de concentrador de esfuerzos (flexión)

r = radio de filete

K_{fs} concentrador de esfuerzos por fatiga (torsión)

Ecuación 25. Concentrador de esfuerzos por fatiga.

$$K_{fs} = 1 + \frac{k_{ts} - 1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}}$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 281 basada en ECUACION 6-33

Donde

K_{ts} = factor de concentrador de esfuerzos (torsión)

r = radio de filete

Los radios de filetes se pondrán en unidades de raíz de pulgada, para cancelar las unidades y queden adimensional los factores K_f y K_{fs} .

Ecuación 26. longitud cuña.

$$L = \frac{4T}{\frac{S_y}{N} * D * H}$$

Fuente: MOTT, Robert L.; CHACÓN PAZ, Miguel y CORDOVA JUST, Arturo. Diseño De Elementos De Máquinas [en línea] LIBRO, MEXICO: 1995 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/l3bb> PAGINA 500 ecuación 11-5

Donde

L = longitud cuña

T = torque

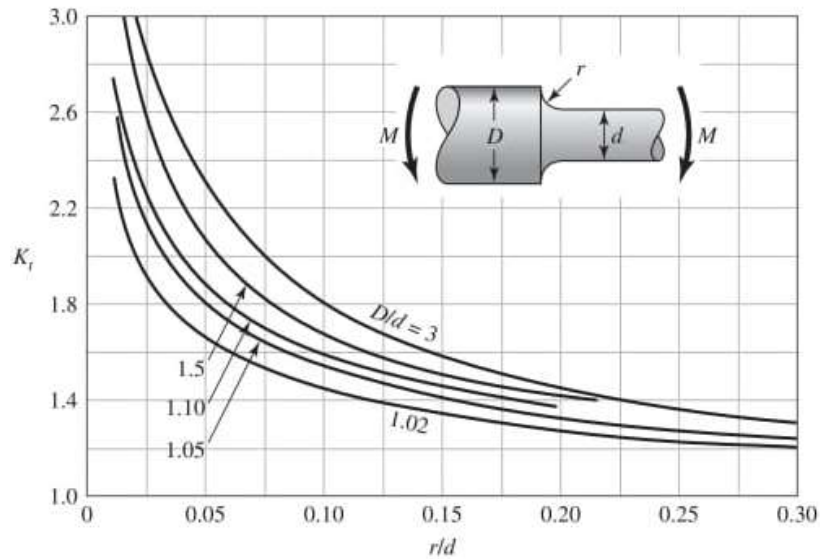
S_y = esfuerzo de fluencia del material de la cuña

N= factor de seguridad

D= diámetro eje

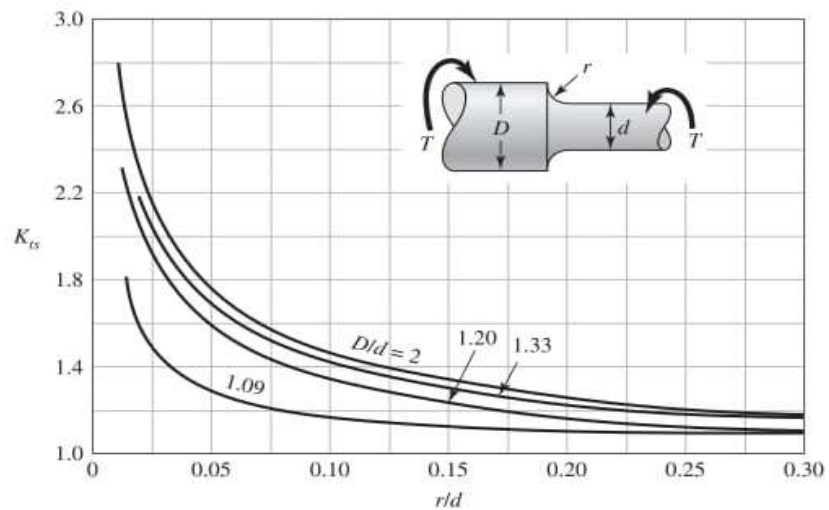
H= altura de la cuña

Tabla 35. Tabla de concentradores de esfuerzos K_t .



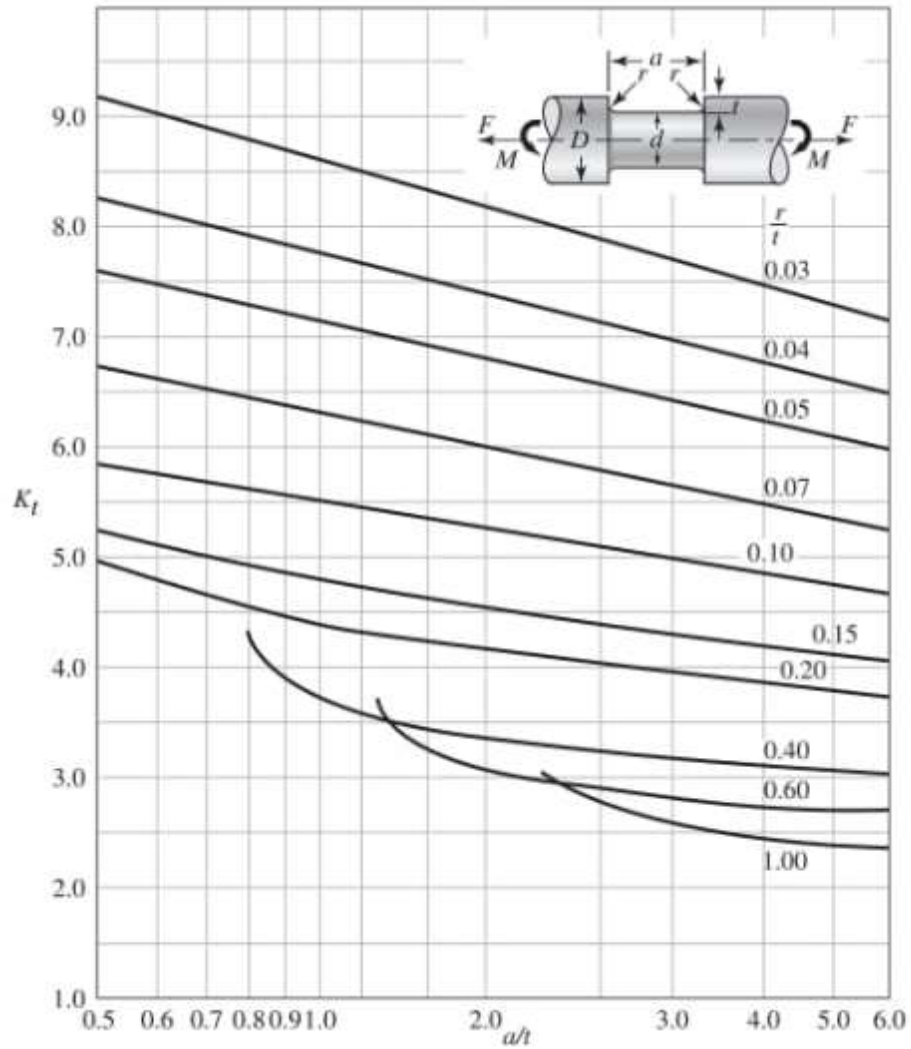
Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 992 tabla A-15-7

Tabla. 36. Tabla de concentradores de esfuerzo K_{ts} .



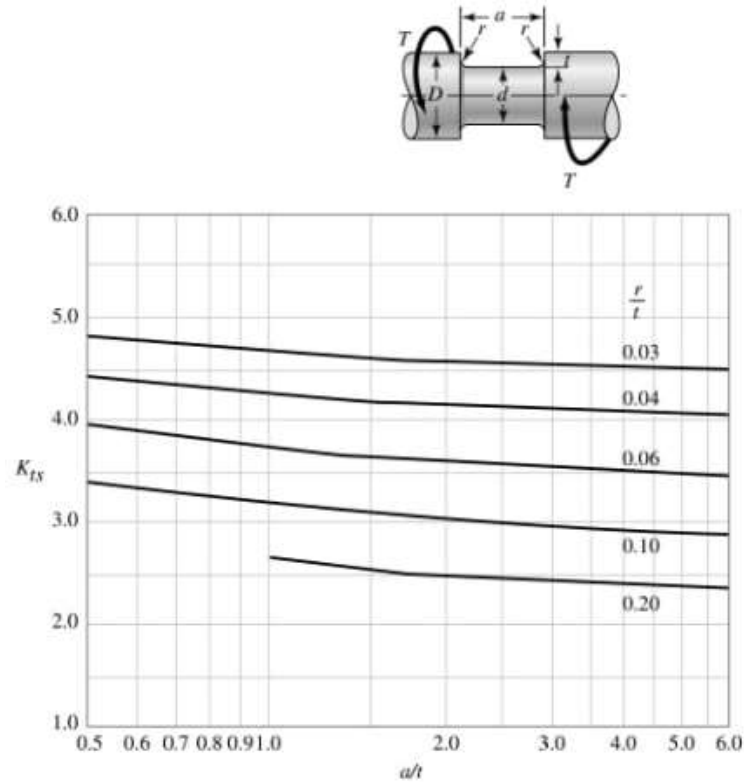
Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 992 tabla A-15-8

Tabla. 37. Tabla de concentradores de esfuerzo K_t ranura.



Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 995 tabla A-15-16

Tabla 38. Tabla de concentradores de esfuerzo K_{ts} ranura.



Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 996 tabla A-15-17

Tabla. 39. Tabla de concentradores para cuña.

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Fuente SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 356 tabla 7-1

Tabla 40. Tabla de diámetros de ejes para cuña.

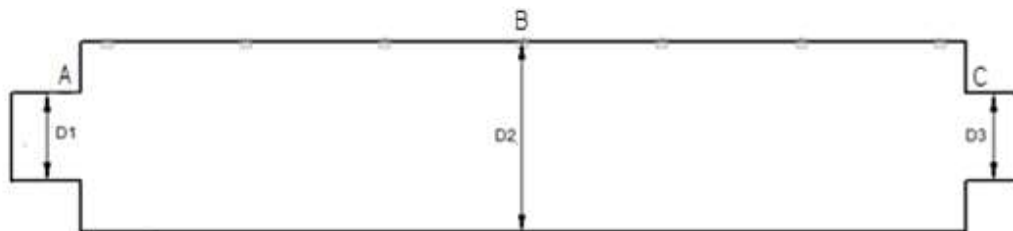
TABLA 11-1 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje

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

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados (disponible en el libro de diseño de elementos de máquinas de Mott) [Consultado 20, octubre, 2020], disponible en <https://n9.cj/3bb> tabla 11-1

4.3.7 Cálculo de los diámetros primer eje.

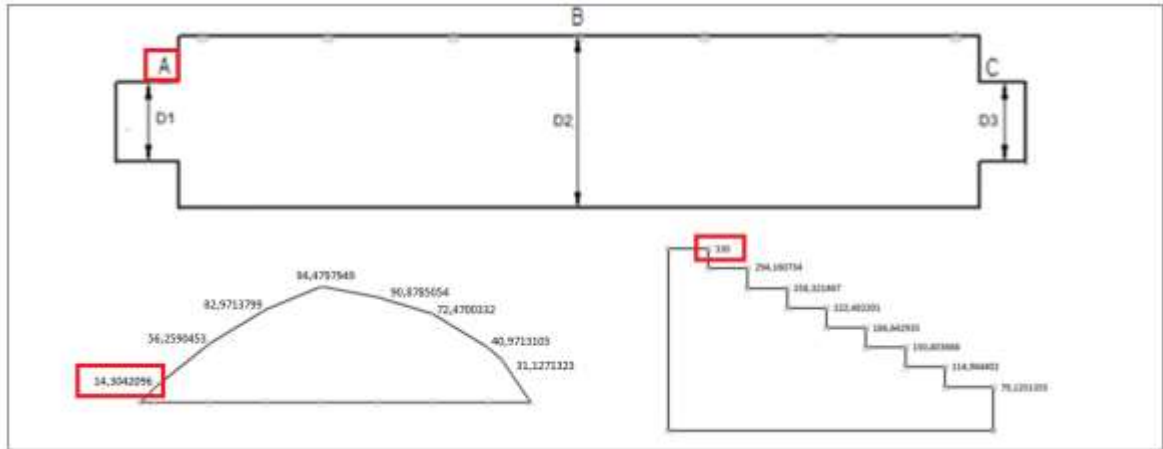
Figura 56. Diagrama básico eje 1.



Fuente: elaboración propia

4.3.7.1 Diámetro del punto A, diámetro inicial.

Figura 57. valores de cálculo para el punto A.



Fuente: elaboración propia

Usando el criterio de Goodman ecuación 21 obtenemos el diámetro inicial que se muestra en la tabla 39.

Tabla 41. Diámetro inicial en el punto A.

d	20,417353	mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	14304,2096	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	330000	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.7.2 Diámetro del punto A, análisis en el punto crítico hombro. Para el punto B el diámetro final será de 27 mm y para el punto D será de 20 mm, de esta forma la relación de $D/d = 1,35$ y la relación de r/d se tomara como 0,1, los valores de K_t y K_{ts} de las tablas 33 y 34 serán 1,65 y 1,43, respectivamente, al aplicar las ecuaciones 25 y 24 con sus correspondientes raíces de a , hayamos los factores K_f y K_{fs} , que se remplazaran en las fórmulas de δ^a y δ^m , que a su vez se remplazaran en el criterio de Goodman, dándonos como resultado un factor de seguridad en el hombro igual a 1,5282, como se puede ver en la tabla 40

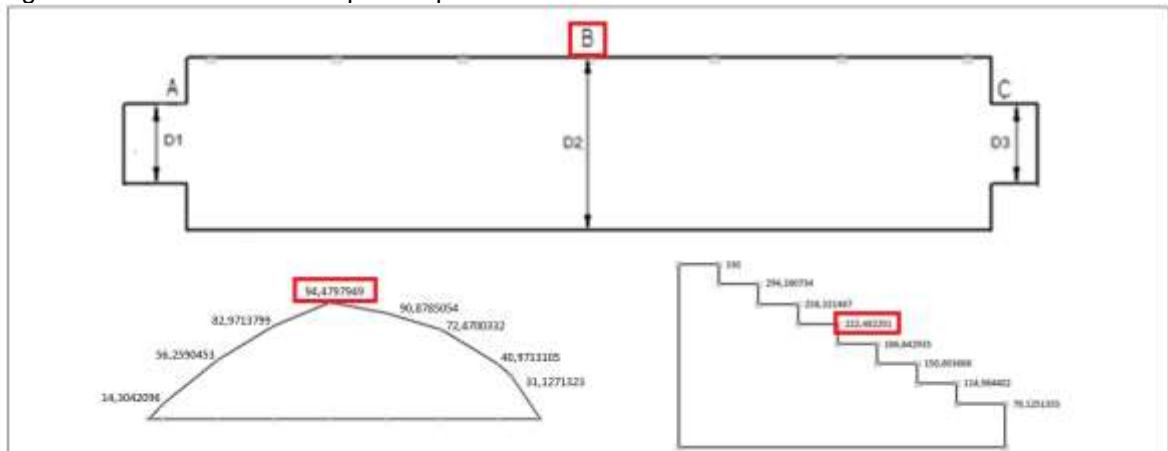
Tabla 42. Diámetro seleccionado en el punto A.

d	20	mm
se	301,695612	MPa
kf	1,56562168	
kfs	1,38474964	
kb	0,90168367	real
$\delta`ma$	28,5141749	MPa
$\delta`mm$	503,878642	MPa
factor de seguridad	1,52816823	

Fuente: elaboración propia

4.3.7.3 Diámetro del punto B, diámetro inicial.

Figura 58. valores de cálculo para el punto B.



Fuente: elaboración propia

Tabla 43. Diámetro inicial punto B.

d	23,54692	mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	94479,7949	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	222482,201	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.7.4 Diámetro del punto B, análisis en el punto crítico cuña.

Cuña de 1/4 x 3/16 X 7/16.

Figura 59. material cuña punto B.

Estilo de cara: Steel

Estilo de relleno: ANSI32(Steel)

Propiedades

Nombre de propiedad	Valor	Elimin...	Editar...
Densidad	7750,000 kg/m ³		
Coefficiente de expansión térm...	0,0000 /C		
Conductividad térmica	0,014 kW/m-C		
Calor específico	440,000 J/kg-C		
Módulo de elasticidad	207000,000 MPa		
Coefficiente de Poisson	0,280		
Límite elástico	950,000 MPa		
Tensión de rotura	1160,000 MPa		
Elongación %	0,000		

Descripción
Definición de material = Tool Steel:1.2085 , X33CrS16, Estilo de cara = Steel, Estilo de relleno = ANSI32(Steel)

Fuente: Base de datos programa Solid Edge

Con base a la tabla 38 se escoge la cuña de 1/4 x 3/16 X 7/16 teniendo que el diámetro del eje es de 27mm, que estaría entre los diámetros 7/8", y 1 1/4", aplicando la ecuación 26, con un factor de seguridad de 1,5 el torque del punto B el esfuerzo de fluencia tomado de la figura 57 y la altura de la cuña H de 3/16 de pulgada, obtenemos la longitud de la cuña en el punto B.

$$L = \frac{4 * 2222482,2009 \text{ Nmm}}{\frac{950 \text{ MPa}}{1,5} * 27 \text{ mm} * 4,7625 \text{ mm}}$$

$$L = 10,9275 \text{ mm}$$

Tomando los valores Kt y Kts de la tabla 37, para cuñero fresado y siguiendo los mismos pasos que se hicieron en el punto A, Se calculó el punto B con un diámetro de 24 mm, dándonos un factor de seguridad igual a 1,1722, al ser menor a 1,5, se

aumentó el diámetro hasta 27 mm dándonos un factor de seguridad igual a 1,6473, como se puede ver en la tabla 42.

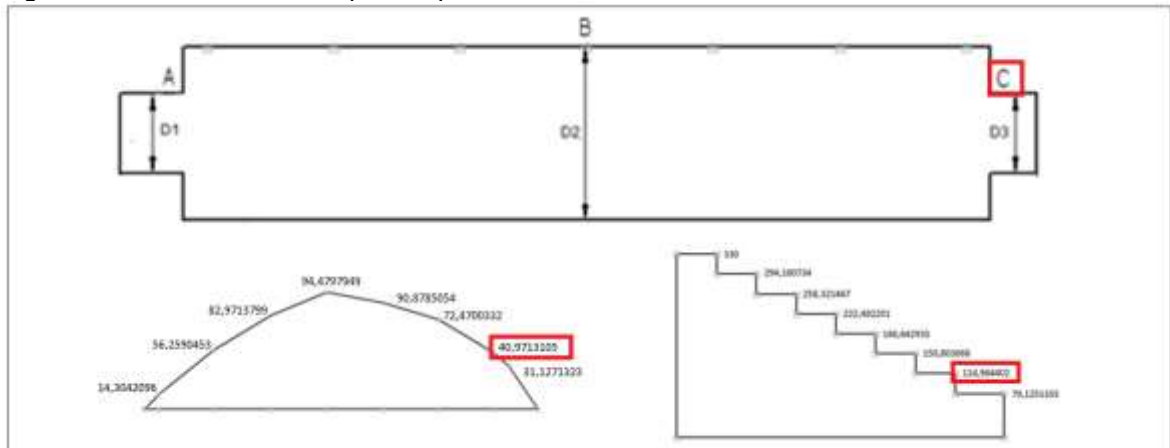
Tabla 44. Diámetro seleccionado en el punto B.

d	27	mm
se	292,13978	MPa
kf	1,88571673	
kfs	2,63086865	
kb	0,87312396	real
$\delta`ma$	92,1985748	MPa
$\delta`mm$	262,321497	MPa
factor de seguridad	1,6472679	

Fuente: elaboración propia

4.3.7.5 Diámetro del punto C, diámetro inicial hombro.

Figura 60. valores de cálculo para el punto C.



Fuente: elaboración propia

Tabla 45. Diámetro inicial punto c.

d	18,2408952	Mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	40971,3105	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	114964,402	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.7.6 Diámetro del punto C, análisis en el punto crítico hombro. Dado que el sprocket que se seleccionó, tiene un diámetro de barrenado de 19 a 45 mm, se aumenta el diámetro de en el punto C hasta 20 mm, puesto que, es diámetro comercial de rodamiento y de esta forma se da una homogeneidad en los diámetros del punto A y del punto C, con un factor de seguridad igual a 2,147, como se puede ver en la tabla 44.

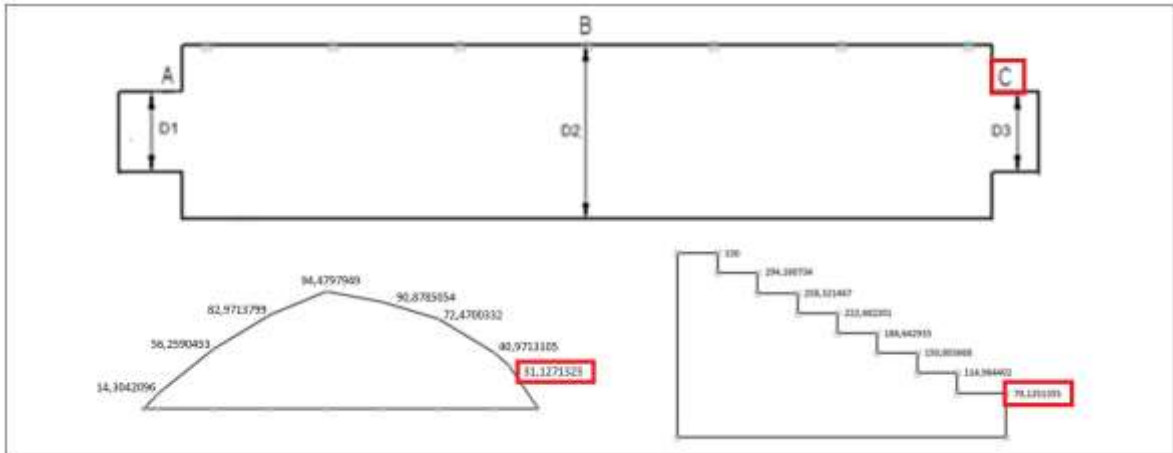
Tabla 46. Diámetro seleccionado punto C.

d	20	Mm
se	301,6956125	MPa
kf	1,565621679	
kfs	1,384749638	
kb	0,901683668	Real
$\delta`ma$	81,67267873	MPa
$\delta`mm$	175,5397174	MPa
factor de seguridad	2,147045493	

Fuente: elaboración propia

4.3.7.7 Diámetro del punto C, diámetro inicial cuña.

Figura 61. valores de cálculo para el punto C.



Fuente: elaboración propia

Tabla 47. Diámetro inicial en el punto C caso cuña.

d	16,4233627	Mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	31127,1323	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	79125,1355	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.7.8 Diámetro del punto C, análisis en el punto crítico cuña: de 3/16 x 3/16 x 25/32.

Figura 62. material cuña punto C.

Estilo de cara: Steel

Estilo de relleno: ANSI32(Steel)

Nombre de propiedad	Valor	Elimin...	Editar...
Densidad	7700,000 kg/m ³		
Coefficiente de expansión térm...	0,0000 /C		
Conductividad térmica	0,014 kW/m-C		
Calor específico	440,000 J/kg-C		
Módulo de elasticidad	220000,000 MPa		
Coefficiente de Poisson	0,280		
Límite elástico	260,000 MPa		
Tensión de rotura	500,000 MPa		
Elongación %	0,000		

Descripción
Definición de material = Steel - Stainless:1.4003 , X2CrNi12, Estilo de cara = Steel, Estilo de relleno = ANSI32(Steel)

Fuente: Base de datos programa Solid Edge

Con base a la tabla 37 se escoge la cuña de 3/16 x 3/16 X 25/32 teniendo que el diámetro del eje es de 20mm, que estaría entre los diámetros 9/16", y 7/8", aplicando la ecuación 26, con un factor de seguridad de 1,5 el torque del punto C el esfuerzo de fluencia tomado de la tabla 60 y la altura de la cuña H de 3/16 de pulgada, obtenemos la longitud de la cuña en el punto C.

Aplicando la ecuación 26 obtenemos la longitud de la cuña en el punto C.

$$L = \frac{4 * 36925,0633Nmm}{\frac{950MPa}{1,5} * 24mm * 4,7625mm}$$

$$L = 7,4550 mm$$

De igual forma se calcula el factor de seguridad en la cuña del sprocket, obteniendo un valor de 2,024, como se puede ver en la tabla 46, con los valores Kt y Kts de la tabla 37 para cuñero fresado.

Tabla 48. Análisis del diámetro en la cuña.

d	20	Mm
se	301,695612	MPa
kf	1,85484686	
kfs	2,58355171	
kb	0,90168367	Real
δ`a	73,5118393	MPa
δ`m	225,409583	MPa
factor de seguridad	2,02381067	

Fuente: elaboración propia

4.3.7.9 Diámetro del punto C, análisis en el punto crítico ranura

Se selecciono un anillo de CFS 20 del catálogo ROTOR CLIP.

Figura 63. selección anillos.

NUMERO DEL ANILLO	DIAMETRO DEL EJE		DIMENSIONES DE LA RANURA		DIMENSIONES Y PESO DEL ANILLO				
	Ds DEC	Ds mm	DIAMETRO		ANCHURA	DIAMETRO LIBRE	ESPESOR	SECCION	PESO
			Dg	TOL.	W min	Df max	T -0,1	S -0,1	kg/1000
CFS-4	0.1575	4	3,8	-0,09	0,6	3,7	0,5	0,80	0,02
CFS-5	0.1969	5	4,8		0,6	4,7	0,5	1,00	0,05
CFS-6	0.2362	6	5,7		0,8	5,6	0,7	1,10	0,09
CFS-7	0.2756	7	6,7		0,8	6,5	0,7	1,20	0,12
CFS-8	0.3150	8	7,6		1,1	7,4	1,0	1,30	0,20
CFS-9	0.3543	9	8,6		1,1	8,4	1,0	1,30	0,24
CFS-10	0.3937	10	9,6		1,1	9,4	1,0	1,30	0,25
CFS-11	0.4331	11	10,5		1,1	10,2	1,0	1,30	0,29
CFS-12	0.4724	12	11,5		1,1	11,2	1,0	1,30	0,30
CFS-13	0.5118	13	12,5		1,1	12,2	1,0	1,30	0,34
CFS-14	0.5512	14	13,5	-0,11	1,3	13,1	1,2	1,50	0,50
CFS-15	0.5906	15	14,4		1,3	14,0	1,2	1,75	0,66
CFS-16	0.6299	16	15,4		1,3	15,0	1,2	1,75	0,69
CFS-17	0.6693	17	16,4		1,3	16,0	1,2	1,75	0,72
CFS-18	0.7087	18	17,4		1,3	17,0	1,2	1,75	0,75
CFS-19	0.7480	19	18,4		1,3	17,9	1,2	1,75	0,80
CFS-20	0.7874	20	19,2		1,3	18,7	1,2	1,75	0,84
CFS-21	0.8268	21	20,2		1,3	19,7	1,2	1,75	0,87
CFS-22	0.8661	22	21,2		1,3	20,7	1,2	1,75	0,91
CFS-24	0.9449	24	23,0		1,3	22,5	1,2	1,75	0,99

Fuente: ROTOR CLIP, [En línea], [Consultado: 24 de abril 2020]. Disponible En: <https://n9.cl/s5er8>

De igual forma se calcula el factor de seguridad en la ranura del eje, la relación de $a/t = 3,25$ y la relación de r/t se tomara como 0,2, los valores de K_t y K_{ts} de las tablas 35 y 36 serán 3,9 y 2,4, respectivamente, al aplicar las ecuaciones 25 y 24 con sus correspondientes raíces de a , hayamos los factores K_f y K_{fs} , que se remplazaran en las fórmulas de $\delta`a$ y $\delta`m$, que a su vez se remplazaran en el criterio de Goodman, dándonos como resultado un factor de seguridad en el hombro igual a 1,8798, como se puede ver en la tabla 47.

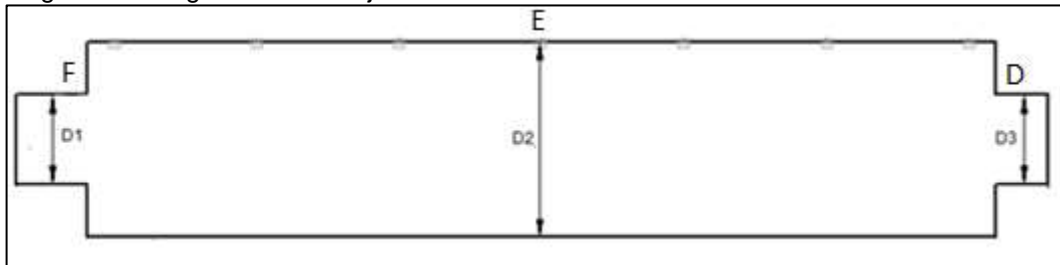
Tabla 49. Análisis del diámetro en la ranura.

d	20	mm
se	301,695612	MPa
kf	2,66104385	
kfs	1,88158465	
Ma	31127,1323	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	79125,1355	Nmm
kb	0,90168367	real
$\delta`ma$	105,463277	MPa
$\delta`mm$	164,164398	MPa
factor de seguridad	1,87979335	

Fuente: elaboración propia

4.3.8 Cálculo de los diámetros segundo eje.

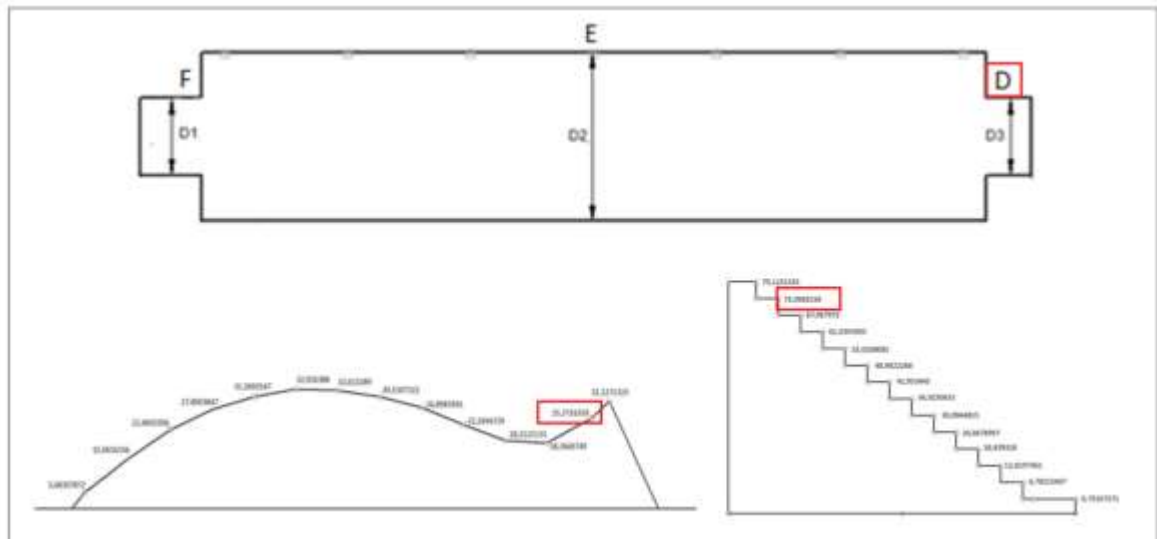
Figura 64. Diagrama básico eje 2.



Fuente: elaboración propia

4.3.8.1 Diámetro en el punto D, inicial hombro.

Figura 65. valores de cálculo para el punto D.



Fuente: elaboración propia

Tabla 50. Diámetro inicial punto D.

d	15,6055011	mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	25371,6359	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	73096,5538	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.8.2 Diámetro del punto D, análisis en el punto crítico hombro: Para el punto E el diámetro final será de 24 mm y para el punto D será de 20 mm, de esta forma la relación de $D/d = 1,2$ y la relación de r/d se tomara como 0,1, los valores de K_t y K_{ts} de la tablas 33 y 34, serán 1,62 y 1,36, respectivamente, siguiendo la misma metodología del cálculo de los diámetros del primer eje, se obtendrá un factor de seguridad en el hombro igual a 3,5305, como se puede ver en la tabla 49.

Tabla 51. Diámetro seleccionado en el punto D.

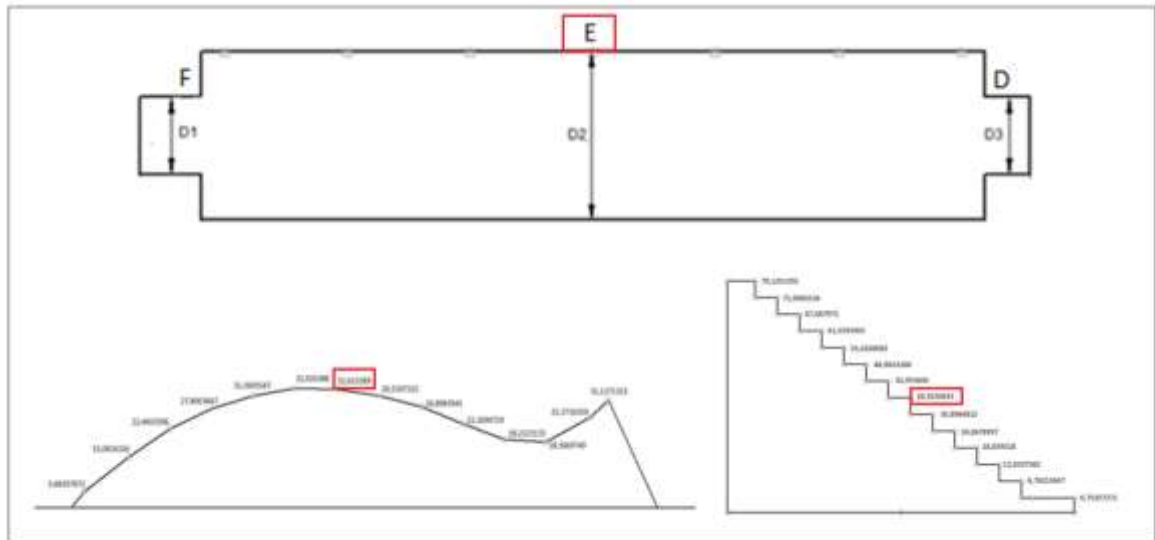
d	20	mm
se	301,6956125	MPa
kf	1,539516063	
kfs	1,322115976	
kb	0,901683668	real
$\delta`ma$	49,73278892	MPa
$\delta`mm$	106,5631883	MPa
factor de seguridad	3,530477566	

Fuente: elaboración propia

4.3.8.3 Diámetro del punto D, análisis en el punto crítico cuña: El cálculo del diámetro del punto C, en la cuña y la ranura, es igual al cálculo del diámetro del punto D, en la cuña y la ranura, puesto que, su torque y momento flector, son iguales en posición y magnitud.

4.3.8.4 Diámetro del punto E, diámetro inicial.

Figura 66. valores de cálculo para el punto E.



Fuente: elaboración propia

Tabla 52. Diámetro inicial en el punto E.

d	15,3649242	mm
n	1,5	
se	301,132271	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	32613,289	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	36925,0633	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.8.5 Diámetro del punto E, análisis en el punto crítico cuña Cuña de 3/16 X 3/16 X 3/8.

Figura 67. material cuña punto E.

Estilo de cara: Steel

Estilo de relleno: ANSI32(Steel)

Administrar estilos...

Propiedades

Nombre de propiedad	Valor	Elimin...	Editar...
Densidad	7700,000 kg/m ³		
Coefficiente de expansión térm...	0,0000 /C		
Conductividad térmica	0,014 kW/m-C		
Calor específico	440,000 J/kg-C		
Módulo de elasticidad	220000,000 MPa		
Coefficiente de Poisson	0,280		
Límite elástico	260,000 MPa		
Tensión de rotura	500,000 MPa		
Elongación %	0,000		

Descripción
Definición de material = Steel - Stainless:1.4003 , X2CrNi12, Estilo de cara = Steel, Estilo de relleno = ANSI32(Steel)

Fuente: Base de datos programa Solid Edge

Con base a la tabla 38 se escoge la cuña de 3/16 x 3/16 X 3/8 teniendo que el diámetro del eje es de 24mm, que estaría entre los diámetros 9/16", y 7/8" aplicando la ecuación 26, con un factor de seguridad de 1,5 el torque del punto E el esfuerzo

de fluencia tomado de la figura 65 y la altura de la cuña H de 3/16 de pulgada, obtenemos la longitud de la cuña en el punto C.

$$L = \frac{4 * 79125,13555 \text{ Nmm}}{\frac{950 \text{ MPa}}{1,5} * 20 \text{ mm} * 4,7625 \text{ mm}}$$

$$L = 19,17023 \text{ mm}$$

De igual forma se calcula el factor de seguridad en la cuña, con los valores Kt y Kts de la tabla 37 para cuñero fresado.

Se calcula el punto E con un diámetro de 17 mm, dándonos un factor de seguridad igual a 1,6866, este se aumentó hasta 24 mm para dejar los ejes homogéneos en su geometría base, como se puede ver en la figura 62 para poder acoplar los rodamientos de forma igual, en las tapas laterales, de la carcasa de trituración, el factor de seguridad de 24 mm en el punto E se puede ver en la tabla 51 con un valor igual 4,5329.

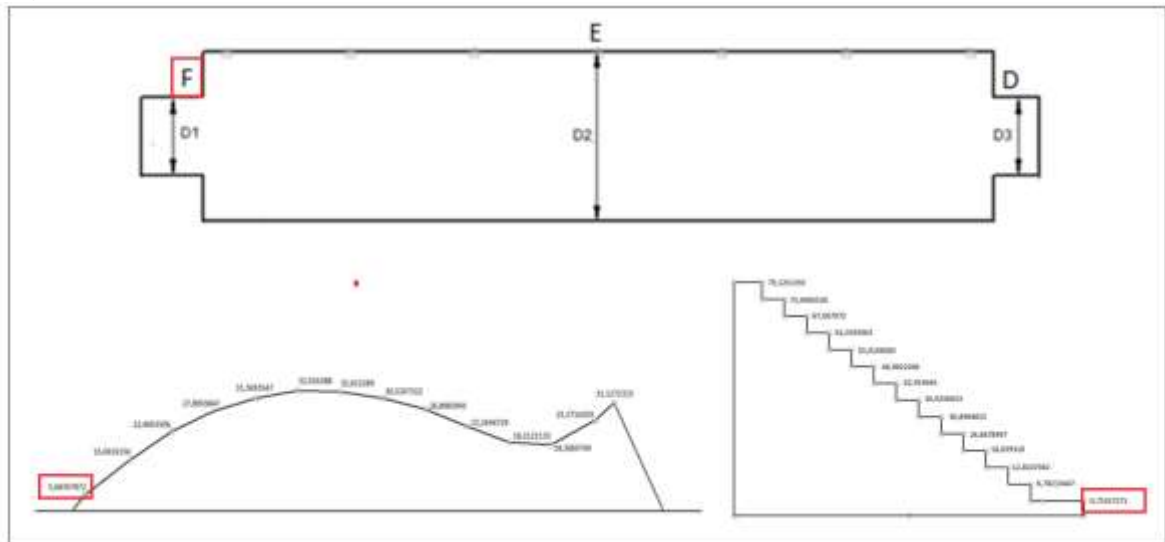
Tabla 53. Diámetro seleccionado en el punto E.

d	24	mm
se	295,8535642	MPa
kf	1,873892449	
kfs	2,612811949	
kb	0,884223423	real
δ`ma	45,030383	MPa
δ`mm	61,56394104	MPa
factor de seguridad	4,532899456	

Fuente: elaboración propia

4.3.8.6 Diámetro del punto F, diámetro inicial.

Figura 68. valores de cálculo para el punto F.



Fuente: elaboración propia

Tabla 54. Diámetro inicial punto F.

d	7,972882933	mm
n	1,5	
se	301,1322715	MPa
kf	1,7	
kfs	1,5	
Ma	5683,078719	Nmm
Mm	0	Nmm
ta	0	Nmm
tm	753,5727107	Nmm

Fuente: elaboración propia

4.3.8.7 Diámetro del punto F, análisis en el punto crítico hombro. Se aumentó el diámetro de en el punto F hasta 20 mm, dando una homogeneidad en punto F y el punto D, dándonos un factor de seguridad igual a 26,2160, como se puede ver en la tabla 53.

Tabla 55. Diámetro seleccionado punto F.

d	20	mm
se	301,6956125	mpa
kf	1,539516063	
kfs	1,322115976	
kb	0,901683668	real
$\delta^{\circ}ma$	11,13981593	mpa
$\delta^{\circ}mm$	1,098589557	mpa
factor de seguridad	26,21597647	

Fuente: elaboración propia

Una vez calculado las cuchillas de trituración y sus ejes, se tiene en cuenta la separación que se presenta entre las cuchillas fijas y las cuchillas móviles las cuales al momento de dar la puesta en marcha del equipo entregaran partículas de polisociunorato del tamaño aproximado de 3mm a 10 mm las cuales se depositaran en el sistema de separación.

4.4 SELECCIÓN DE ACOPLE

Por facilidades de ensamble se decide seleccionar un acople flexible el cual nos permitirá acoplar dos ejes con diámetros distintos, los cuales son el eje de trituración un diámetro de 20 mm y el eje de salida del motorreductor el cual es de 35 mm

Se seleccionó el acople flexible tipo cadena de la empresa Intermec con referencia C40-18 con se observa en la figura 67 el cual tiene como características que se observan en la figura 68 que permite generar los huecos necesarios al tamaño requerido para cada eje y se llega a sobre dimensionar su vida útil teniendo en cuenta que las revoluciones a las que va a trabajar serán de 46 RPM.

Figura 69. Acople flexible tipo cadena.



Fuente: INTERMEC, Acoples flexibles para ejes tipo de cadena. [en línea] Bogotá [Consultado: 10 de agosto 2020]. Disponible en línea: https://www.intermec.com.co/pdf/acoples_cadena.pdf

Figura 70. Propiedades acople flexible tipo cadena.

Referencia	Hueco máximo permisible mm	Dimensiones principales en milímetros (fig. 1)				Desalineamiento máximo permisible (figs. 2 y 3)		RPM máximas sin carcasa	RPM máximas con carcasa oleoactuante
		A	Con carcasa cc	B	C	Paralelo A mm	Angular B grados		
C35-18	31	63	73	56	43	0,20	1,5°	1200	4800
C40-18	41	84	95	70	59	0,27	2°	1000	4500
C50-16	43	95	112	100	63	0,30	2°	800	4000
C50-18	45	105	123	100	73	0,30	2°	800	3600
C60-18	57	127	142	125	88	0,35	2°	600	3000
C60-22	76	151	165	125	115	0,35	2°	500	2500
C80-18	80	168	186	140	115	0,40	2°	500	2000
C80-22	95	202	225	155	142	0,40	2°	400	1900
C100-20	110	232	275	176	160	0,65	2,5°	400	1800
C120-20	130	275	320	224	184	0,80	3°	300	1200
C160-20	190	375	440	360	226	0,80	3°	200	1000
C200-18	205	424	490	508	294	0,80	3°	200	800
C200-20	260	504	570	508	477	0,80	3°	100	600

Fuente: INTERMEC, Acoples flexibles para ejes tipo de cadena. [en línea] Bogotá [Consultado: 10 de agosto 2020]. Disponible en línea: https://www.intermec.com.co/pdf/acoples_cadena.pdf

4.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Teniendo en cuenta que los rodamientos a seleccionar son los que se ubican a los extremos de los ejes de trituración, para el cálculo de estos rodamientos es necesario tener la reacción en los apoyos de los ejes siendo estos cálculos mediante la suma de los componentes de los vectores de carga para que se vea en el eje Y, las componentes ya se habían calculado en el apartado de cálculo de diseño de ejes y se decide encontrar la reacción más crítica en los planos.

Ecuación 27. Reacción en el apoyo para rodamientos.

$$R = \sqrt{R_{xy}^2 + R_{zy}^2}$$

Donde:

R es la reacción en el apoyo más crítico

R_{xy} = reacción en el plano XY

R_{zy} =reacción en el apoyo ZY

Seguido de esto se procede a reemplazar las variables que ya se encuentran especificadas en el apartado de trituración

$$R = \sqrt{1044.309^2 N + 214.535^2 N}$$

$$R = 1066.1182 N$$

Con este valor de reacción en el apoyo se procede a seleccionar el rodamiento necesario, con base al eje, el cual es un eje con un diámetro de 20 mm. Es por esta razón que se selecciona el rodamiento 61804 del catálogo de rodamientos de SKF como se observa en la tabla 54 el cual tiene una carga dinámica de 4.03 kN

Tabla 56. Tabla de rodamientos a seleccionar.

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	Carga dinámica C	Carga estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
30	47	9	6,17	3,63	0,158	45 000	28 000	0,031	82104
42	68	14	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	116004
42	12	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	16004

Fuente: SKF, Rodamientos de una hilera. 324 [en línea] Bogotá [Consultado: 10 de agosto 2020]. Disponible en :

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf&ved=2ahUKEwjTzvnRI9jsAhVCrFkKHW-vDzMQFjAAeqQIAhAB&usq=AOvVaw2m9nLVXFnSDfoX2FH7E7Wb&cshid=1603916377888

Posterior a la selección del rodamiento se procede a calcular el número de revoluciones y vida útil del rodamiento con la ecuación 28

Ecuación 28. # de revoluciones del rodamiento.

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

En donde

L_{10} =Numero de revoluciones máxima en millones

C =Capacidad de carga básica

P =Carga a la cual estará sometido el rodamiento

Reemplazando los datos en las variables obtenemos la siguiente ecuación.

$$L_{10} = \left(\frac{4030 \text{ N}}{1066.1182}\right)^3$$

$$L_{10} = 54.01 \text{ Millones de revoluciones}$$

Con este valor precedemos a calcular la vida útil del rodamiento, en donde se tendrá en cuenta la revoluciones a las que va a trabajar el eje de trituración las cuales son de 46 RPM o expresado de otra forma 2760 RPH, estas revoluciones corresponden

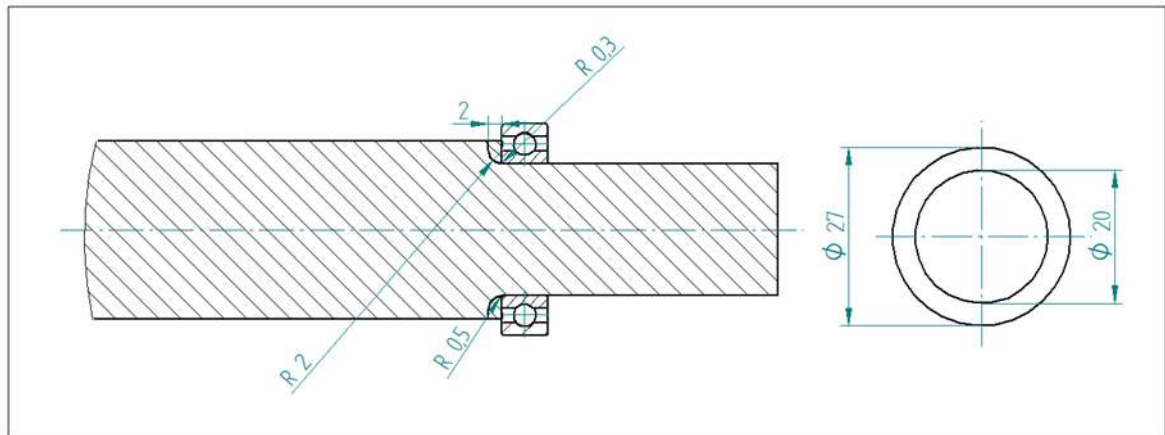
a las numero de vueltas que daría el eje en un minuto o una hora de trabajo respectivamente.

Una vez se tiene el número de revoluciones que daría el eje en una hora se procede a calcula el número de horas de vida útil del rodamiento dividiendo el número de revoluciones que podría dar el rodamiento " L_{10} " entre el numero de revoluciones por hora "RPH".

Esto nos da un valor de 19569.9 horas de trabajo como vida útil del rodamiento.

Teniendo en cuenta que el radio mínimo de entalle para este rodamiento es de 0.3 mm se decide adicionar una arandela con las dimensiones mostradas en la figura 69 para que este ajuste de forma correcta.

Figura 71. ajuste rodamiento en el eje.

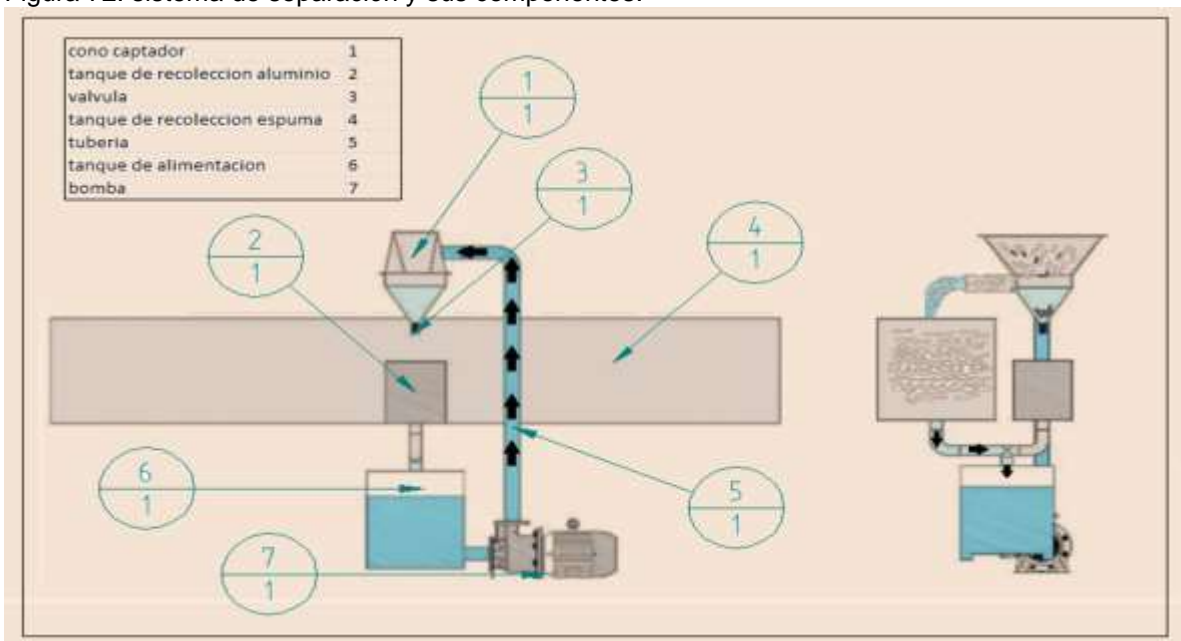


Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

4.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN

4.6.1 Descripción sistema de separación. Como se observa en la figura 70, se aprecian los componentes del sistema de separación. Los cuales constan como partes principales el tanque de alimentación el cual contiene el fluido que ira por el sistema de separación, una bomba que permitirá el desplazamiento del fluido, una tubería de carga y descarga, un cono de captación en el cual se presentara la separación de las partículas al encontrarse con el fluido y presentarse una decantación de las partículas de aluminio y una flotabilidad de las partículas de polisociunorato, de igual forma el cono consta de una desagüe tanto en la parte superior como inferior para permitir el flujo del fluido por el sistema y una correcta separación de las partículas trituradas, dos tanques de captación para las partículas ya separadas de aluminio y de espuma, dentro del tanque de alimentación se encuentra un filtro cubico sobre la tubería de succión de la bomba la cual tiene una malla con un Mesh 4 garantiza que no pasen partículas de espuma a la bomba con tamaño de partículas superiores a 2 mm teniendo en cuenta que el tamaño de partícula mínimo esperado esta entre los 10mm y los 3 mm.

Figura 72. sistema de separación y sus componentes.



Fuente: elaboración propia

4.6.2 Diseño del subsistema de tuberías. Como se explicó anteriormente el fluido de trabajo para transportar la molienda del aluminio y la espuma de polisociunorato será agua, con ello las propiedades de este a tomar en cuenta serán las mostradas en la tabla 55.

Teniendo en cuenta que el proyecto se desarrolla para la ciudad de Bogotá principalmente, razón por la cual la temperatura de trabajo será de 20 °C siendo la temperatura máxima media anual que tiene la ciudad de Bogotá según el atlas interactivo del IDEAM.

La densidad del agua media se tomará de la página del ACUEDUCTO para una temperatura de 20°C tiene un valor de densidad de 998.2067 kg/m³. La viscosidad dinámica se tomó del libro de mecánica de fluidos con un valor de 1.002x10⁻³ kg/(m*s).

Tabla 57. Propiedades del fluido de trabajo.

Propiedades del agua	
Temperatura (°C)	20
Densidad (kg/m ³)	998.2067
Visco. Dinámica (kg/(m*s))	0.001002
Caudal (m ³ /s)	0.0003

Fuente: elaboración propia

Para determinar la tubería para el sistema hidráulico de la separación se utilizará el catálogo de tuberías de la empresa PAVCO que contiene las propiedades para las "SCHEDULE" comercialmente de, SCH 40 para tubería PVC.

El parámetro que delimitará el tamaño de las tuberías será la velocidad que según el libro de "Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones de Yunus A. Çengel" no deben admitirse velocidades mayores a 1.5 m/s.

Siendo la velocidad el parámetro de restricción, se inició calculando la velocidad para el primer diámetro por medio de la ecuación 29 y verificar que la velocidad del fluido anteriormente dada cumpla.

Ecuación 29. Velocidad de fluido.

$$V = \frac{Q}{A}$$

MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Donde

Q es el caudal en cualquier sección de la tubería en un instante de tiempo t

A es el área de sección por donde atraviesa un volumen de agua determinado

El caudal requerido se determinará en base a la tasa de molienda del sistema de trituración siendo este de 0.0003 m³/s.

Para la primera iteración se tomará del catálogo de PAVCO previamente mencionado con una SCHEDULE de 40 y un diámetro nominal de ½ "(pulgada) y las siguientes características geométricas.

Tabla 58. Tubería SCH 40 1/2 de pulgada.

Diámetro Nominal	Diámetro Externo		SCH 40				
			Espesor de Pared		Presión Interna de Trabajo	Peso Aproximado	
Pulg	Pulg	mm	Pulg	mm	PSI	Lb/pie	Kg/m
1/2	0,84	21,34	0,09	2,37	500	0,138	0,218

Fuente: elaboración propia, con base a PAVCO

Con las características anteriormente mostradas lo que se pretende es obtener el diámetro hidráulico de trabajo de la tubería por medio de la ecuación 30.

Ecuación 30. Diámetro hidráulico.

$$D_{hid} = \left(\left(\frac{D_{ext}}{2} \right) - Espesor \right) * 2$$

$$D_{hid} = \left(\left(\frac{0,02134 \text{ m}}{2} \right) - 0,00237 \text{ m} \right) * 2 ,$$

$$D_{hid} = 0.0166 \text{ m}$$

Obteniendo así el siguiente valor de velocidad

$$V = \frac{0.0003 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * (0.02134 \text{ m})^2} = 1.3862 \frac{m}{s}$$

Determinando así que el diámetro nominal cumple con la restricción de velocidad inicialmente sería el diámetro nominal de ½” con una velocidad de 1.3862 m/s en un SCHEDULE de 40 en PVC con las siguientes características.

Tabla 59. Tubería SCH 40 PVC ½ de pulgada características.

Diámetro Nominal	Diámetro Externo		SCH 40				
			Espesor de Pared	Presión Interna de Trabajo	Peso Aproximado	Diámetro Hidráulico	Área Hidráulica
Pulg	Pulg	mm	mm	PSI	Kg/m	mm	m²
1/2	0,84	21,34	2,37	500	0,218	16,6	0,000216

Fuente: elaboración propia

4.6.3 Determinación del Régimen del fluido. Una vez determinado la tubería requerida y la velocidad de trabajo se procede a determinar el régimen en el cual la impulsión del fluido se encuentra por medio de la ecuación 31.

Ecuación 31. # Reynolds.

$$\# \text{ Reynolds} = \frac{D \cdot v_{hid} \cdot \bar{V} \cdot \rho}{\nu}$$

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en

<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

V es la velocidad de trabajo

ρ es la densidad del fluido

ν es la viscosidad dinámica del fluido de trabajo

obteniendo así un valor de Reynolds

$$\# Reynolds = \frac{0.02134 \text{ m} * 1.3862 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 998.2067 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.001002 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$\# Reynolds = 22923.242 \text{ (Adimensional)}$$

Según el libro de mecánica de fluidos de Mott los valores de referencia para definir el régimen son:

- Régimen Laminar: Reynolds < 3000
- Régimen Transición: 3000 < Reynolds < 4000
- Régimen Turbulento: Reynolds > 4000

En este caso el Reynolds de trabajo se encuentra en el régimen turbulento según los valores de referencia.

4.6.4 Cálculo de la rugosidad relativa. La rugosidad relativa es requerida ya que cambia según el material de la tubería y el fluido de trabajo que se utiliza. Se calculará la rugosidad relativa mediante la ecuación 32, en donde el valor de la rugosidad absoluta del PVC tiene un valor de 0.000015 m como se observa en la tabla 8.2 del libro de mecánica de fluidos de Robert Mott, donde señalamos en la tabla 58 la rugosidad relativa del PVC.

Tabla 60. Rugosidad absoluta por materiales.

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso 3.0×10^{-7}	Liso 1.0×10^{-6}
Plástico	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Acero, comercial o soldado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}
Acero remachado		

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Ecuación 32. Rugosidad relativa.

$$\varepsilon = \frac{\epsilon}{D.Hid}$$

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

$$= \frac{\epsilon}{D.Hid}$$

$$\varepsilon = \frac{0.0000015 \text{ m}}{0.0166 \text{ m}} = 0.000090361 \text{ (Adimensional)}$$

4.6.5 Cálculo del factor de fricción. Para calcular el factor de fricción de la tubería se utilizó la ecuación de Colebrook, como se muestra a continuación.

Ecuación 33. Colebrook para factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left[\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right]$$

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Teniendo en cuenta que el factor de fricción se encuentra en ambos lados de la ecuación se utilizara SOLVER para hallar f, utilizando la ecuación 33 para reemplazar las variables y encontrar el factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left[\frac{0.0001168}{\frac{0.01712 \text{ m}}{3.71}} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right]$$

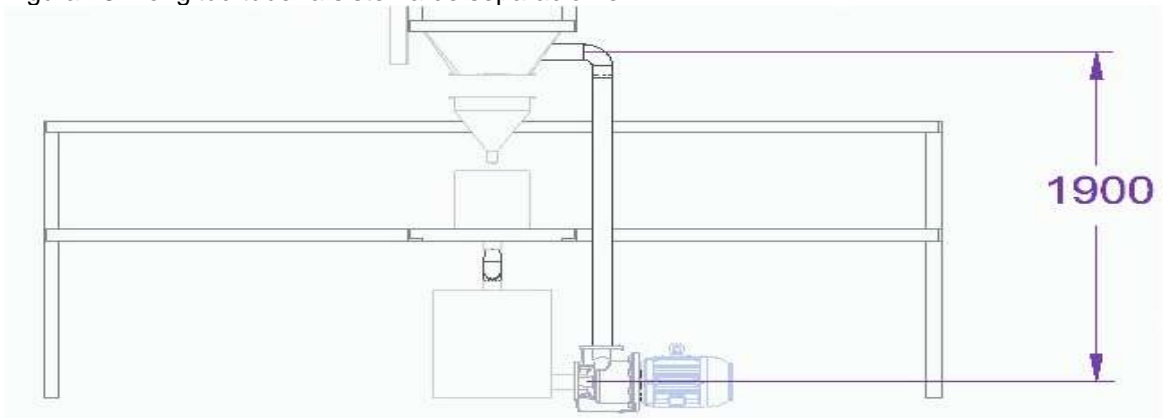
Obteniendo

$$f = 0.0346250397(\text{Adimensional})$$

4.6.6 Cálculo de la Caída de Presión. Para saber la caída de presión de la tubería se utilizó la ecuación de Darcy mostrada a continuación. Cálculo de la pérdida de carga mayor.

Para calcular la pérdida de carga mayor únicamente se excluye el tipo de fluido de trabajo y se incluye el valor de la aceleración de gravedad como se muestra a continuación en la ecuación 34, donde se especifica que la longitud de la tubería del equipo es de 1.9 m como se ve en la figura 71.

Figura 73. Longitud tubería sistema de separación en mm.



Fuente: elaboración propia

Ecuación 34. Pérdida de carga mayor.

$$h = \frac{f * L * (\bar{V})^2}{2 * g * Dhid}$$

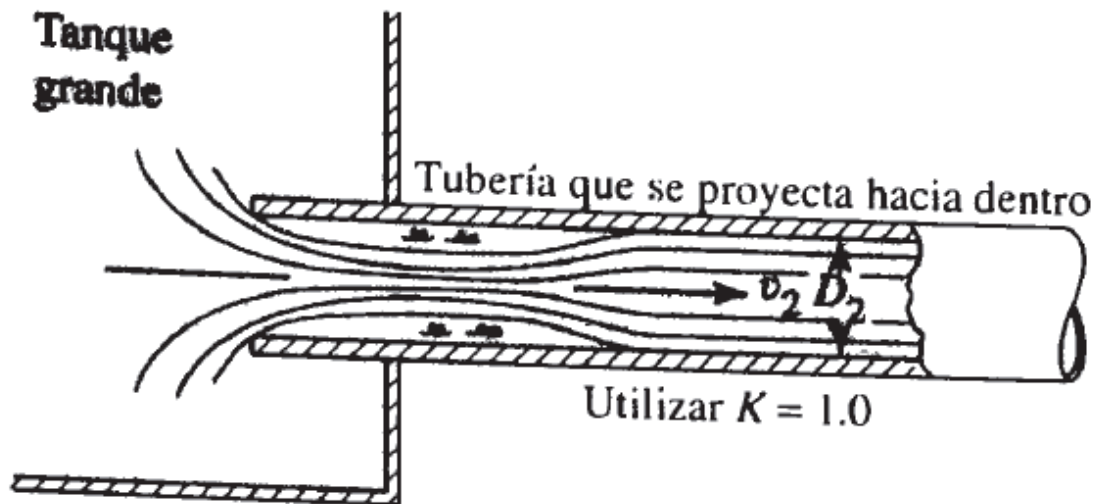
Obteniendo

$$h = \frac{0.03657 * 1.9 \text{ m} * \left(1.3862 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0166 \text{ m}} = 0.3881 \text{ m}$$

4.6.7 Cálculo de pérdidas. Seguido de calcular la pérdida de carga mayor se procede a calcular las pérdidas de carga menores que se presentaran en el sistema de separación.

4.6.7.1 Cálculo de pérdidas a la entrada. Para calcular las pérdidas, es necesario definir el tipo de conexión entre la tubería y el tanque a la entrada y salida se utilizará una tubería en bordes afilados hacia adentro como muestra la figura 85 tomada del libro de mecánica de fluidos de Robert Mott.

Figura 74. Tubería de bordes afilados hacia adentro.



Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Utilizando la ecuación 35 se calculara la pérdida carga a la entrada y salida de la tubería, teniendo en cuenta que el coeficiente de pérdida según el libro de mecánica de fluidos de Robert Mott es de para tanto la salida como la entrada según la selección se tuvo para el diseño del sistema de separación. Se hace esta aclaración dado que para el momento de calcular las pérdidas de carga totales se procederá a multiplicar por dos el coeficiente de pérdidas de carga a la entrada y a la salida.

Ecuación 35. Pérdida de carga entrada y salida.

$$Pérdida Menor = Coef Pérdida * \left(\frac{(\bar{V})^2}{2 * g} \right)$$

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

$$Perdida\ Menor = 1 * \left(\frac{\left(1.3862 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$Perdida\ Menor = 0.09793\ m$$

4.6.8 Cálculos de pérdidas por accesorios. Teniendo en cuenta que el único accesorio en el sistema de tubería es un codo de 90° de desviación se utilizara la tabla 59 para determinar la longitud equivalente en diámetros de la tubería (Le/D).

Tabla 61. pérdida de carga por accesorios.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
—¾ abierta	35
—½ abierta	160
—¼ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Fuente: Crane Valves, Signal Hill, CA.

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Posteriormente se calculará el coeficiente de fricción según la ecuación 36.

Ecuación 36. coeficiente de fricción.

$$K = \left(\frac{Le}{D}\right) * fT$$

Fuente: MOTT Robert, Mecánica de fluidos [en línea]Libro, ESPAÑA: [Consultado 3, marzo, 2020], disponible en <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

Donde

fT es el factor de fricción del sistema (0.03657)

Obteniendo así

$$K = 30 * 0.03657 = 1.0971$$

$$Perdida\ accesorio = 1.0971 * \left(\frac{\left(1.3862 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$Perdida\ accesorio = 0.0949\ m$$

4.6.8.1 Perdidas por rejilla de entrada. Para el cálculo de las pérdidas por dispositivo filtrante se utilizara la RAS 2000 donde especifica el cálculo del factor de pérdidas de carga menor por dispositivos filtrantes según su geometría y tipo de malla como se ve en la ecuación 37.

Ecuación 37. Coeficiente perdida de carga filtro.

$$k_m = \beta \left(\frac{S}{b}\right)^{1.33}$$

Donde;








β = Factor de forma, adimensional

S = Espesor de las barras, ($1 \times 10^{-3} m$) Dato tomado de empresas especializadas en diseños de mallas para filtros lcomallas.

b = Separación entre barras, (0,002 m) Dato tomado de empresas especializadas en diseños de mallas para filtros Icomallas.

El factor de forma β debe obtenerse de la tabla B. 4.5 de la RAS 2.000 como se muestra a continuación y en conjunto con la figura 73 su valor dependiendo de la geometría seleccionada para el filtro, la cual es la forma A.

Figura 75. Factor de forma para mallas RAS 2000.

Forma β	A	B	C	D	E	F	G
	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,76
							

Fuente: DIAZ TANGARIFE, Manuel David. diseño de un sistema de bombeo para acueducto de malambo, atlántico. [en línea]. Tesis de grado Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.: 2018. [Consultado 28, noviembre,2018]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6909/1/4132715-2018-2-IM.pdf>

El S y el b de la malla tendrá un valor de 1 mm y de 2 mm respectivamente como lo muestra la información de la figura 74 la cual según la empresa incolmallas cumple con los requisitos para el filtrado de partículas no superiores a 3 mm.

Figura 76. Malla Mesh 8 Incolmallas.



Fuente: incolmallas, Malla tejida en acero inoxidable AISI 304. [en línea]. Bogotá [Consultado: 10 de octubre 2020]. Disponible en línea: <http://www.icomallas.com/productos/mallas-tejidas>

Una vez ya obtenidos los datos se procede a calcular el coeficiente de pérdida de carga para filtro.

$$.k_m = 2.42 \left(\frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.002 \text{ m}} \right)^{1.33}$$

$$k_m = 0.9625$$

Ya calculado el factor de fricción del filtro para la bomba se procede a calcular la pérdida de carga generada por el filtro.

$$\text{Pérdida por filtro} = 0.9625 * \left(\frac{\left(1.3862 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)$$

$$\text{Pérdida por filtro} = 0.0979 \text{ m}$$

Finalmente, las pérdidas totales por fricción se definen de la siguiente manera:

$$h_{tot} = 2 * h_{entrada} + h_{codo} + h_{mayor} + h_{filtro}$$

$$h_{tot} = 2 * 0.09793 \text{ m} + 0.1017 \text{ m} + 0.3861 \text{ m} + 0.09427 \text{ m} = 0.77 \text{ m}$$

4.6.9 Cálculo de la diferencia de alturas para impulsar el fluido. Para calcular la diferencia de alturas desde donde se impulsara el fluido hasta la descarga final, debido a que solo se tiene principalmente el ramal de descarga como lo muestra la siguiente figura 71.

Únicamente se restará de la longitud total de la tubería en descarga, el valor de la tubería en horizontal después del Codo 1 de 90° así:

$$Z_2 - Z_1 = L_{tot} - L_{tubo90^\circ}$$

$$Z_2 - Z_1 = 1.9 \text{ m} - 0.047 \text{ m} = 1.85 \text{ m}$$

4.6.10 Cálculo de la cabeza de la bomba. El cálculo de la cabeza de succión se calcula por medio de la ecuación 38 la cual es la ecuación general de la energía.

Obteniendo así:

Ecuación 38. Ecuación general de la energía.

$$H = h + (Z2 - Z1)$$

$$H = 0.776 \text{ m} + 1.9 \text{ m} = 2.6263 \text{ m}$$

4.6.11 Cálculo de la potencia de la bomba. Según Mott, para calcular la potencia requerida para impulsar el fluido se utiliza la ecuación 39.

Ecuación 39. Potencia requerida de la bomba.

$$P(w) = H * \rho * g * Q$$

Donde:

H es la pérdida total de presión (m)

ρ es la densidad del fluido de trabajo (kg/m^3)

g es la aceleración proveniente de la gravedad (kg/m^3)

Q el caudal requerido para el sistema (m^3/s)

Obteniendo así

$$P(w) = 2.6263 \text{ m} * 998.2067 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.0003 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P(w) = 7.71 \text{ watts}$$

4.6.12 Selección de la bomba. Por proceso de selección se decide subir la potencia de la bomba a un perfil más comercial el cual cumpla con el caudal requerido de $0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$.

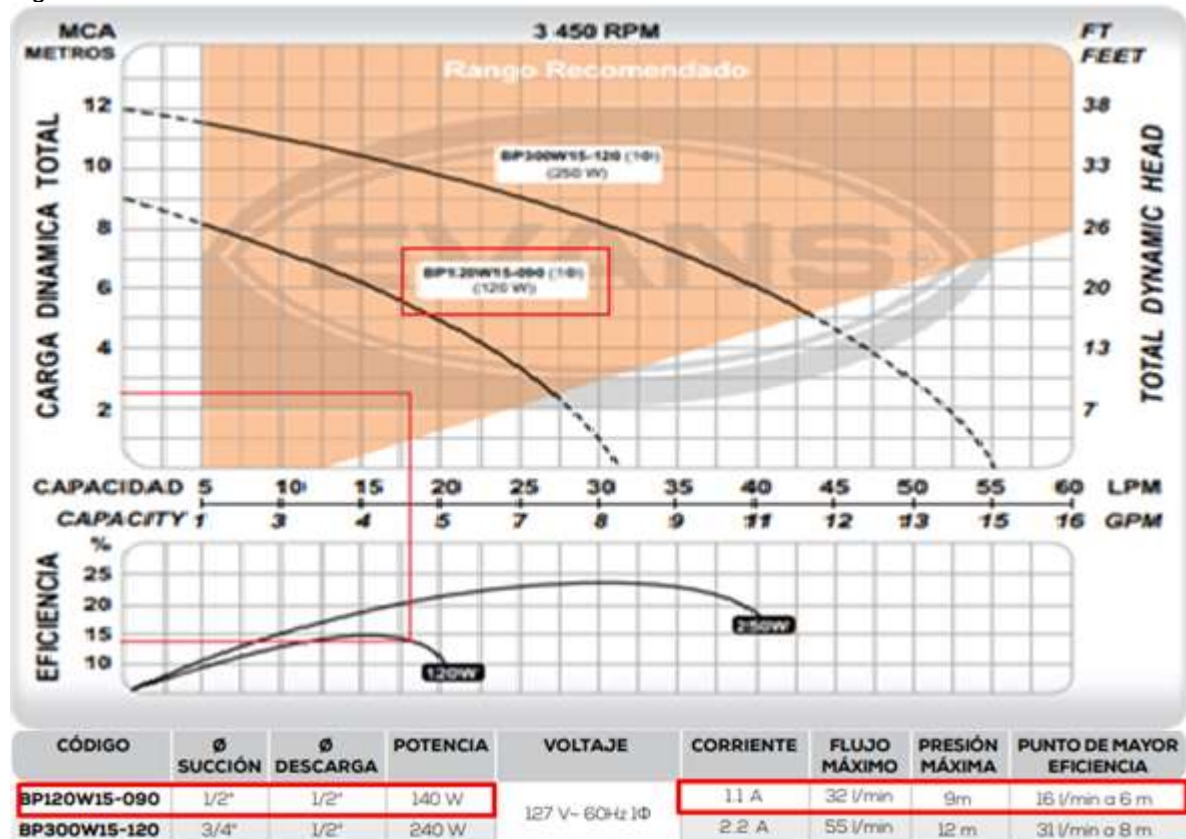
Utilizamos el catálogo de productos de la empresa EVANS con una bomba de superficie BP120W15 que cumple con el requerimiento del caudal la cual tiene como características las mostradas en la tabla 60 y una eficiencia entre 13% y 14%. Aclarando que según fabricante la eficiencia máxima alcanzada por la bomba es de 15% como lo muestra la figura 75.

Tabla 62. Características de la bomba.

Potencia de la bomba (w)	140
Potencia de la bomba (HP)	0.187
Caudal requerido (m3/s)	0.0003
Caudal requerido (L/min)	18
Cabeza de pérdidas H (mca)	2.6263

Fuente: elaboración propia

Figura 77. Curva de eficiencia de la bomba seleccionada con 120w.



Fuente: Evans, Bombas de superficie. [en línea]. Bogotá [Consultado: 10 de octubre 2020].

Disponible en línea: <https://evans.com.mx/mkt/catalogo/flipbooks/bombeo/download/bombas-superficie2018.pdf>

4.6.13 Válvula para cono de separación. Para el cono de captación es necesario adicionar una válvula que permita retener el fluido y las partículas de aluminio, mientras el proceso de separación se lleva a cabo, y posterior, que permita circular el agua con las partículas de aluminio sin que llegue a presentar adherencia de las

partículas de aluminio a la válvula. Bajo estas condiciones se selecciona la válvula de mariposa Wafer PN10/16 de diámetro de 2" la cual se muestra en la figura 76.

Figura 78. Válvula mariposa cono de separación.



Fuente:(SAIDI). [Sitio web]. [Consultado: 2 de agosto 2020]. Disponible en: <https://www.saidi.es/nuestros-productos/productos-valvulas/>

Figura 79. Características válvula de mariposa wafer PN10/16.

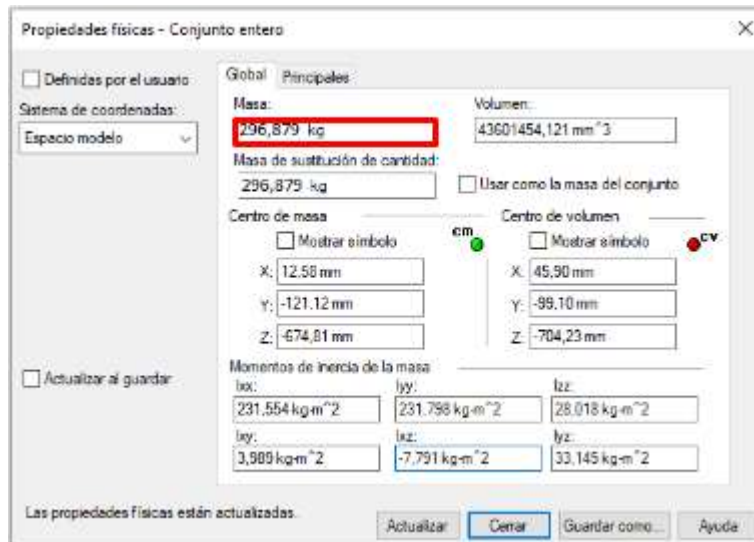
Dimensiones y Pesos																					
DN		DIMENSIONES DEL CUERPO					BRIDA DE ACOPLAMIENTO					SALIDA DEL EJE					COTA "Q"	PESO (kg.)			
mm.	Pulg.	A	B	Ø C	D	E	ISO 5211/2	Nº	Ø J	Ø K	Ø L	Ø M²	Ø N²	O	Ø R	T	U	V			
50	2"	140	83	102	12	43	F07	4	9	70	90	55	3	26	13.2	11				32	3.3
65	2.1/2"	152	93	122	12	46	F07	4	9	70	90	55	3	26	13.2	11				51	4.0
80	3"	159	98	139	12	46	F07	4	9	70	90	55	3	26	13.2	11				69	4.3
100	4"	178	111	159	14	52	F07	4	9	70	90	55	3	30	16.8	14				89	5.7
125	5"	191	127	189	14	56	F07	4	9	70	90	55	3	30	16.8	14				115	7.4
150	6"	203	143	214	15	56	F07	4	9	70	90	55	3	33	20.4	17				143	8.9
200	8"	245	172	269	15	60	F07	4	9	70	90	55	3	33	20.4	17				194	13.5
250	10"	275	204	331	17	68	F10	4	11	102	125	70	3	47	28.0	22				243	22.8
300	12"	315	242	380	17	78	F10	4	11	102	125	70	3	47	28	22				293	31.7
350	14"	307	291	442	22	78	F12	4	13	125	150	85	3	55	36		10	4.7		332	43.2

Fuente:(SAIDI). [Sitio web]. [Consultado: 2 de agosto 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/xh17>

4.7 ESTRUCTURA

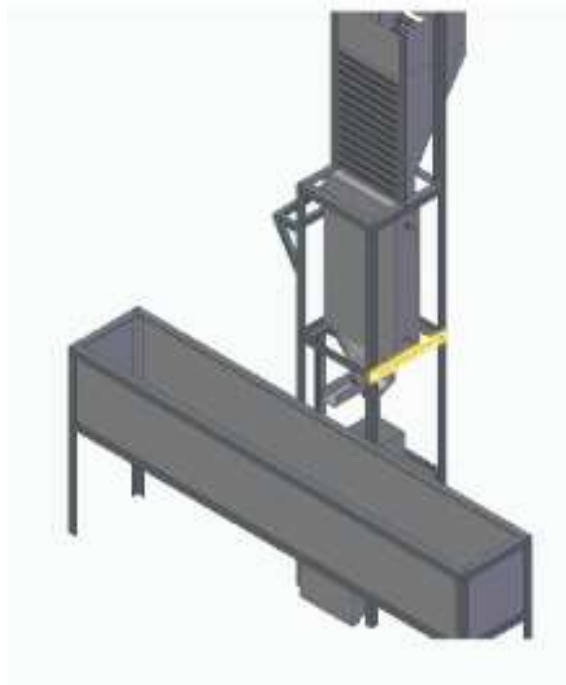
4.7.1 Cálculo de carga muerta. La carga muerta del equipo se verifico mediante la inspección de las propiedades del programa Solid Edge el cual es el programa donde se realizó el CAD del equipo y nos da un valor de peso real del mismo como se observa en la figura 92 la cual nos da un peso de 296.879 kg. Teniendo en cuenta que la carga del quipo se realizará en el punto más crítico para el cálculo de viga y de columna que sostendrá las partes más pesadas del equipo que son el sistema de alimentación y el sistema de trituración como se puede observar en la figura 78 en donde se observa la viga a calcular resaltada en color amarillo.

Figura 80. Carga muerta equipo.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 81. Viga que resiste el quipo.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Adicional a este peso se le agregara el peso del motor el cual tiene un peso de 57 kg como se observa la figura 27 del apartado 4.2.2 del diseño de trituración.

Con esto obtenemos un peso total de 353.879 el cual se dejará de 354 kg el cual será el peso al cual será sometida la viga que se seleccione después de hacer cálculos.

4.7.2 Cálculo De Viga. Teniendo en cuenta los criterios de la NRS 10 (Norma Sismo Resistente del 2010), para el cálculo de la carga mayorada, se tienen en cuenta los posibles tipos de carga que pueden estar presentes en la estructura, sin embargo, en este diseño solo se tienen en cuenta las cargas muertas y carga vivas.

La carga muerta que se tomara en cuenta es el peso de las de todos los componentes que contienen el sistema de alimentación y trituración de la máquina trituradora y separadora, como se calculó en el apartado anterior.

La carga viva que se considerara es el peso de 1 persona promedio colombiana que por alguna eventualidad deba subir a la estructura para efectos de mantenimiento siendo este peso de 70 kg. Este peso de 70 kg se tomó del ministerio de salud el cual determina que la altura promedio de un hombre colombiano es de 172 cm a la cual tiene un peso promedio de 70 kg.

La siguiente ecuación que cumple con las condiciones de carga previamente mencionadas.

Ecuación 40. Carga mayorada.

$$Pu = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

Fuente: REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE.NSR-10, decreto 926 del 19 de marzo del 2010, Bogotá D.C

Donde

D = Carga Muerta

L = Carga Viva

Lr = Carga viva en la cubierta

S = Carga de Nieve

R = Carga de Lluvia

En este caso la ecuación simplificada sería.

$$Pu = 1.2D + 1.6L$$

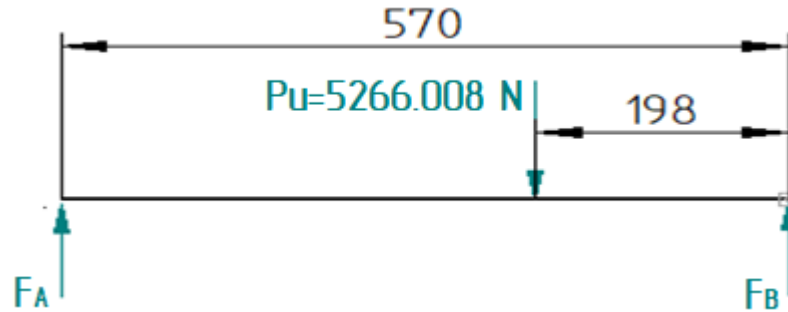
Para nuestro diseño, la carga Muerta (D) es de 335.8588 kg, la carga viva (L) de 70 kg.

$$Pu = 1,2(354 \text{ kg}) + 1,6(70 \text{ kg}) = 536.8 \text{ kg}$$

$$Pu = 536.8 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5266.008 \text{ N}$$

Esta carga mayorada se ubicara en el centroide de la viga, el cual se encontró mediante el CAD que fue desarrollado en el programa Solid Edge como se ve en la figura 80 en donde se observa el diagrama de cuerpo de la viga sometida a mayor esfuerzo.

Figura 82. Diagrama cuerpo libre.



Fuente: elaboración propia

4.7.3 Sumatoria de fuerzas y de momentos y diagramas.

Sumatoria de fuerzas en Y

Ecuación 41. Sumatoria de fuerzas.

$$FAy + FBy - Pu = 0$$

$$Ay + By = 5266.008 \text{ N}$$

Sumatoria de Momentos en A

Ecuación 42. Sumatoria de momentos en A Viga.

$$M_A^{Pu} + M_A^{FBy} = 0$$

$$-5266.008 \text{ N} \times 0.372 \text{ m} + By * 0.57 \text{ m} = 0$$

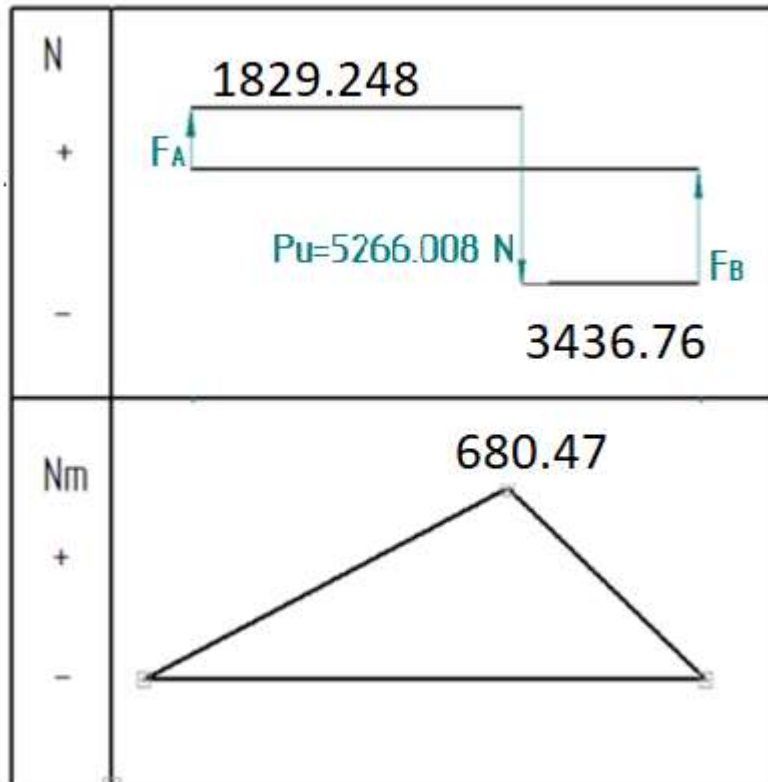
$$FBy = \frac{5266.008 \text{ N} \times 0.372 \text{ m}}{0.57 \text{ m}} = 3436.76 \text{ N}$$

$$FAy = -FBy + Pu$$

$$FAy = -3436.76 \text{ N} + 5266.008 \text{ N} = 1829.248 \text{ N}$$

4.7.3.1 Diagramas de fuerza cortante y momento flector. Una vez obtenidos los valores de las reacciones se procede a realizar los diagramas fuerza cortante y momento flector como se observa en la figura 81.

Figura 83. Diagramas de fuerza cortante y momento flector viga.



Fuente: elaboración propia

Procedemos a calcular el esfuerzo admisible para el diseño, teniendo en cuenta que en alguna etapa de operación de la maquina un operario podría posicionarse sobre la estructura de la máquina para realizar mantenimiento, tomaremos un valor de factor de seguridad de 3.5 y el valor del esfuerzo de fluencia del acero obtenemos.

Ecuación 43. Esfuerzo admisible viga.

$$\sigma = \frac{250 \text{ MPa}}{3.5} = 71.428571 \text{ Pa}$$

Determinando el momento flector máximo que se puede producir en la viga, utilizaremos la ecuación del módulo de sección para saber que perfil estructural cumple con las especificaciones, calculándolo de la siguiente manera.

Ecuación 44. Modulo de Sección.

$$Z = \frac{680.47 \text{ Nm}}{71428571 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,000009526 \text{ m}^3 = 0.581 \text{ in}^3$$

Con este valor del módulo de sección se prosigue a un manual de construcción en acero para seleccionar un perfil comercial que cumpla con las especificaciones en donde se selecciona el perfil que se detalla en la tabla 61.

Tabla 63. Perfil de estructura seleccionado.

Table 1-7 (continued)											
Angles											
Properties											
Shape	Axis Y-Y						Axis Z-Z				Q_x
	I	S	r	\bar{x}	Z	x_p	I	S	r	$\tan \alpha$	$F_y = 36$ ksi
	in. ⁴	in. ³	in.	in.	in. ³	in.	in. ⁴	in. ³	in.		
L2x2x3/8	0.476	0.348	0.591	0.632	0.629	0.343	0.203	0.227	0.386	1.00	1.00
x9/16	0.414	0.298	0.598	0.609	0.537	0.290	0.172	0.200	0.386	1.00	1.00
x1/4	0.346	0.244	0.605	0.586	0.440	0.236	0.142	0.171	0.387	1.00	1.00
x3/16	0.271	0.188	0.612	0.561	0.338	0.181	0.109	0.137	0.389	1.00	1.00
x1/8	0.189	0.129	0.620	0.534	0.230	0.123	0.0756	0.0994	0.391	1.00	0.912

Fuente: AISC manual de construcción de aceros, 2011, ISBN 1564240606. [consultado 23 julio 2020]. Disponible en <https://n9.cl/a71z>

Siendo así el perfil en L con designación L 2X2X3/8.

4.7.3.2 Resistencia de Diseño por factores LRFD. Para verificar la estabilidad del perfil utilizaremos los factores de resistencia según la siguiente ecuación.

$$Pu \leq Rd$$

Resistencia de diseño Rd

Para calcular la resistencia de diseño de este método utilizaremos la siguiente ecuación.

$$Rd = \phi * Ag * \sigma_y$$

Donde

Θ es el factor de resistencia (0,9 en este caso)

A_g es el área de sección transversal efectiva

Σ_y es el esfuerzo de fluencia del material

$$R_d = 0,9 * 0.0008838 \text{ m}^2 * 250000000 \frac{N}{\text{m}^2}$$

$$R_d = 198.855 \text{ kN}$$

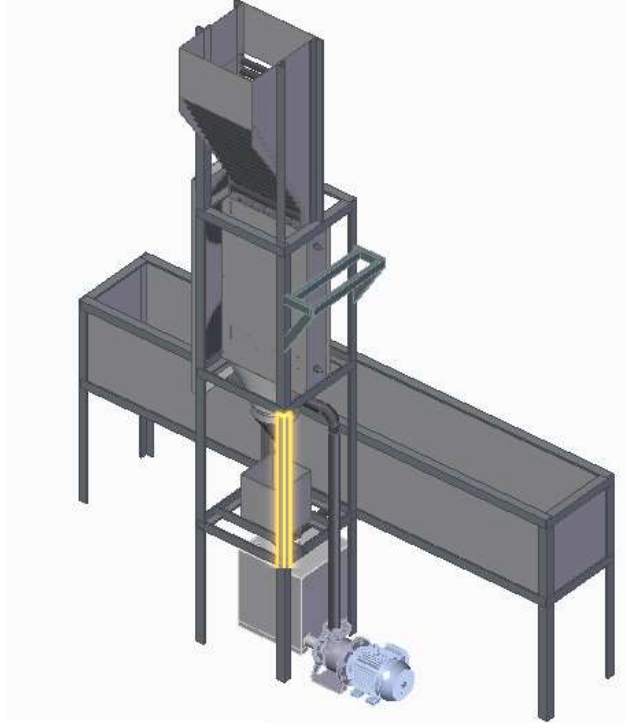
Siendo así la resistencia por LRFD de

$$5266.008 \text{ N} \leq 198855 \text{ N}$$

Cumpliendo con el criterio y verificando la estabilidad de la viga a resistir la carga.

4.7.4 Cálculo de columna. Seguido a esto se diseñarán los perfiles verticales de la estructura de soporte como lo muestra la siguiente figura 82.

Figura 84. Columna.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Con estas condiciones, entraremos a la tabla de longitudes efectivas respecto a sus apoyos como se muestra a continuación, utilizando un valor de K (longitud efectiva) de 1 teniendo en cuenta que esos puntos al ser soldados se tomarían como un pasador liso. Como se ve en a la tabla 62.

Tabla 64. Condiciones de borde.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Buckled shape of column is shown by dashed line						
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
End condition code			Rotation fixed and translation fixed	Rotation free and translation fixed	Rotation fixed and translation free	Rotation free and translation free

Fuente: AISC manual de construcción de aceros, 2011, ISBN 1564240606. [consultado 23 julio 2020]. Disponible en <https://n9.cl/a71z>

Para el cálculo de columnas se definen las propiedades de la tabla 62 teniendo en cuenta las condiciones de borde a las que estará sometida la columna.

Tabla 65. Propiedades de columna.

Diseño de Columnas			
Propiedades de la sección			
Designación del Perfil	HSS 2x2x3/8"		
Espesor de pared	t	0.375	in
Área	A_g	1.370	in ²
Relación b/t	b/t	5.333	
Relación h/t	h/t	5.333	
Altura de sección	b	2.000	in
Ancho de sección	h	2.000	in
Radio de giro menor	r	3.280	in
Altura de la columna		2.71	ft
Altura de la columna en pies	L	32.520	in
Factor de longitud efectiva	k	2.000	

Fuente: elaboración propia

Estas propiedades se sacaron de la tabla 63 y con ellas se puede proseguir a calcular la relación de esbeltez, la cual esta designada en la ecuación 45.

Ecuación 45. Relación de esbeltez.

$$K * \frac{L}{r} < 200$$

En donde

L = igual a la longitud

K = factor de longitud efectiva

r = Radio de giro

al momento de reemplazar la ecuación, obtenemos que.

$$9.915 < 200$$

Verificando así que la Columba cumple por relación de esbeltez.

Seguido de esto se puede verificar el rango en que se encuentra el material, esto se puede evidenciar mediante la ecuación 46, la cual requiere de los valores de Fy que es igual a 46 ksi y el E el cual tiene un valor de 29000 ksi.

Ecuación 46. Relación de material.

$$Rm = 4,71 * \sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$Rm = 4,71 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}} = 133.681$$

Dado que la relación de esbeltez se encuentra por debajo de la relación del material se puede definir que la columna se encuentra en rango plástico.

Seguido de esto se procede a hacer el cálculo de los esfuerzos de Euler en la ecuación 47 y esfuerzo critico en la ecuación 48, con los cuales se podrá calcular la resistencia nominal.

Ecuación 47. Esfuerzo de Euler.

$$F_e = \frac{(\pi^2 * E)}{Rel Esb^2}$$

$$F_e = \frac{(\pi^2 * 29000 \text{ ksi})}{9.915^2} = 2911.685 \text{ ksi}$$

Con este valor del esfuerzo de Euler procedemos a hacer el cálculo del esfuerzo crítico.

Ecuación 48. Esfuerzo critico.

$$F_c = 0,658 \left(\frac{F_y}{F_e} \right) * F_y$$

$$F_c = 0,658 \left(\frac{36 \text{ ksi}}{2911.685 \text{ ksi}} \right) * 36 \text{ ksi} = 35.814 \text{ ksi}$$

Con el esfuerzo crítico se procede a determinar la resistencia nominal.

Ecuación 49. Resistencia nominal.

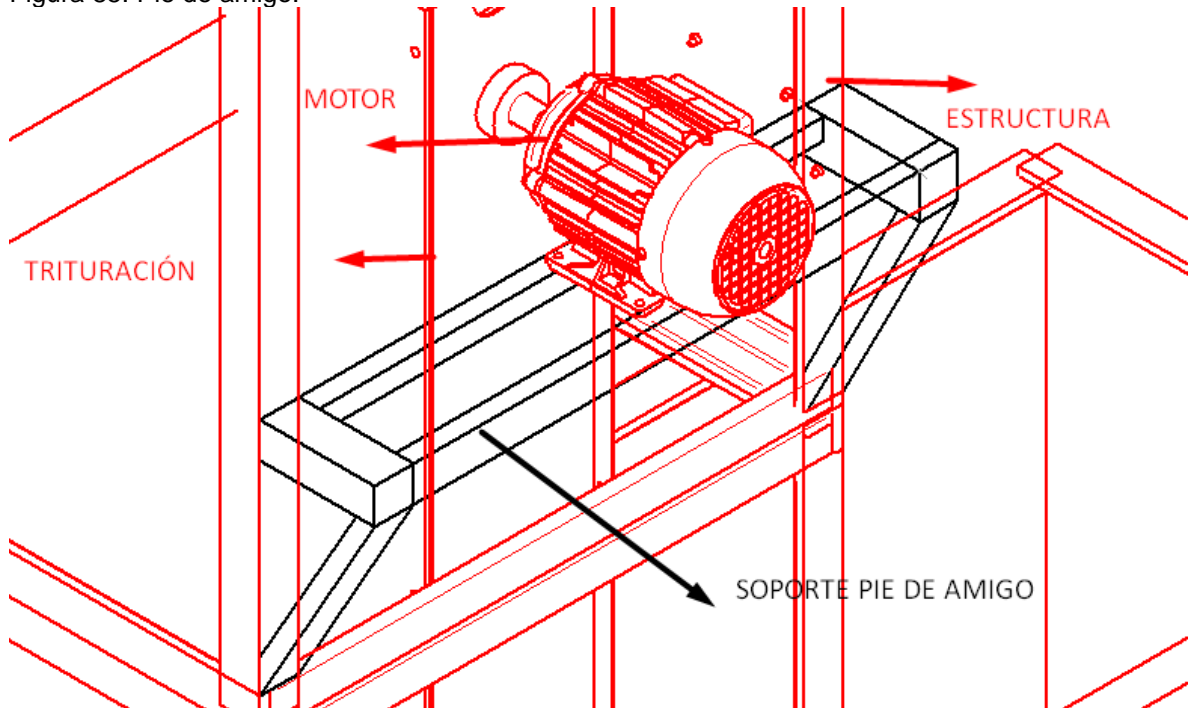
$$P_n = F_c * A_g$$

$$P_n = 35.814 \text{ ksi} * 1.370 \text{ in}^2 = 49.065 \text{ kips} \left(\frac{\text{Lb}}{\text{in}} \right)$$

4.7.5 Calculo pie de amigo. Debido a que el motor que alimenta eléctricamente el sistema de trituración se encuentra a 2,46 metros de la base de la estructura de la

máquina, se utilizara un anclaje por medio de un soporte pie de amigo anclado a la estructura según lo muestra la figura 83.

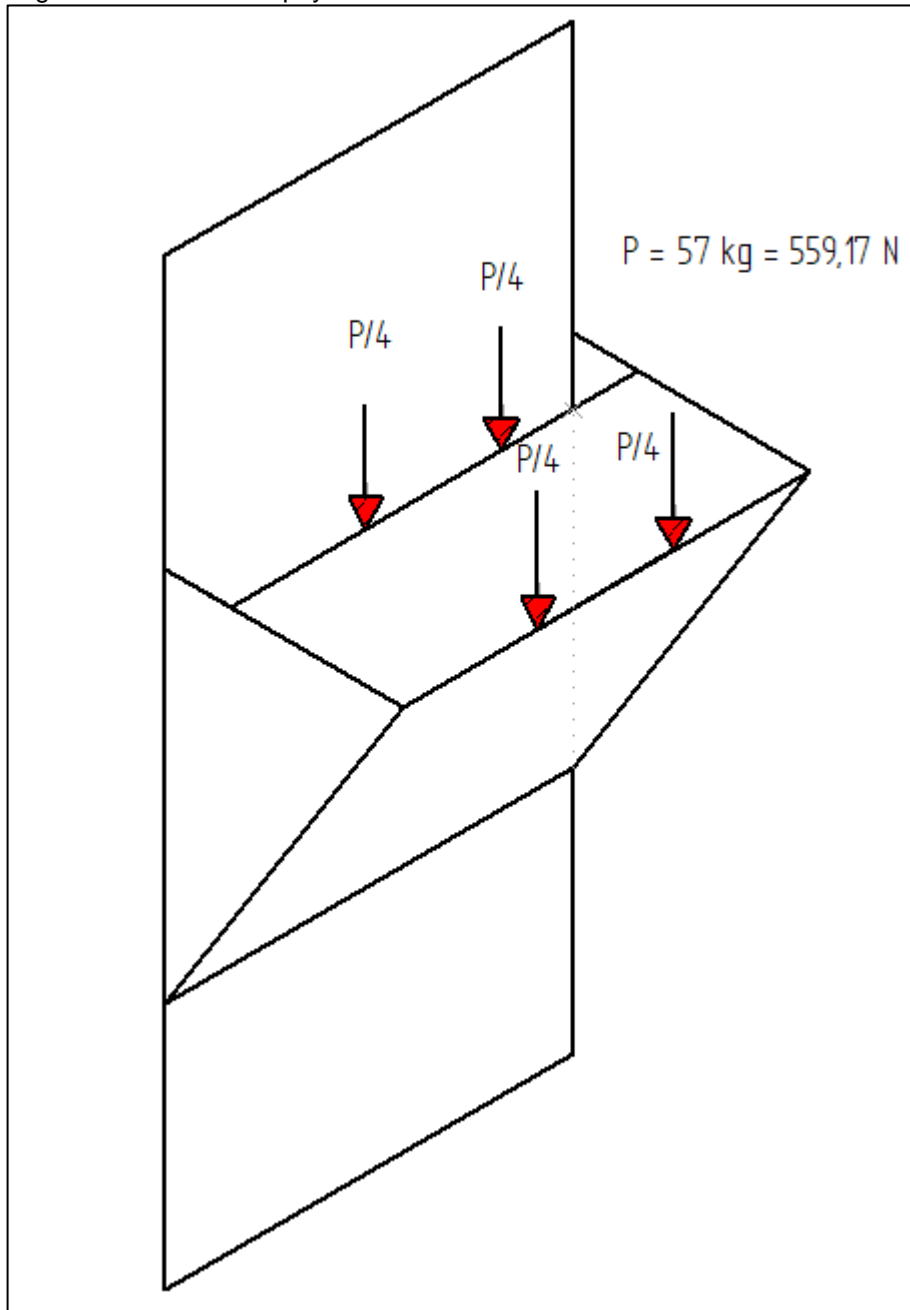
Figura 85. Pie de amigo.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Teniendo en cuenta que el motor tendrá un peso de 57 Kilos netos distribuidos que se designaran como "P" en 4 puntos de anclaje como se muestra la siguiente figura 84.

Figura 86. Puntos de apoyo.

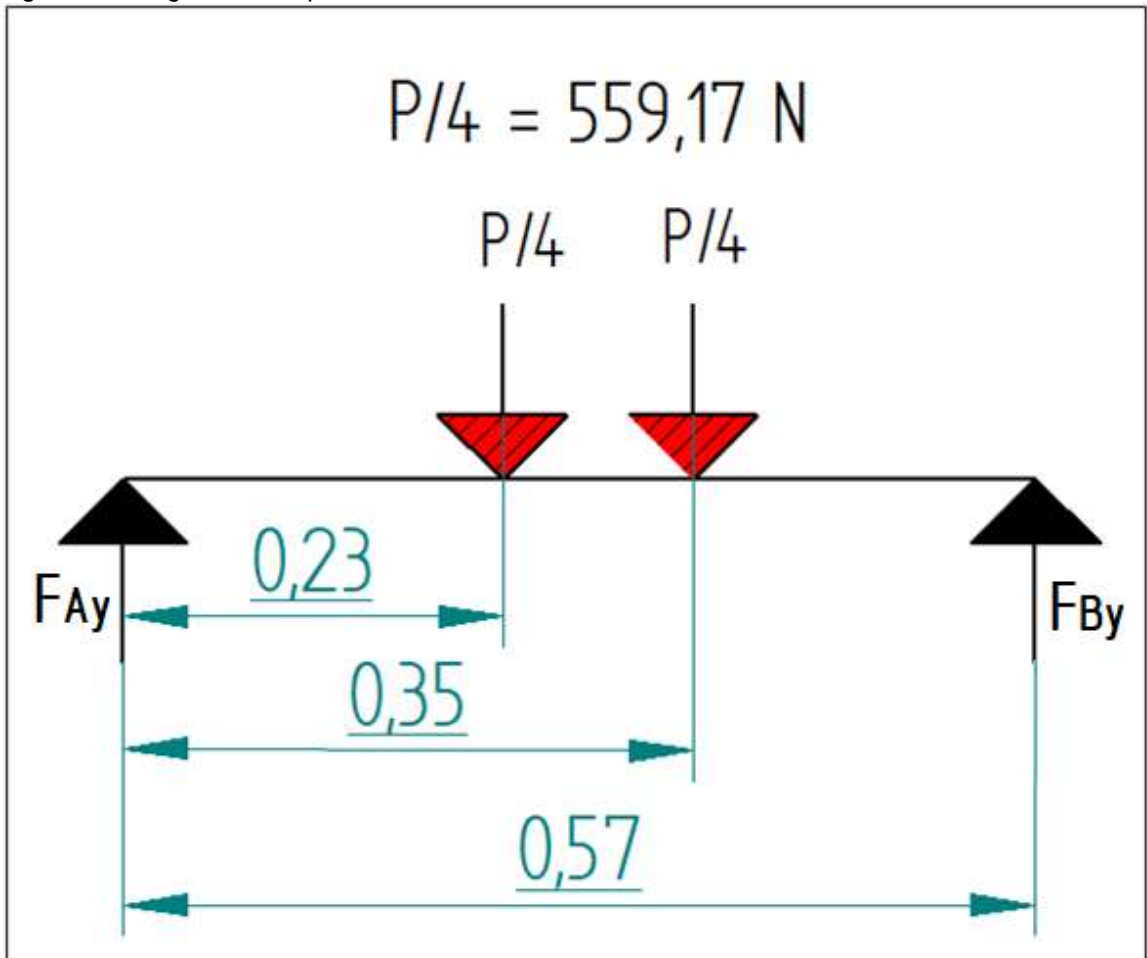


Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

4.7.5.1 Diseño de Vigas # 1. Las vigas # 1 son las que soportan directamente la distribución de carga del motorreductor, teniendo en cuenta que se distribuirá en los cuatro puntos de anclajes mostrados en la figura 84 representado en carga por la fuerza $P/4$.

Se procedió a realizar el diseño a partir de estas vigas siguiendo el siguiente diagrama de la figura 85.

Figura 87. Diagrama Cuerpo libre.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Seguido a esto se calcula el valor de las reacciones en los apoyos, iniciando por realizar estática del cuerpo sólido rígido AB.

$$F_{Ay} - \frac{P}{4} - \frac{P}{4} + F_{By} = 0$$

$$F_{Ay} - \frac{P}{2} + F_{By} = 0$$

$$F_{Ay} + F_{By} = \frac{P}{2}$$

$$FAy + FBy = \frac{559.17N}{2}$$

$$FAy + FBy = 279.58N$$

Ahora debido a que existen 2 incógnitas con una sola ecuación, procedemos a realizar el equilibrio de momentos en A, así.

$$\sum Ma = 0$$

$$\sum Ma^{PU/4} + \sum Ma^{PU/4} + \sum Ma^{FBy} = 0$$

$$-139.79 N \times 0,22611m - 139.79N \times 0,34611 m + By \times 0,57222 m = 0$$

$$FBy = \frac{139.79 N \times 0,22611m + 139.79N \times 0,34611 m}{0,57222 m}$$

$$FBy = 139.79 N$$

Conociendo la variable FBy podemos despejar de la ecuación inicial de la estática del cuerpo sólido rígido AB la variable faltante.

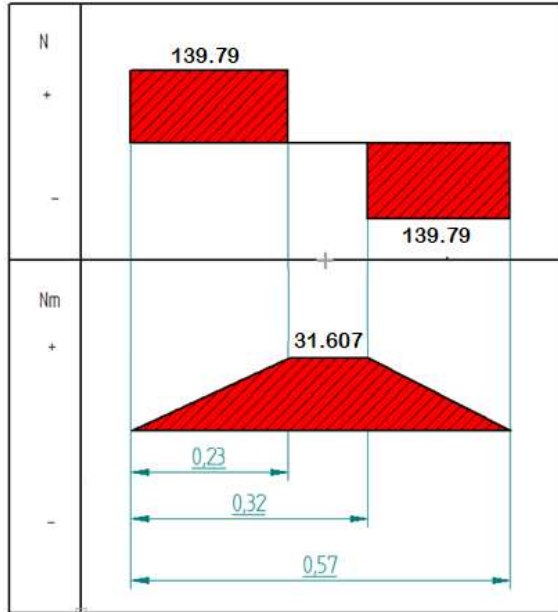
$$FAy = 279.58 N - FBy$$

$$FAy = 279.58 N - 139.79 N$$

$$FAy = 139.79 N$$

Finalmente conociendo todas las incógnitas requeridas, se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga 1 como se ve en la figura 86.

Figura 88. Diagrama fuerza cortante y momento flector.



Fuente: elaboración propia

Análogamente con respecto a la estructura mayor de la maquina se calculó el esfuerzo admisible para el diseño, tomaremos un valor de factor de seguridad de 7 y el valor del esfuerzo de fluencia del acero obtenemos.

$$\sigma = \frac{250 \text{ MPa}}{7} = 35,7 \text{ MPa}$$

Determinando el momento flector máximo que se puede producir en los perfiles #1 de la viga, utilizaremos la ecuación del módulo de sección para saber qué perfil estructural cumple con las especificaciones, calculándolo de la siguiente manera:

$$Z = \frac{31.607 \text{ Nm}}{35714285,71 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,000000884 \text{ m}^3 = 0,054 \text{ in}^3$$

Con este módulo de sección, utilizando el manual de construcción en acero AISC, seleccionamos el perfil que cumple con los parámetros de diseño como se muestra a continuación en la tabla 64.

Tabla 66. Perfil estructural pie de amigo.

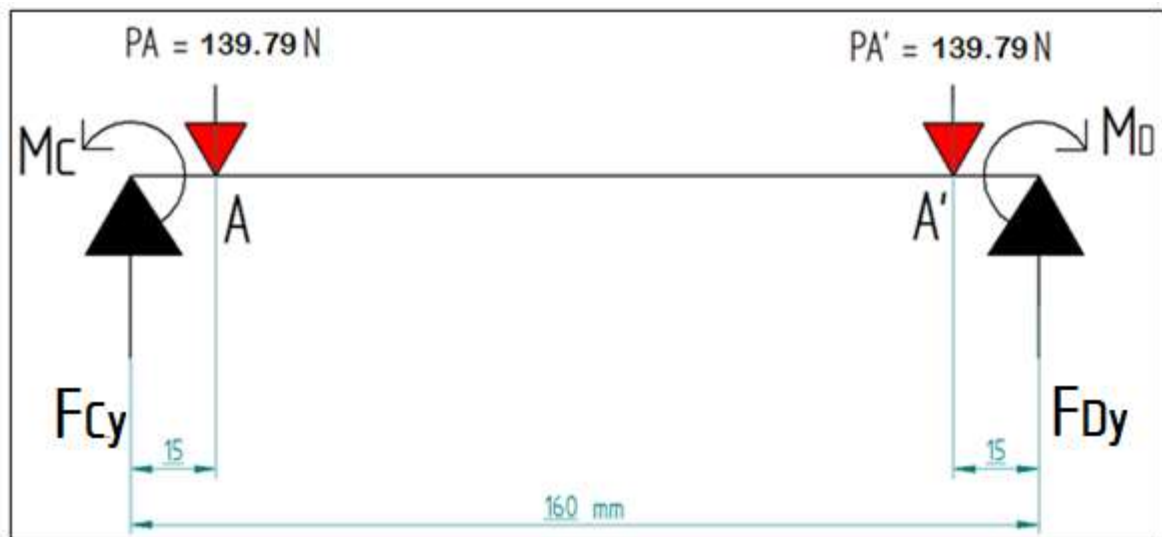
Table 1-11 (continued) Rectangular HSS Dimensions and Properties									
Shape	Axis Y-Y				Workable Flat		Torsion		Surface Area ft ² /ft
	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	Depth	Width	<i>J</i>	<i>C</i>	
	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in.	in.	in. ⁴	in. ³	
HSS2×1× ³ / ₁₆	0.112	0.225	0.365	0.288	—	—	0.301	0.505	0.450
× ¹ / ₈	0.0922	0.184	0.390	0.223	—	—	0.238	0.380	0.467

Fuente: AISC manual de construcción de aceros, 2011, ISBN 1564240606. [consultado 23 julio 2020]. Disponible en <https://n9.cl/a71z>

Se seleccionó un perfil rectangular debido a los anclajes que deben realizarse para el motorreductor.

4.7.5.2 Diseño de vigas # 2. Se procedió a diseñar los perfiles viga laterales del pie de amigo, estos perfiles estarán comprendido por 2 unidades al igual que las vigas #1. Las cargas a las que estarán sometidas las vigas #2 serán las entregadas por los apoyos de las vigas #1 con los apoyos empotrados hacia la estructura y el apoyo de las vigas #3, tal como se mostrara en el diagrama de la figura 87.

Figura 89. diagrama cuerpo libre.



Fuente: elaboración Propia

El procedimiento es análogo al diseño de la viga #1, calculando el valor de las reacciones en los apoyos C y D.

$$FCy - PA - PA' + FDy = 0$$

$$FCy - 139.79 N - 139.79 N + FDy = 0$$

$$FCy + FDy = 279.58 N$$

Ahora debido a que existen 2 incógnitas con una sola ecuación, procedemos a realizar el equilibrio de momentos en Cy, así:

$$\sum M_{cy} = 0$$

$$\sum M_{Cy}^{PA} + \sum M_{Cy}^{PA'} + \sum M_{Cy}^{FDy} = 0$$

$$-139.79 N \times 0,015m - 139.79 N \times 0,145 m + By \times 0,16 m = 0$$

$$FDy = \frac{139.79 N \times 0,015m + 139.79 N \times 0,145 m}{0,16 m}$$

$$FDy = 139.79 N$$

Conociendo la variable By podemos despejar de la ecuación inicial de la estática del cuerpo sólido rígido AB la variable faltante.

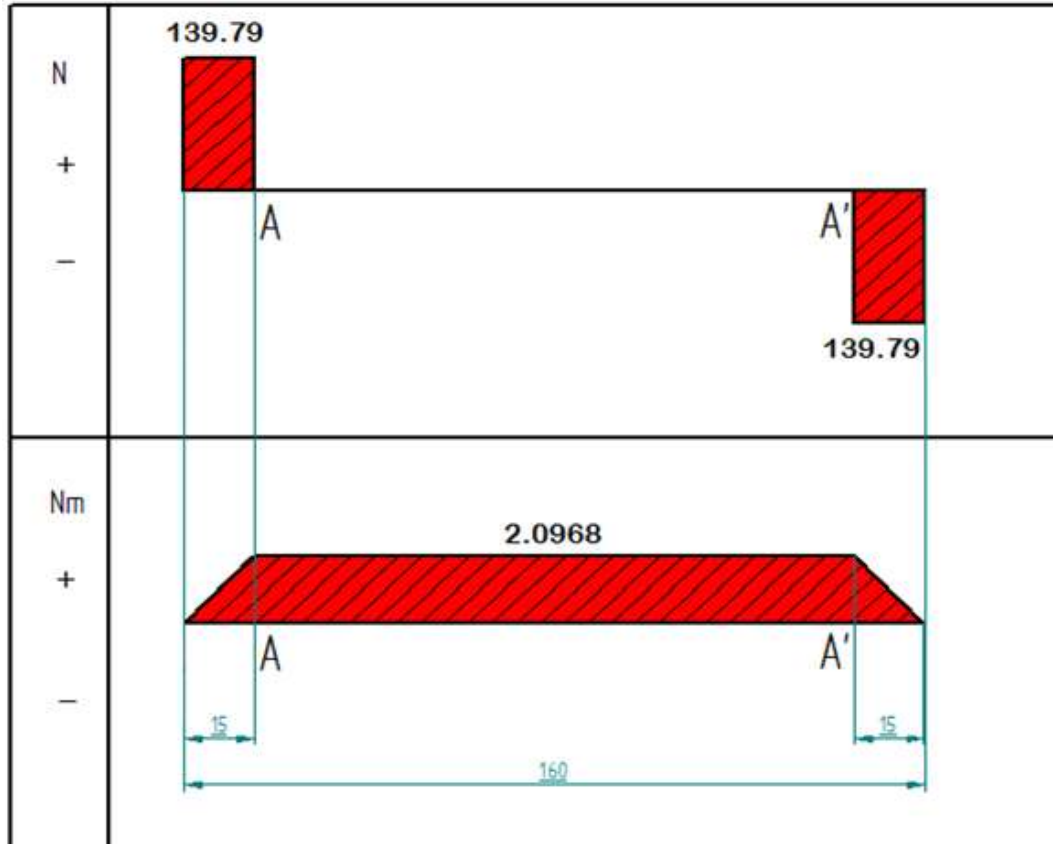
$$FCy = 239.79 N - FDy$$

$$FCy = 239.79 N - 139.79 N$$

$$FCy = 139.79 N$$

Finalmente conociendo todas las incógnitas requeridas, se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga observada en la figura 88.

Figura 90. diagrama fuerza cortante y momento flector.



Fuente: elaboración Propia

Análogamente con respecto a la estructura mayor de la maquina se calculó el esfuerzo admisible para el diseño, tomaremos un valor de factor de seguridad de 10 y el valor del esfuerzo de fluencia del acero obtenemos:

$$\sigma = \frac{250 \text{ MPa}}{10} = 25 \text{ MPa}$$

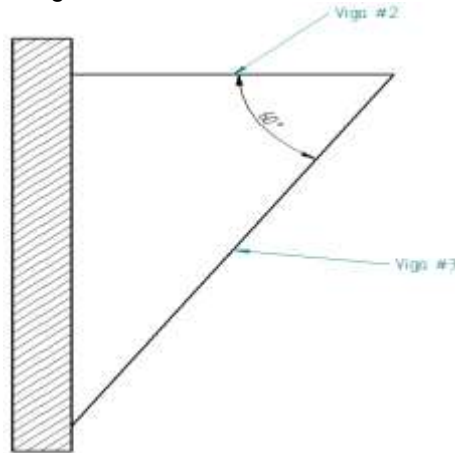
Determinando el momento flector máximo que se puede producir en los perfiles #1 de la viga, utilizaremos la ecuación del módulo de sección para saber qué perfil estructural cumple con las especificaciones, calculándolo de la siguiente manera:

$$Z = \frac{8,38755 \text{ Nm}}{25000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,0000000335 \text{ m}^3 = 0,00505 \text{ in}^3$$

Teniendo en cuenta que el módulo de sección calculado para esta viga #2 es bastante pequeño se utilizara el mismo perfil utilizado en la viga #1 que tiene un módulo de sección 10,6 veces más grande, asegurando así la resistencia de esta.

4.7.5.3 Diseño de vigas #3. Una vez conocidas todas las reacciones sobre las vigas horizontales 1 y 2 se procedió a realizar el diseño del Angulo de soporte para las cargas y que no fuese un sistema de vigas en voladizo sobre la estructura tal como se muestra en el siguiente diagrama de la figura 89.

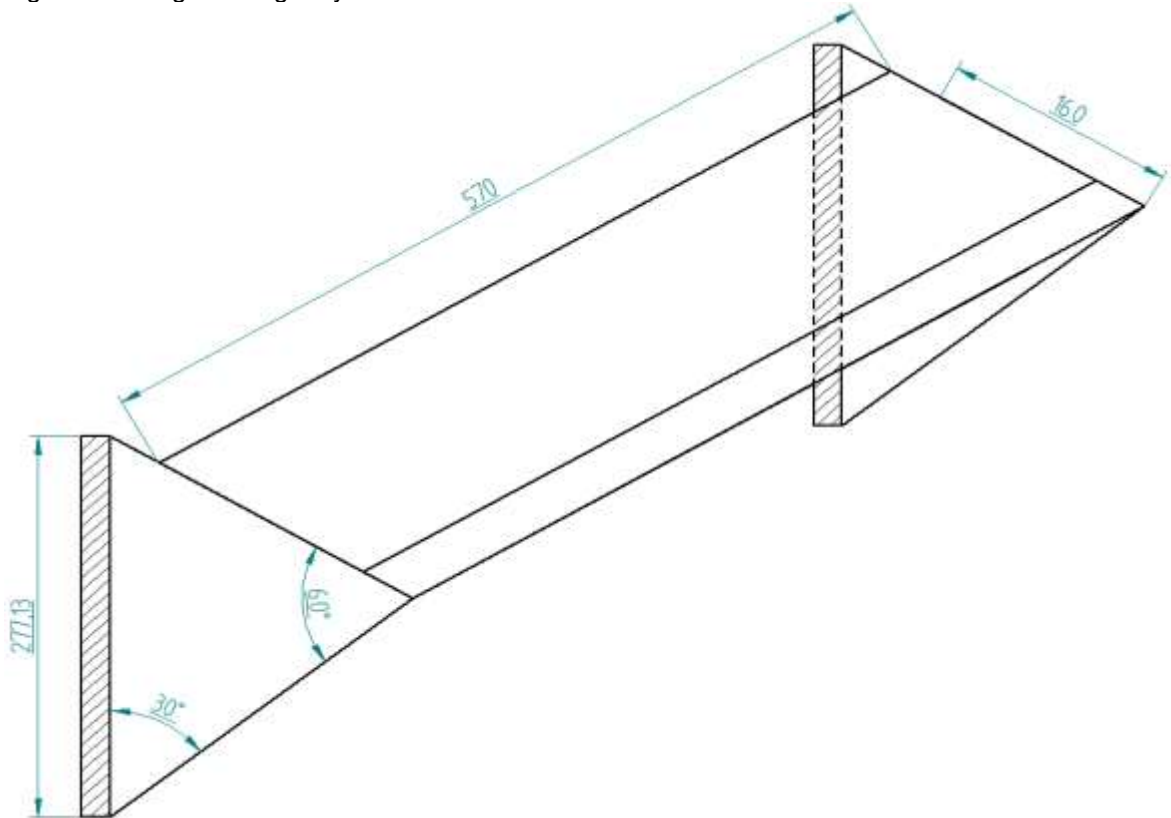
Figura 91. Sistema de vigas pie de amigo.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Teniendo en cuenta que se trabajara con una rotación de 60° entre la viga #2 y la viga #3 tal como lo muestra el siguiente diagrama de la figura 90.

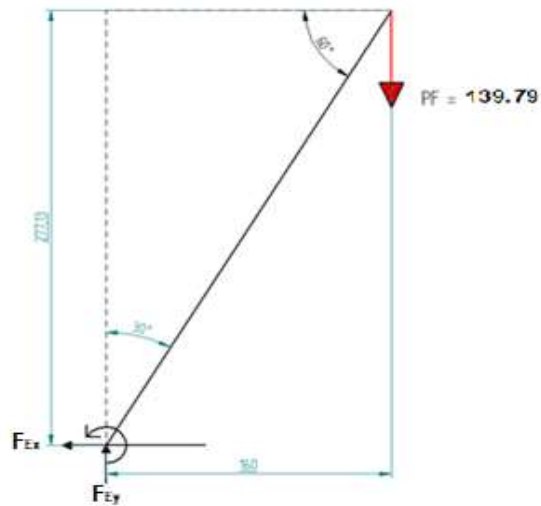
Figura 92. Diagrama viga 2 y 3.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Basado en los diagramas 89 y 90 previos se utilizará el siguiente diagrama de la figura 91 de la viga #3 para diseñar la viga #3.

Figura 93. Diagrama viga 3.



Fuente: elaboración propia

Como se entiende se calcularán las reacciones de la carga PF sobre la viga #3.

Figura 94. Diagrama de cuerpo libre.



Fuente: elaboración propia

Se calculará las reacciones en el apoyo de la viga #3 iniciando por la sumatoria de fuerzas del cuerpo solido rígido EP.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ -FE_x - PF_x &= 0 \\ -FE_x - 120.524 \text{ N} &= 0 \\ FE_x &= -120.524 \text{ N}\end{aligned}$$

El valor negativo de la reacción Ex significa únicamente que la reacción va en sentido contrario al mostrado en el diagrama de la figura 92.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -PF_y + FE_y &= 0 \\ -69.58 \text{ N} + FE_y &= 0 \\ FE_y &= 69.58 \text{ N}\end{aligned}$$

Finalmente dado que en el punto E se anclará por medio de un empotramiento, es decir, restricción de desplazamiento tanto en X como en Y, pero adicional tendrá una restricción de giro en Z, se utilizara la sumatoria de momentos en la viga para hallar la reacción ME.

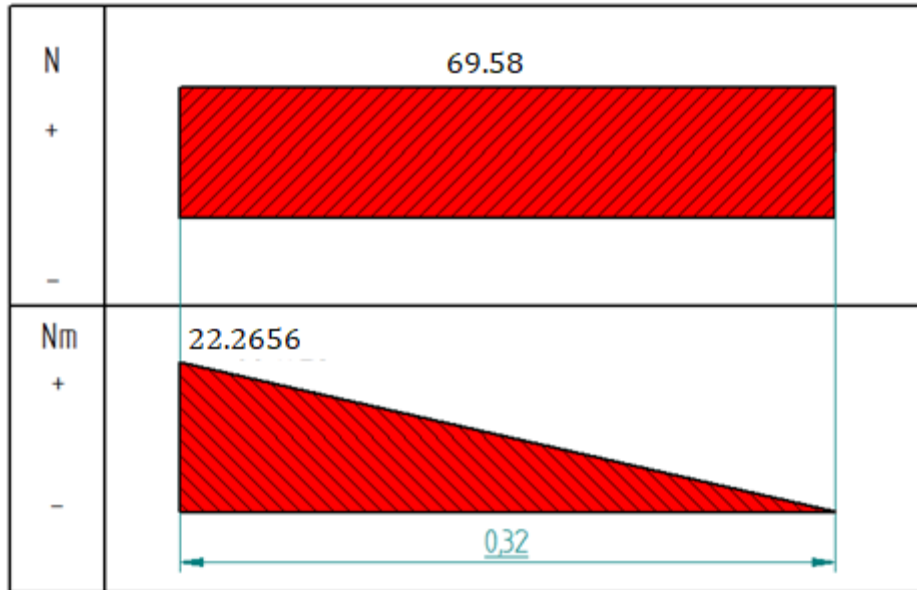
$$\begin{aligned}\sum ME &= 0 \\ ME^{PF_y} + ME &= 0 \\ -69.58 \text{ N} * 0,320 \text{ m} + ME &= 0\end{aligned}$$

$$ME = 69.58 \text{ N} * 0,320 \text{ m}$$

$$ME = 22.2656 \text{ Nm}$$

Utilizando el mismo procedimiento que se realizó con las vigas 1 y 2, se realizaran los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga # 3 tal como lo muestra el diagrama de la figura 93.

Figura 95. Diagrama fuerza cortante y momento flector.



Fuente: elaboración propia

Se calculó el esfuerzo admisible para el diseño, tomaremos un valor de factor de seguridad de 8 y el valor del esfuerzo de fluencia del acero obtenemos.

$$\sigma = \frac{250 \text{ MPa}}{8} = 31,25 \text{ MPa}$$

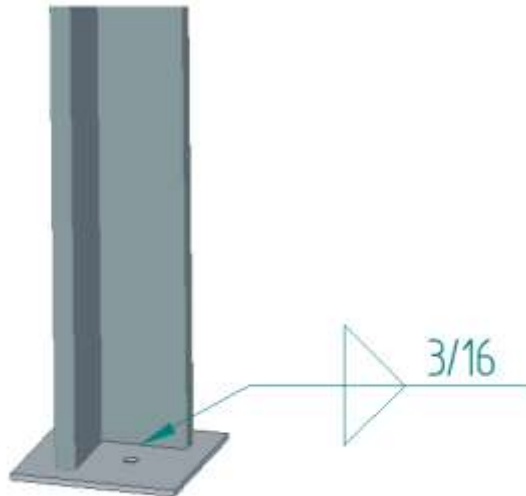
Determinando el momento flector máximo que se puede producir en los perfiles #1 de la viga, utilizaremos la ecuación del módulo de sección para saber qué perfil estructural cumple con las especificaciones, calculándolo de la siguiente manera:

$$Z = \frac{22.2656 \text{ Nm}}{31250000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,000000712 \text{ m}^3 = 0,0434 \text{ in}^3$$

Teniendo en cuenta que el módulo de sección calculado para esta viga #3 es pequeño se utilizara el mismo perfil utilizado en la viga #1 y #2 asegurando así la resistencia mínima de la misma.

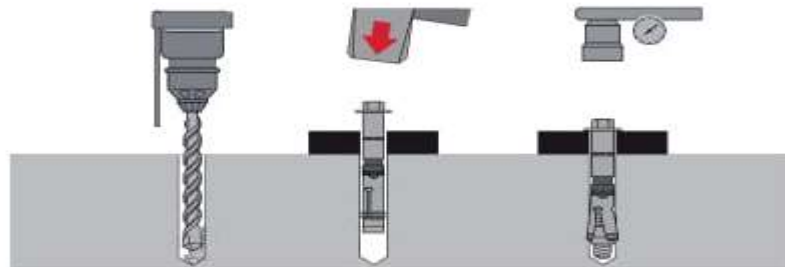
4.7.6 Anclaje del equipo. Para el anclaje del equipo se va a realizar como se observa en la figura 94 en donde las columnas del equipo que se ubican en el piso serán soldadas a una placa de 8x8 y espesor de 2mm y como el espesor es menor a 1/2" el lado del filete a soldar se toma como 3/16". Esta placa será ajustada al suelo con un tornillo para anclaje de expansión como lo muestra la figura 95.

Figura 96. Anclaje.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 97. Proceso de instalación anclaje.



Fuente: HILTI. [Sitio web]. [Consultado: 20 de septiembre 2020].
Disponible en: <https://n9.cl/xstc>

Para la selección del tornillo de sujeción se procedió a seleccionar el tornillo del catálogo de la Hilti que se especializa en tornillos de sujeción en donde seleccionamos el tornillo Kwik Bolt 3 (1/4"X 2 1/4") que se observa en la figura 96. Dado que el equipo soporta cargas a cortante por la vibración generada por el sistema de trituración, al momento presentar una carga a cortante este tornillo tendrá una capacidad de carga de 240 kg la cual por condiciones de trabajo el

equipo nunca se excederá, adicional a esto se instalan bases anti vibratorias (mogollas) que reducirán las cargas a cortante generadas por el sistema de trituración al tornillo.

Figura 98. Tornillo de sujeción Kwik Bolt 3.

Kwik Bolt 3
Anclaje de expansión, con diseño único de cuñas.



Tabla de especificación y datos de procura del KwikBolt 3 de acero al carbón y acero inoxidable SS 304

Descripción	Diámetro del de broca	Longitud del anclaje	Profundidad de colocación (4)	Longitud de rosca	Cargas permisibles en concreto f'c 280 kg/cm2 (2,3)		Cantidad por caja	Código
					Tensión (kg)	Corte (kg)		
KB3 1/4" x 2 1/4"	1/4"	2 1/4"	2"	7/8"	363	240	100	002B2503
KB3 3/8" x 3" LT	3/8"	3"	2 1/2"	1 1/2"	839	644	50	002B2522
KB3 3/8" x 3 3/4" LT	3/8"	3 3/4"	2 1/2"	2 1/4"	839	644	50	002B2523
KB3 1/2" x 3 3/4" LT	1/2"	3 3/4"	2 1/4"	2 3/16"	735	1241	25	002B2526
KB3 1/2" x 4 1/2" LT	1/2"	4 1/2"	3 1/2"	2 7/8"	1107	1370	25	002B2527
KB3 1/2" x 5 1/2" LT	1/2"	5 1/2"	4 3/4"	3 3/4"	1168	1370	25	002B2528
KB3 5/8" x 3 3/4"	5/8"	3 3/4"	2 3/4"	1 1/2"	1002	1846	15	002B2513
KB3 5/8" x 4 3/4" LT	5/8"	4 3/4"	4"	2 3/4"	1535	2216	15	002B2530
KB3 5/8" x 6" LT	5/8"	6"	4"	4"	1535	2216	15	002B2531
KB3 3/4" x 5 1/2" LT	3/4"	5 1/2"	4 3/4"	3 7/16"	2097	3323	10	002B2536
KB3 3/4" x 6" LT	3/4"	6"	6 1/2"	5 11/16"	3259	3323	10	002B2520
KB3 SS 304 3/8" x 3 3/4"	3/8"	3 3/4"	2 1/2"	2 1/4"	714	848	50	002B2585
KB3 SS 304 1/2" x 2 3/4"	1/2"	2 3/4"	2 1/4"	1 1/4"	658	1080	25	002B2546

Fuente: (HILTI). [Sitio web]. [Consultado: 20 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/xstc>

Para la soldadura que se presentara entre la placa y el perfil de la columna se decide aplicar la soldadura en filete con electrodo E70 y material de aporte A36 como se observa en la figura 94 y sus datos salen según el material como se muestra en las tablas 20-3 y 20-4 del libro de mecánica de materiales Robert Mott.

Tabla 67. tabla para soldadura libro de Mott.

TABLA 20-3 Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible p pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

Fuente: MOTT, Robert L.; CHACÓN PAZ, Miguel y CORDOVA JUST, Arturo. Diseño De Elementos De Máquinas [en línea] LIBRO, MEXICO: 1995 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/l3bb>

Tabla 68. tabla para soldadura libro de Mott.

TABLA 20-4

Espesor de la placa (pulg)	Tamaño máximo del lado, para soldaduras de chaflán (pulg)
$\leq 1/2$	3/16
$> 1/2 - 3/4$	1/4
$> 3/4 - 1\frac{1}{2}$	5/16
$> 1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{4}$	3/8
$> 2\frac{1}{4} - 6$	1/2
> 6	5/8

Fuente: MOTT, Robert L.; CHACÓN PAZ, Miguel y CORDOVA JUST, Arturo. Diseño De Elementos De Máquinas [en línea] LIBRO, MEXICO: 1995 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/l3bb>

5. CALCULO DE TORNILLERIA

5.1 CALCULO TORNILLERÍA INTERNA

para el cálculo de la tornillería interna del equipo se partió del espesor de las placas que se unirían con los respectivos tornillos a calcular, para esto se supondrá un tornillo de 2 cm y con un diámetro de 8mm para unión estar en todas aquellas partes del equipo que requieran tornillería. Para el cálculo de dicho tornillo se va a evaluar la fuerza necesaria de separación con l =base a la ecuación 50 del libro de Shigley

5.1.1 Cálculo de carga externa. En este apartado se calculará la carga con la cual, si llega a sobrepasar el factor de segura, se presentará una separación en la unión. Esto se encontrará con la ecuación 50 y se procederá a calcular sus variables.

$$P = \frac{F_i}{n_0(1 - C)}$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 426 ecuación 8-29

5.1.2 Cálculo de precarga. Para el cálculo de la precarga se precede a calcular la carga de prueba F_p que se obtiene mediante la ecuación 8-32 del libro de Shigley la cual nos dice que la fuerza de prueba " F_p " es igual a la multiplicación a área de esfuerzo sometida a tensión " A_t " por la resistencia de prueba " S_p ".

Ecuación 51 Calculo

$$F_p = A_t * S_p$$

Fuente: Fuente SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 427 ecuación 8-31

El área de esfuerzo sometido a tensión: El área de esfuerzo sometido a tensión se obtiene de la tabla 8-1 del libro de Shigley que se observa en la tabla 67 teniendo en cuenta el diámetro del tornillo que sería rosca M8 y especifica un valor de 36.6 mm².





Tabla 69. tabla Área de esfuerzo a tensión.

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07
2	0.40	2.07	1.79
2.5	0.45	3.39	2.98
3	0.5	5.03	4.47
3.5	0.6	6.78	6.00
4	0.7	8.78	7.75
5	0.8	14.2	12.7
6	1	20.1	17.9
8	1.25	36.6	32.8
10	1.5	58.0	52.3
12	1.75	84.3	76.3
14	2	115	104

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 398 tabla 8-1

La resistencia de prueba se obtiene de la tabla 8-11 del libro de Shigley donde se escogió una clase de propiedad de 4.6, dando una resistencia de prueba mínima de 225 MPa como se observa en la como se ve en la tabla 68.

Tabla 70. tabla resistencia de prueba.

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, † MPa	Resistencia mínima a la tensión, † MPa	Resistencia mínima a la fluencia, † MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 420 tabla 8-11

Con las variables ya especificadas la fuerza de prueba tiene un valor de 8235 N.

$$F_p = 36.6 \text{ mm}^2 * 225 \text{ MPa}$$

$$F_p = 8235 \text{ N}$$

Con lo anterior se procede a calcular la fuerza de precarga “ F_i ” teniendo en cuenta la ecuación 8-30 del libro de Shigley que se ve en la figura 97 la cual se selecciona una conexión no permanente, donde se especifica que la fuerza de prueba se multiplicara por un factor de 0.75 para obtener la fuerza de precargar con un valor de 6176.25 N.

Figura 99. Fuerza de precarga.

$$F_i = \begin{cases} 0.75F_p & \text{para conexiones no permanentes, sujetadores reutilizados} \\ 0.90F_p & \text{para conexiones permanentes} \end{cases} \quad (8-30)$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 427 ecuación 8-30.

5.1.3 Fracción de la carga externa. Para el cálculo de la fracción de la carga externa "C" se tiene en cuenta la ecuación 52.

Ecuación 52. Fracción de carga externa.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Fuente: Fuente SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 421 apartado 8-7 ecuación

Con base a la ecuación anterior se debe en calcular el valor la rigidez efectiva estimada " k_b " y la rigidez de los elementos " k_m " donde k_b sale de la formula 8-17 y k_m sale de la fórmula 8-23.

Cálculo de k_b :

Ecuación 53. Rigidez efectiva estimada.

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 413 ecuación 8-17

Se especifica las variables a continuación de la siguiente forma:

A_t = área de esfuerzo sometida a tensión
 l_t = longitud de la parte roscada de agarre
 A_d = área del diámetro mayor del sujetador
 l_d = longitud de la parte sin rosca en agarre
 E = Modulo de elasticidad

Donde A_t es igual a 36.6 mm² como se obtuvo en el apartado de la fuerza de precarga.

Para la l_t el valor será de 4 mm teniendo en cuenta el espesor de los materiales a unir.

Para el l_d se tomará como 0 mm dado que no habrá parte sin roscar en el agarre.
Para el E para el acero es de 207 GPa.

Para A_d se procede a sacar el área del diámetro mayor del tornillo teniendo en cuenta que el diámetro es de 8 mm, donde se usa la fórmula genérica para el área de un círculo, dando como resultado un valor de 50.265 mm² de área.

Remplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene.

$$- \quad kb = \frac{AdAtE}{Adlt + Atld}$$

-

$$- \quad kb = \frac{50.265\text{mm}^2 * 36.6\text{mm}^2 * 207 \text{ GPa}}{50.265\text{mm}^2 * 4\text{mm} + 0}$$

$$- \quad kb = 1.89 \times 10^{12} \frac{N}{m}$$

Cálculo de k_m

Ecuación 54. Rigidez de los elementos.

$$k_m = E * d * A \exp\left(\frac{B * d}{l}\right)$$

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 415 ecuación 8-23

Se especifica las variables a continuación de la siguiente forma:

E = Modulo de elasticidad

d = Diámetro del tornillo

l = Longitud entre la cara del perno y la cara de la tuerca

A y B = constantes de la tabla 8-8.

Donde l tiene un valor de 6 mm, d es de 8mm y el resto de las variables se encuentran en la tabla 8-8 que aparece en la tabla 69.

Tabla 71. tabla parámetro de rigidez de varios materiales.

Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad,		A	B
		GPa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminio	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Cobre	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
Expresión general				0.789 52	0.629 14

Fuente: SHIGLEY Edward, Diseño en ingeniería mecánica de Shirley [en línea] LIBRO, MEXICO: 2008 [Consultado 30, abril, 2020], disponible en <https://n9.cl/rcc0k> PAGINA 416 tabla 8-8

Se procede a remplazar las variables de la Ecuación 55 se obtiene.

$$k_m = 207 \text{ GPa} * 8\text{mm} * 0.78715 \exp\left(\frac{0.62873 * 8\text{mm}}{6\text{mm}}\right)$$

$$k_m = 3.014 \times 10^{12} \frac{N}{m}$$

- Con todo lo anterior se procede a reemplazar los datos obtenidos en la ecuación de cálculo de la fracción de carga externa.

$$C = \frac{1.89 \times 10^{12} \frac{N}{m}}{1.89 \times 10^{12} \frac{N}{m} + 3.014 \times 10^{12} \frac{N}{m}}$$

$$C = 0.38581429$$

5.1.4 Cálculo de la carga P en tornillería interna. Teniendo en cuenta los valores obtenidos para la precarga y la fracción de carga externa se procede a calcular el valor de la carga externa máxima que soportaría el tornillo antes de presentar una separación de la unión. Para el factor de seguridad " n_0 " se tomará un valor de 5, para darle un sobre dimensionamiento a la fuerza de separación del tornillo, dado que los materiales que se unirá no tienen una carga elevada, el tornillo cumplirá en la operación de unión, cabe aclarar que este proceso se realizó con la resistencia de prueba mínima del tornillo.

$$P = \frac{6176.25 N}{5(1 - 0.3858)}$$

$$P = 2011 N$$

5.2 CÁLCULO DE TORNILLERÍA EXTERNA

Teniendo en cuenta que el cálculo de la tornillería externa es análogo al cálculo de tornillería interna se precede a hacer el mismo procedimiento de cálculo en donde su única variación es a rigidez efectiva estimada " k_b " y la rigidez de los elementos " k_m " para el cálculo de la fracción de carga externa " C " debido a la variación del " l_t " y del " l " los cuales tendrán un valor de 13.5 mm y de 15.5 mm respectivamente, este valor se debe al espesor del perfil estructural en L 2x2x3/8 el cual tiene un espesor de 9.5 mm.

Dado que estos valores son los únicos que cambian se procede a hacer el cálculo a partir de la fracción de carga externa.

5.2.1 Fracción de la carga externa. Para el cálculo de la fracción de la carga externa " C " se tiene en cuenta la ecuación 51.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

Con base a la ecuación anterior se debe en calcular el valor la rigidez efectiva estimada " k_b " y la rigidez de los elementos " k_m " donde k_b sale de la formula 8-17 y k_m sale de la fórmula 8-23.

Cálculo de k_b :

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

Se especifica las variables a continuación de la siguiente forma:

A_t = área de esfuerzo sometida a tensión
 l_t = longitud de la parte roscada de agarre
 A_d = área del diámetro mayor del sujetador
 l_d = longitud de la parte sin rosca en agarre
 E = Módulo de elasticidad

Donde A_t es igual a 36.6 mm² como se obtuvo en el apartado de la fuerza de precarga.

Para la l_t el valor será de 13.5 mm teniendo en cuenta el espesor de los materiales a unir.

Para el l_d se tomará como 0 mm dado que no habrá parte sin roscar en el agarre. Para el E para el acero es de 207 GPa.

Para A_d se procede a sacar el área del diámetro mayor del tornillo teniendo en cuenta que el diámetro es de 8 mm, donde se usa la fórmula genérica para el área de un círculo, dando como resultado un valor de 50.265 mm² de área.

Remplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene.

$$- \quad kb = \frac{AdAtE}{Adlt + Atld}$$

$$- \quad kb = \frac{50.265\text{mm}^2 * 36.6\text{mm}^2 * 207 \text{ GPa}}{50.265\text{mm}^2 * 13.5\text{mm} + 0}$$

$$- \quad kb = 5.61 \times 10^{11} \frac{N}{m}$$

- Cálculo de k_m

$$k_m = E * d * A \exp\left(\frac{B * d}{l}\right)$$

Se especifica las variables a continuación de la siguiente forma:

E = Modulo de elasticidad

d = Diámetro del tornillo

l = Longitud entre la cara del perno y la cara de la tuerca

A y B = constantes de la tabla 8-8.

Donde l tiene un valor de 6 mm, d es de 8mm y el resto de las variables se encuentran en la tabla 64 que contiene la tabla 8-8 que fue especifica anteriormente.

Se procede a remplazar las variables de la Ecuación 53 se obtiene.

$$k_m = 207 \text{ GPa} * 8\text{mm} * 0.78715 \exp\left(\frac{0.62873 * 8\text{mm}}{15.5\text{mm}}\right)$$

$$k_m = 1.8 \times 10^{12} \frac{N}{m}$$

- Con todo lo anterior se procede a reemplazar los datos obtenidos en la ecuación de cálculo de la fracción de carga externa.

$$C = \frac{5.61 \times 10^{11} \frac{N}{m}}{5.61 \times 10^{11} \frac{N}{m} + 1.8 \times 10^{12} \frac{N}{m}}$$

$$C = 0.237351995$$

5.2.2 Cálculo de la carga P en tornillería externa. Teniendo en cuenta los valores obtenidos para la precarga y la fracción de carga externa se procede a calcular el valor de la carga externa máxima que soportaría el tornillo antes de presentar una separación de la unión. Para el factor de seguridad “ n_0 ” se tomará un valor de 5, para darle un sobre dimensionamiento a la fuerza de separación del tornillo, dado que los materiales que se unirá no tienen una carga elevada, el tornillo cumplirá en la operación de unión, cabe aclarar que este proceso se realizó con la resistencia de prueba mínima del tornillo.

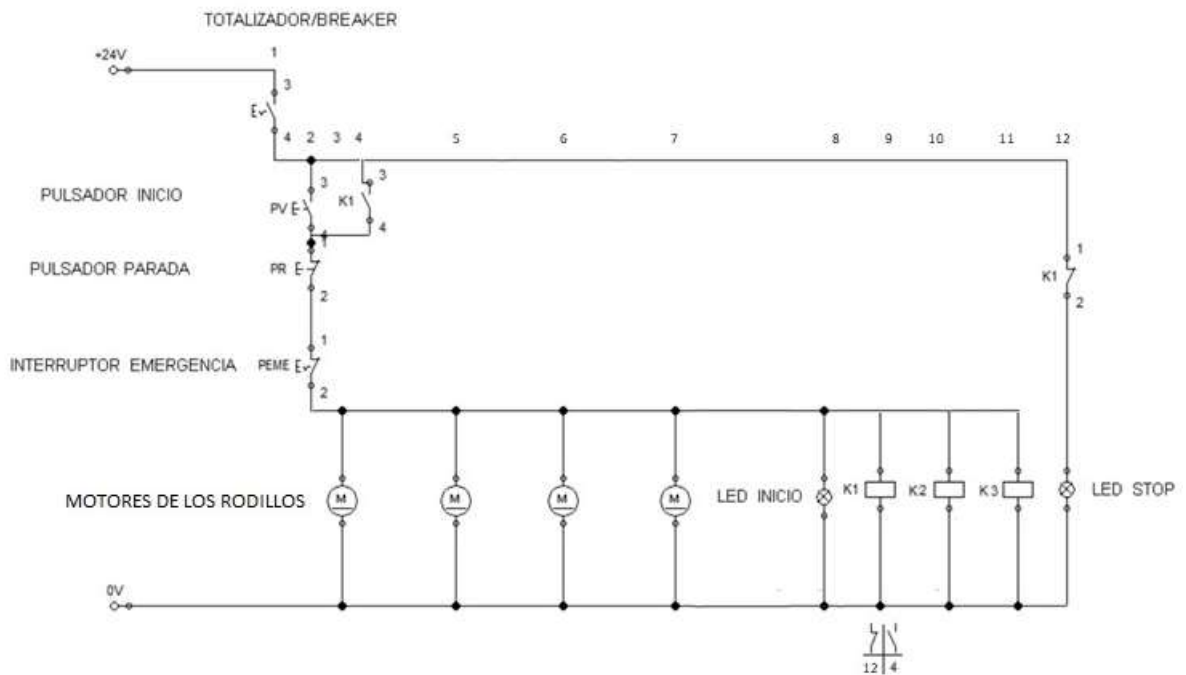
$$P = \frac{6176.25 \text{ N}}{5(1 - 0.2373)}$$

$$P = 1619.57 \text{ N}$$

6. PANEL DE CONTROL

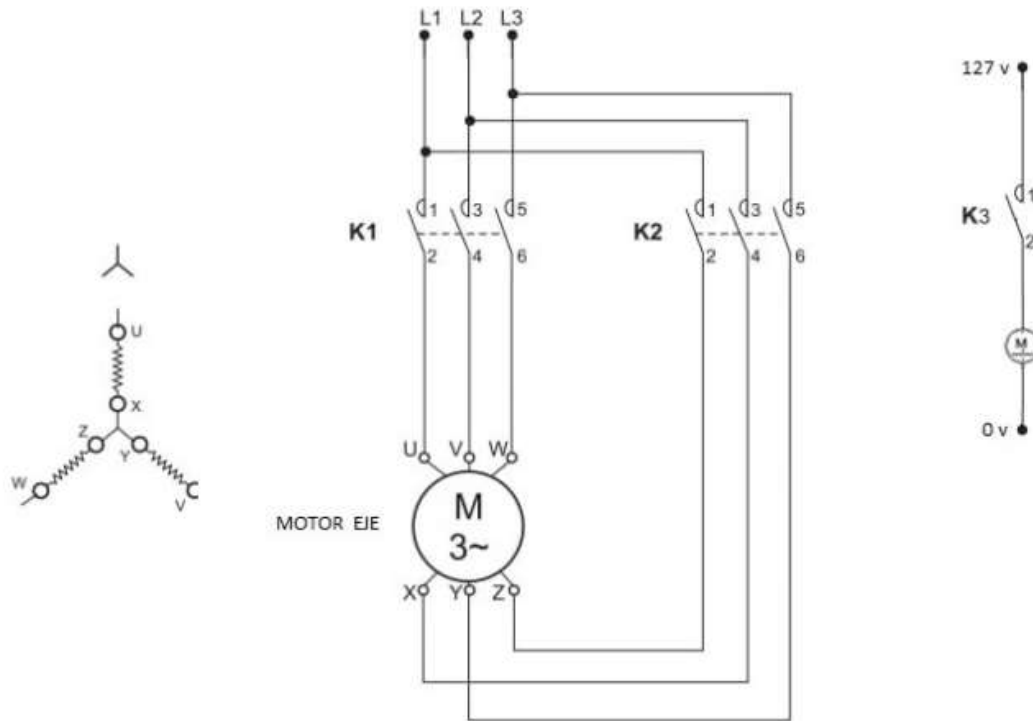
Para poder controlar la operación de la maquina se utilizará mediante un panel de control que constara en el 2 pulsador con muelle de auto retorno (un solo estado de reposo) y un interruptor (2 posiciones de reposo). Para ello se diseñó el plano unifilar por medio del programa fluid sim de FESTO como se ve en la figura 98, el cual nos permitirá dar marcha al equipo de forma correcta y adicional a esto se hizo el diagrama unifilar para la conexión del motorreductor en estrella figura 99.

Figura 100. Circuito eléctrico panel de control.



Fuente: elaboración propia en el programa de Fluid sim de FESTO

Figura 101. Conexión arranque en estrella motorreductor y conexión bomba.



Fuente: elaboración propia

Como se mostró en la figura 98, el plano unifilar cumple con el funcionamiento explicado a continuación.

Aunque el sistema se encuentre físicamente conectado, no recibirá corriente eléctrica sin que el totalizador o breaker que actúa como un interruptor desde la toma de energía del sitio de instalación hacia el equipo, este interruptor se seleccionó de la empresa Schneider Electric, a continuación, se mostrara la figura 100 del breaker IC60N (A9F74206).

Figura 102. Braker.



A9F74206



**IC60N - miniature circuit breaker - 2P -
6A - C curve**

Fuente: SCHNEIDER-ELECTRIC, [en línea], [consultado 6 julio 2020], Disponible en: <https://n9.cl/jt76t>

Para el pulsador de inicio se utilizó igualmente de la empresa Schneider Electric el pulsador XB4BA31 de color verde (FIGURA 102) y para el pulsador de parada voluntaria el pulsador XB4BP21 de color negro (FIGURA 101) tal como se muestra a continuación.

Figura 103. Pulsador de parada.



Fuente: SCHNEIDER-ELECTRIC, [en línea], [consultado 6 julio 2020], Disponible en: <https://n9.cl/ktre3>

Figura 104. pulsador de inicio.



Fuente: SCHNEIDER-ELECTRIC, [en línea],
[consultado 6 julio 2020], Disponible en:
<https://n9.cl/ktre3>

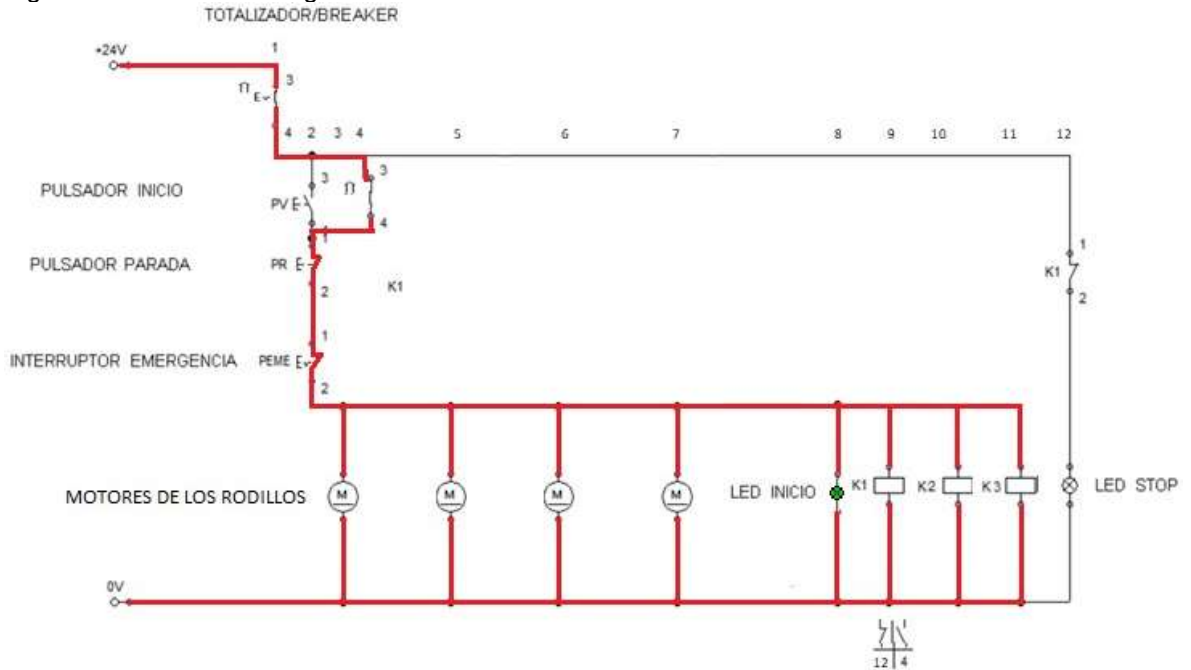
Se utilizara un sistema de parada de emergencia por medio de un pulsador de parada de emergencia de color rojo con liberación por llave debido a que para cualquier intervención que la maquina pueda requerir, no se puede dar la posibilidad de energizar la máquina de manera accidental o por una persona tercera sin el consentimiento de la persona que interviene la máquina, esto se logra a través de la liberación por llave de la energización de la parada de emergencia. Se seleccionó la referencia de pulsador XB4BS9445 como lo muestra la siguiente figura 103.

Figura 105. pulsador de parada de emergencia.



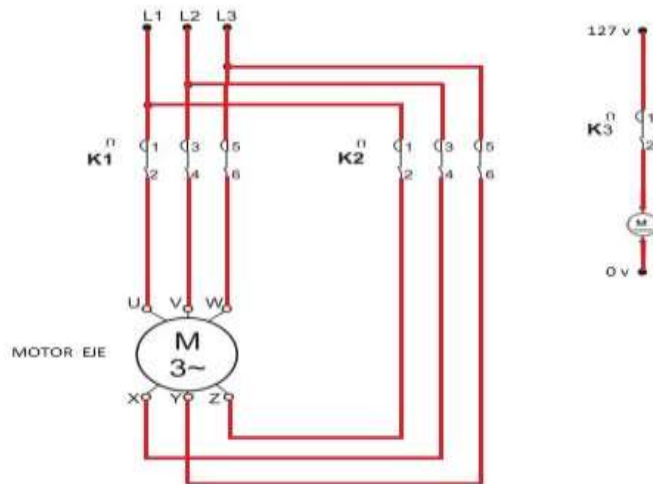
Fuente: SCHNEIDER-ELECTRIC, [en línea],
[consultado 6 julio 2020], Disponible en:
<https://n9.cl/yqei>

Figura 107. Sistema energizado.



Fuente: elaboración propia en el programa de Fluid sim de FESTO

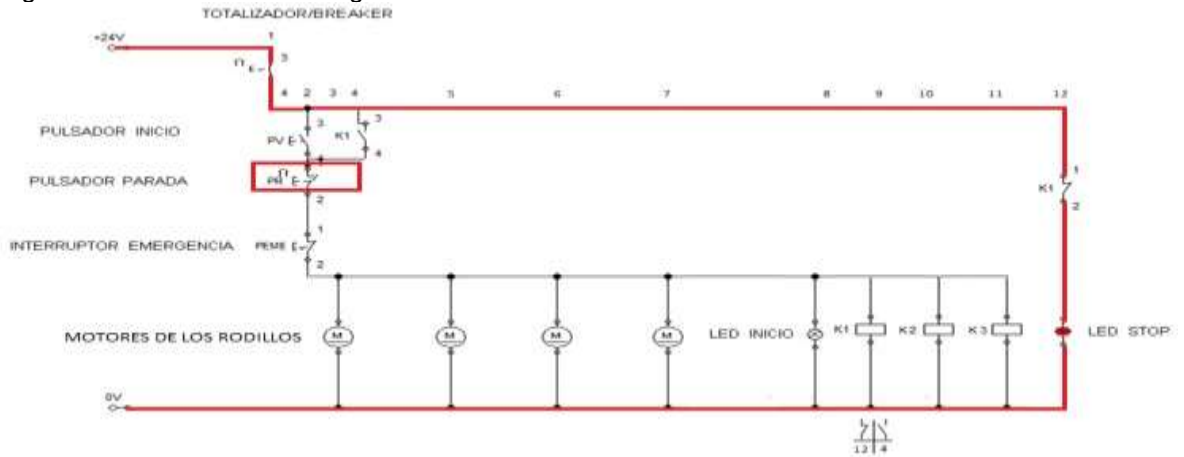
Figura 108. Conexión arranque en estrella motorreductor y conexión bomba energizada.



Fuente: elaboración propia

Si se terminó el proceso de funcionamiento de la máquina, o por alguna situación ajena al funcionamiento normal de la máquina, pero sin consecuencias, se dará un pulso al pulsador de parada PR que detendrá la operación de la máquina y luego se restaura a su posición de inicio tal como lo muestra la siguiente figura 107.

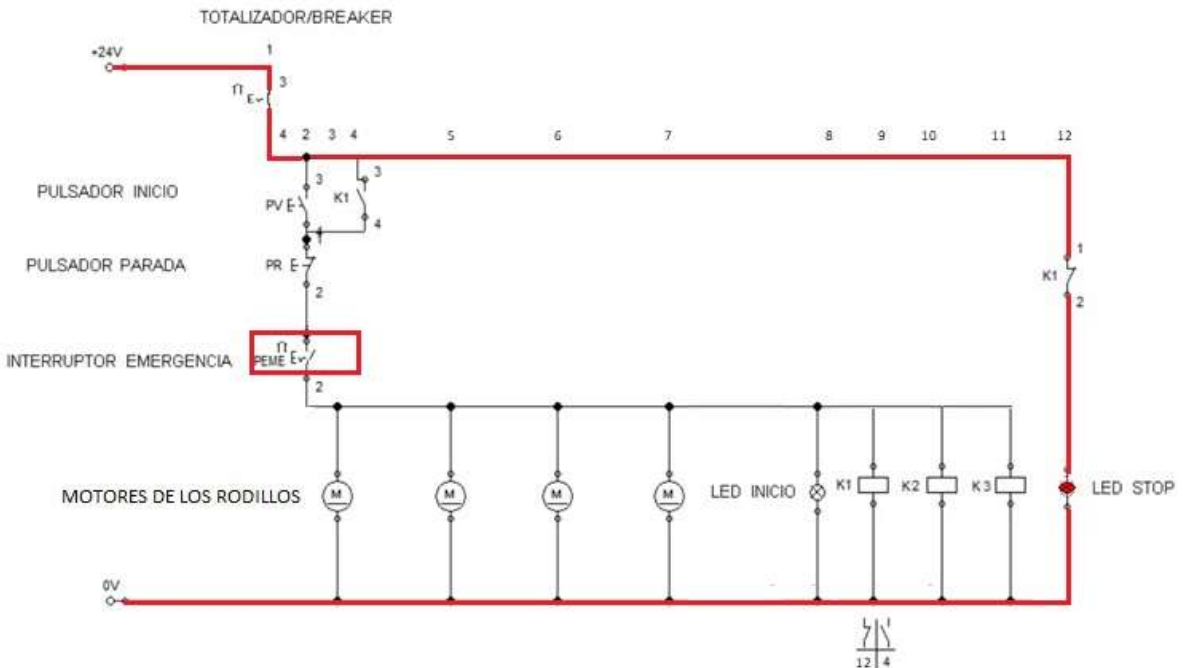
Figura 109. Sistema des energizado.



Fuente: elaboración propia en el programa de Fluid sim de FESTO

En caso de que por alguna razón se requiera detener la operación de la maquina por seguridad, ya sea por pánico o porque algún elemento extraño ajeno al funcionamiento normal de la maquina intervino en este, se dará un pulso al pulsador de emergencia PEME que detendrá la maquina en su totalidad y no permitirá su funcionamiento hasta que esta sea liberada con la llave de seguridad que contiene como lo muestra la figura 108.

Figura 110. Sistema en paro de emergencia.



Fuente: elaboración propia en el programa de Fluid sim de FESTO

7. MANUAL DE MONTAJE

Para mayor comprensión este manual se dividirá en fichas técnicas de ensamble, comenzando por el ensamble del sistema de alimentación.

A continuación, se presentan las partes que conforman el sistema de alimentación que se ven en la tabla 70.

Tabla 72. Partes de sistema alimentación.

RODILLO	1
RODILLO MOTORIZADO	2
SUJETADOR RODILLO 1	3
SUJETADOR RODILLO 2	4
TOLVA	5
SUJETADOR TAPA	6
TAPA TOLVA	7

Fuente: elaboración Propia

En este manual se utiliza el siguiente símbolo que facilita la identificación de la pieza (número superior) y cantidad de las piezas (número inferior) como se ve en la figura 109.

Figura 111. Simbología de identificación de pieza.

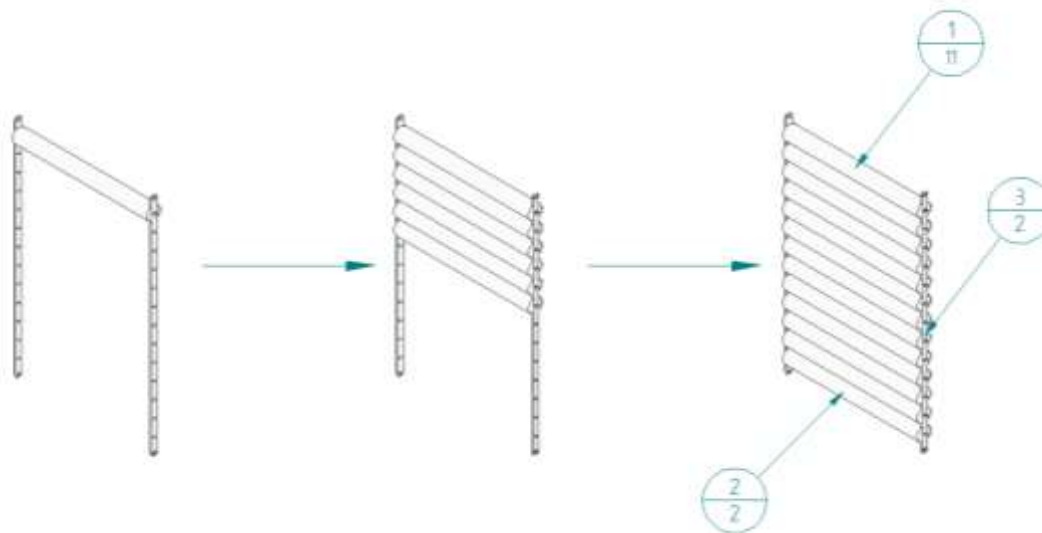


Fuente: elaboración propia en solid Edge

Todos los tornillos de unión usados para el sistema de alimentación son de rosca M8 y una longitud 2,8 cm, con una fuerza de precarga "F_i" igual 6,1 kN.

Inserte los rodillos pieza (1) y los rodillos motorizados pieza (2), en los sujetadores rodillo 1 pieza (3) tal y como se muestra en la figura 110, ajuste los extremos con los respectivos tornillos de unión.

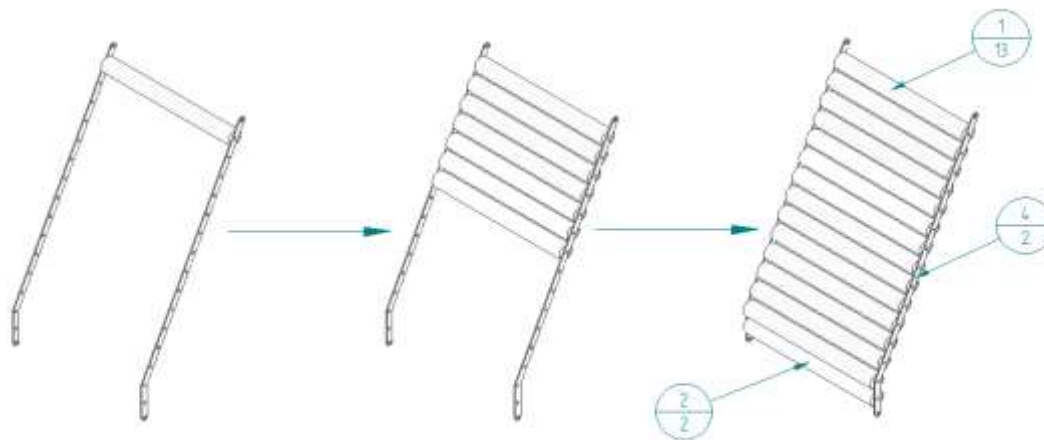
Figura 112. Ensamble etapa 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

De forma análoga Inserte los rodillos pieza (1) y los rodillos motorizados pieza (2), en los sujetadores rodillo 2 pieza (4) como se observa en la figura 111.

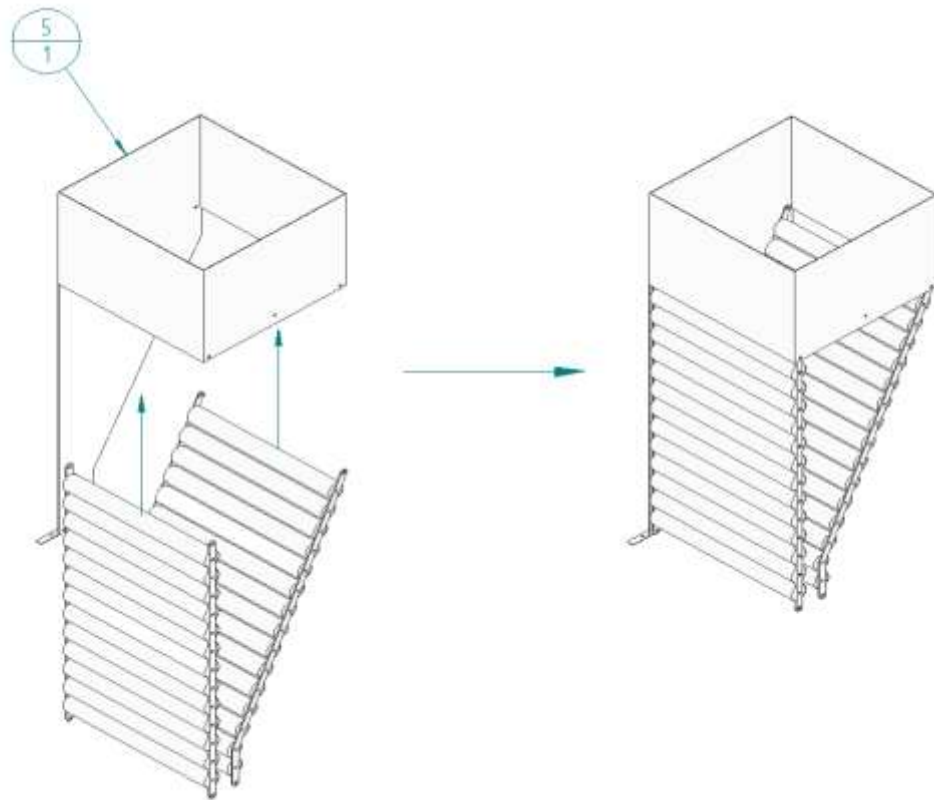
Figura 113. Ensamble etapa 2.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Una vez estén ensamblados la totalidad de los rodillos en los sujetadores, acople estos en la tolva pieza (5) tal y como se muestra en la figura 112, apóyese en los respectivos planos de la tolva y de los sujetadores para ajustar los tonillos.

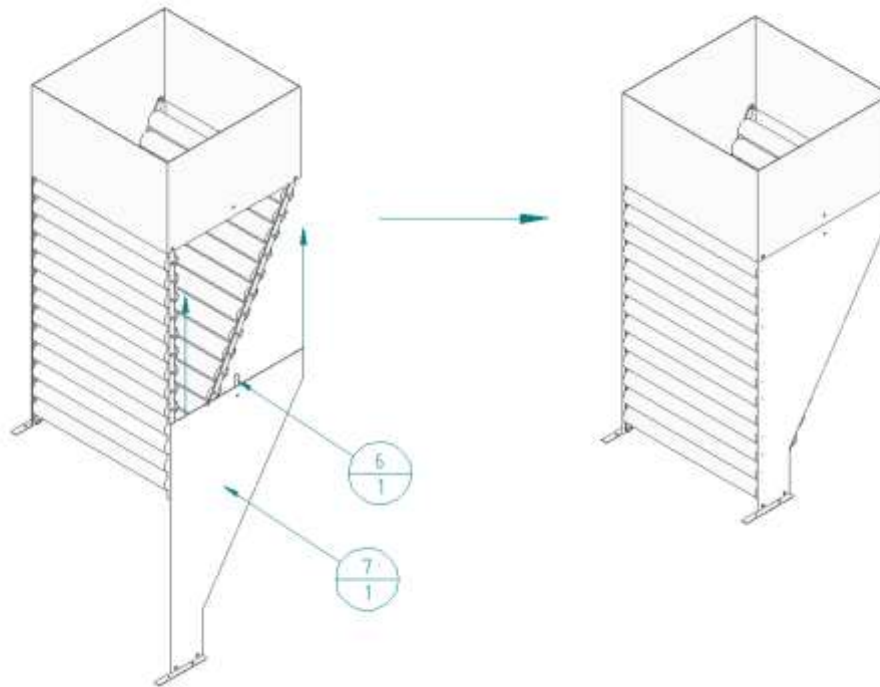
Figura 114. Ensamble etapa 3.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Acople el sujetador de la tapa pieza (6), en la tapa tolva pieza (7) con su respectivo tornillo, posteriormente ajuste estas dos piezas a la tolva, pieza (5) de tal forma que quede como se ve en la figura 113 para esto apóyese en los respectivos planos de cada pieza.

Figura 115. Ensamble etapa 4.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

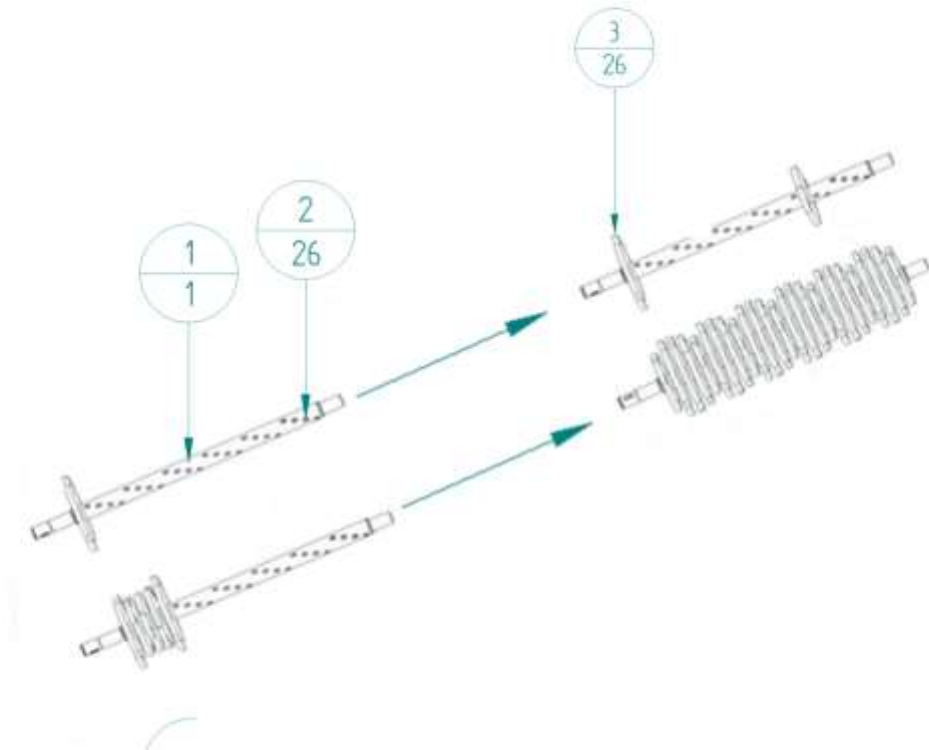
Tabla 73. Piezas Eje de trituración.

Eje	1
Cuña	2
Cuchilla	3

Fuente: elaboración propia

Coloque la chaveta pieza (2) en el eje pieza (1) y deslice la cuchilla pieza (3) hasta su respectiva posición repita este procedimiento, se debe hacer una por una.

Figura 116. ensamble eje 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

De forma análoga se ensambla el segundo eje, este cuenta con un total de 50 cuchillas y 50 chavetas.

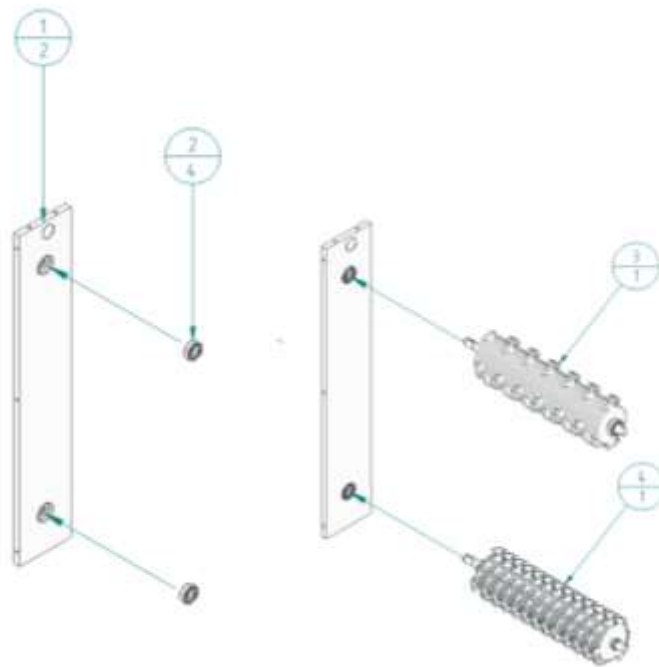
Tabla 74. Piezas trituración.

tapa lateral	1
rodamientos	2
eje de trituración 1	3
eje de trituración 2	4
tapa trasera	5
separadores del primer eje	6
separadores del segundo eje	7
tapa frontal	8
cuchillas fijas del primer eje	9
cuchillas fijas del segundo eje	10

Fuente: elaboración propia en solid Edge

Inserte los rodamientos pieza (2), en la tapa lateral pieza (1), después inserte el eje de trituración 1 pieza (3) y el eje de trituración 2 pieza (4) tal y como se ve en la figura 115.

Figura 117. Ensamble trituración 1.

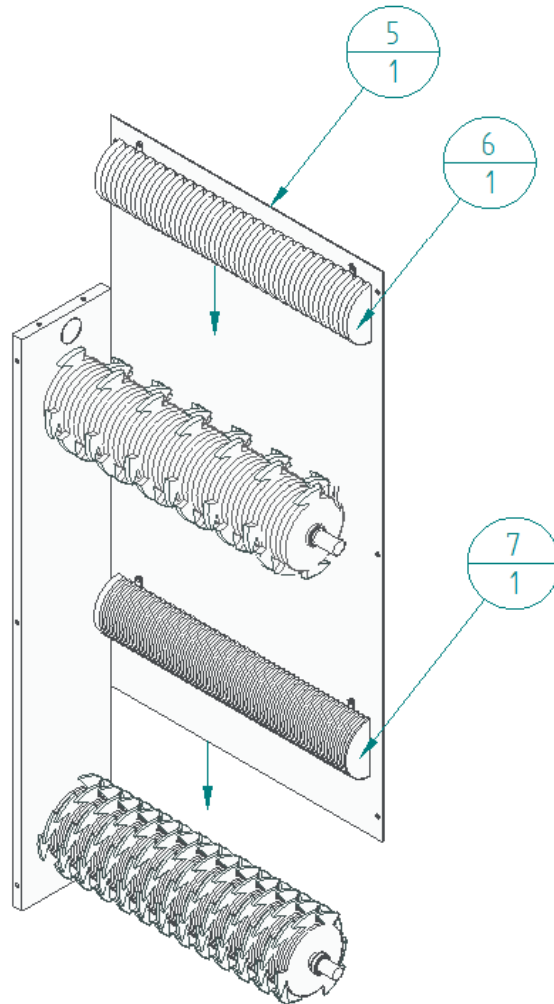


Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Posteriormente acople los separadores del primer eje pieza (6) y los separadores del segundo eje pieza (7), a la tapa trasera pieza (5) con sus respectivos tornillos, para esto apóyese en los respectivos planos de cada pieza, donde se especifican

los agujeros para los mismos, finalmente acople la tapa trasera pieza (5) con la tapa lateral pieza (1) como se muestra en la figura 116.

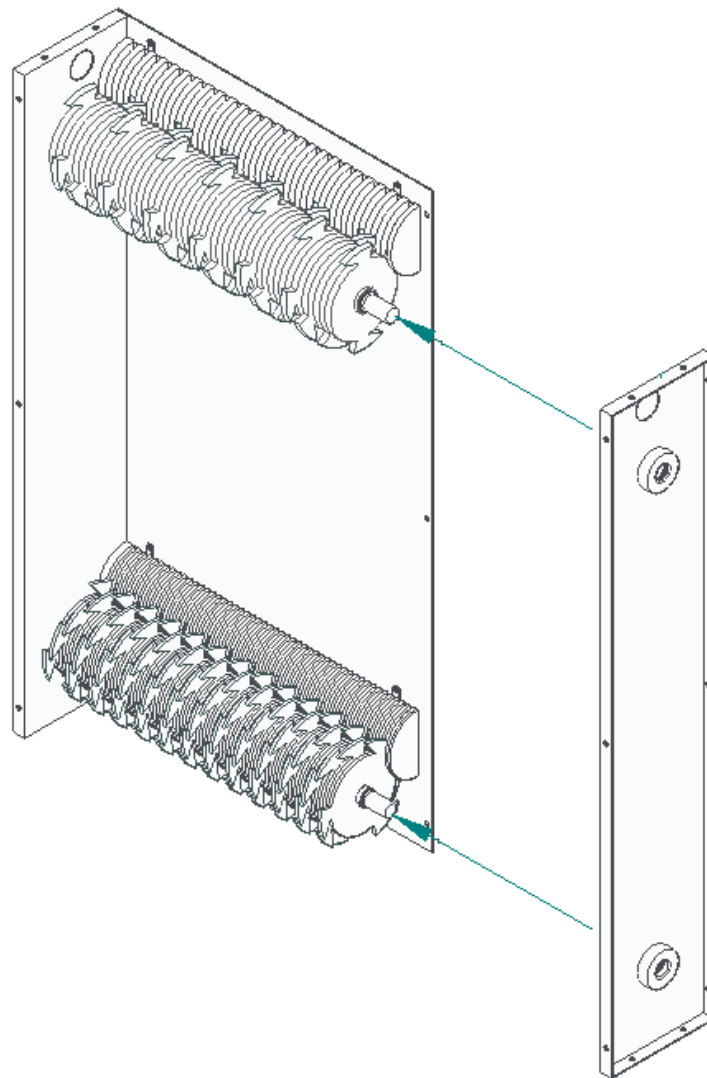
Figura 118. Ensamble trituración 2.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Asegure con tornillos la tapa lateral pieza (1) a la tapa trasera pieza (5) repita el procedimiento de las tapas lateral pieza (1) con los rodamientos (2) como se aprecia en la figura 117.

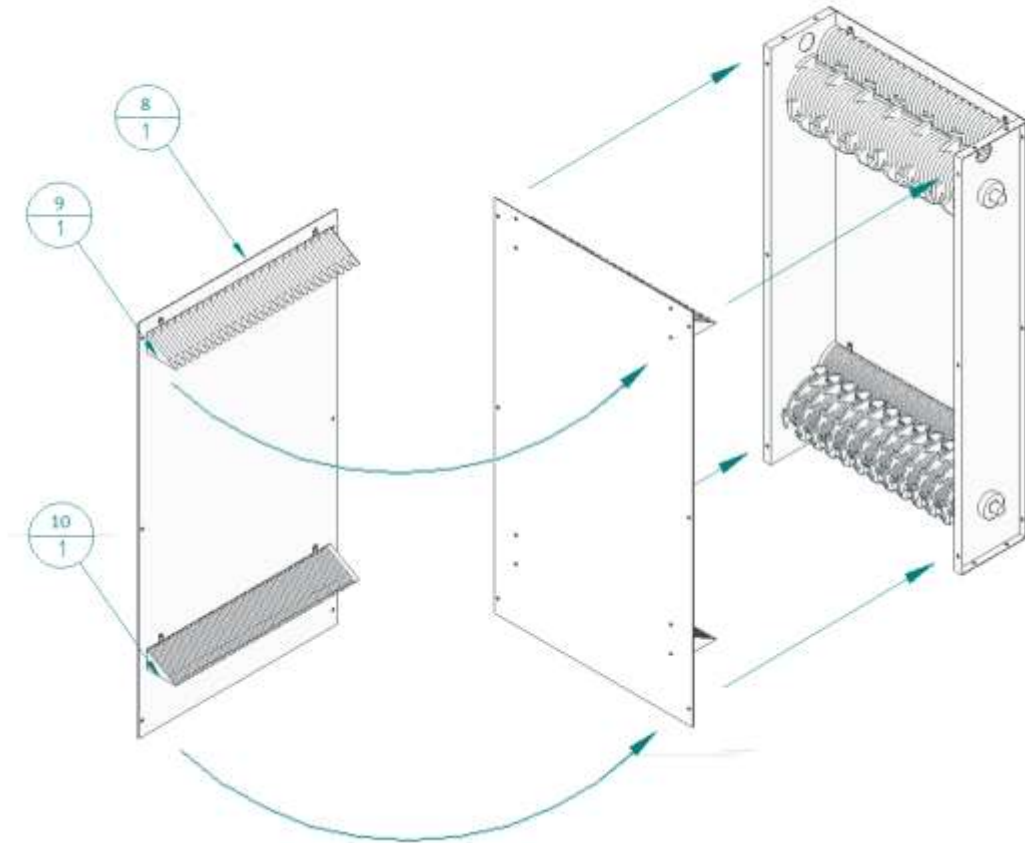
Figura 119. Ensamble trituración 3.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

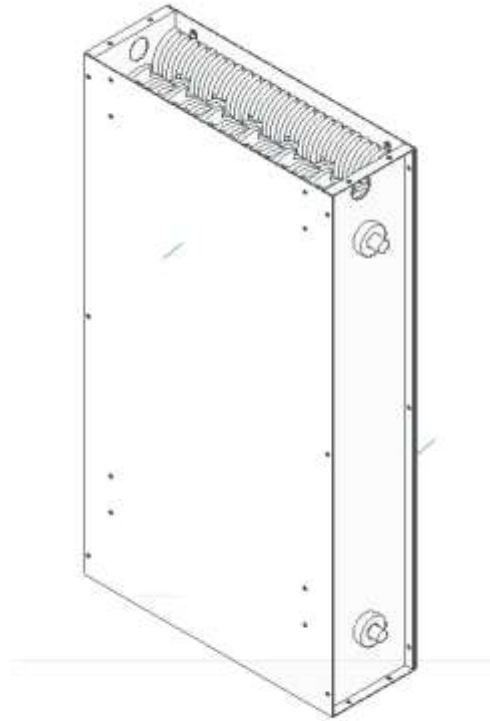
Acople la tapa frontal pieza (8) con las cuchillas fijas del primer eje pieza (9) y las cuchillas fijas del segundo eje pieza (10), después acople la tapa frontal pieza (8) con las tapas laterales pieza (1) con sus respectivos tornillos apoyándose en sus respectivos planos de tal forma que como la figura 118.

Figura 120. Ensamble trituración 4.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 121. Ensamble trituración 5.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

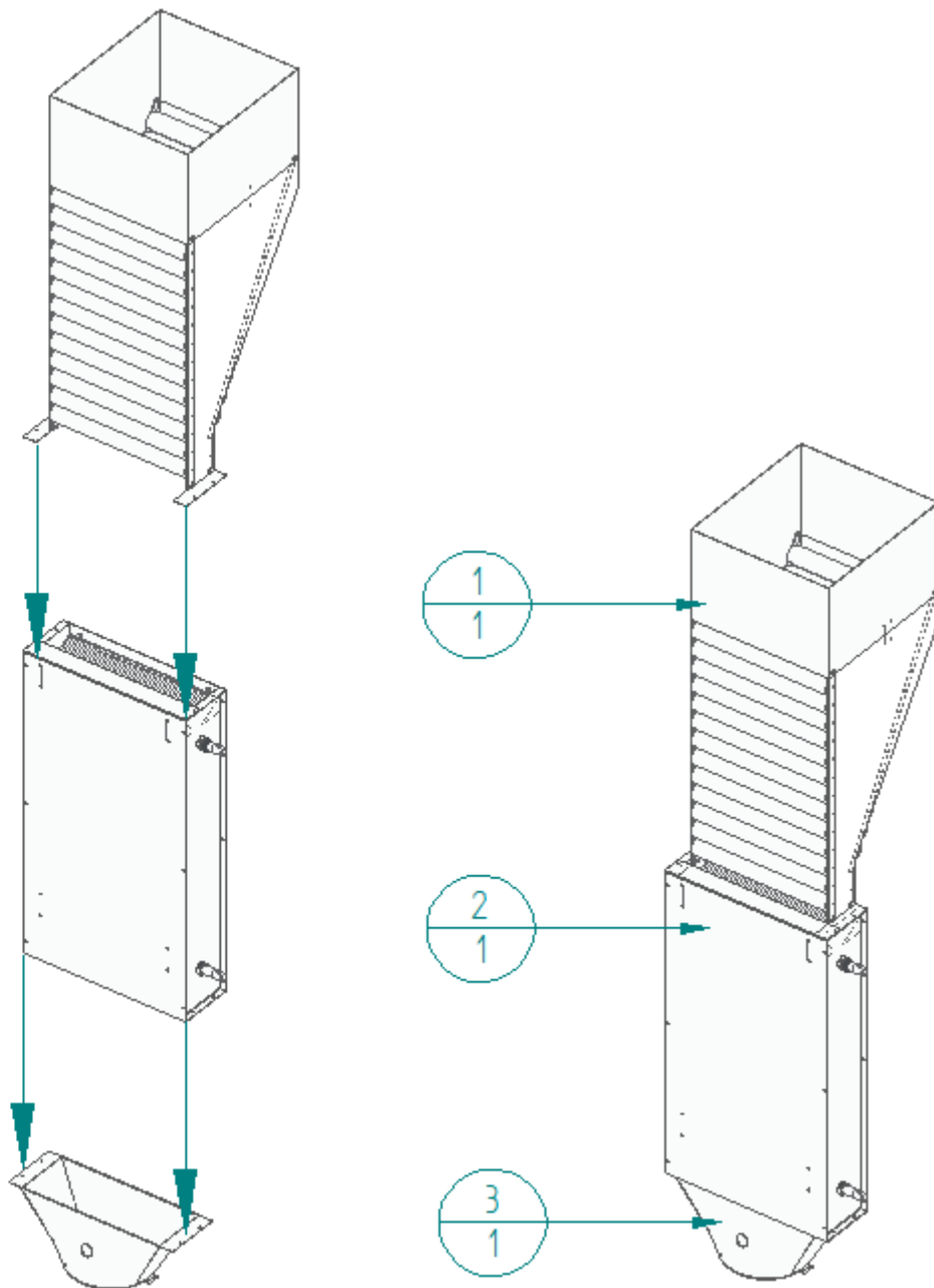
Tabla 75. Piezas sistemas.

Sistema alimentación	1
Sistema trituración	2
Ducto de trituración – separación	3

Fuente: elaboración propia en solid Edge

Acople el sistema de alimentación pieza (1), al sistema trituración pieza (2) y el ducto de trituración – separación pieza (3) como se muestra en la figura 120 (apóyese con los planos de las respectivas piezas).

Figura 122. Piezas sistemas 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

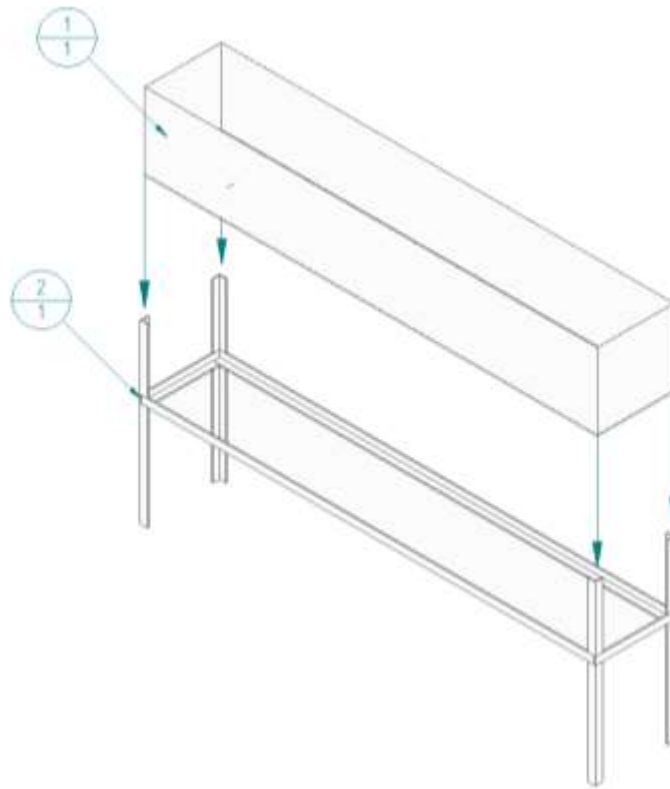
Tabla 76. Piezas sistemas tanque.

Tanque espuma	1
Estructura tanque espuma	2
Marco tanque espuma	3

Fuente: elaboración propia en solid Edge

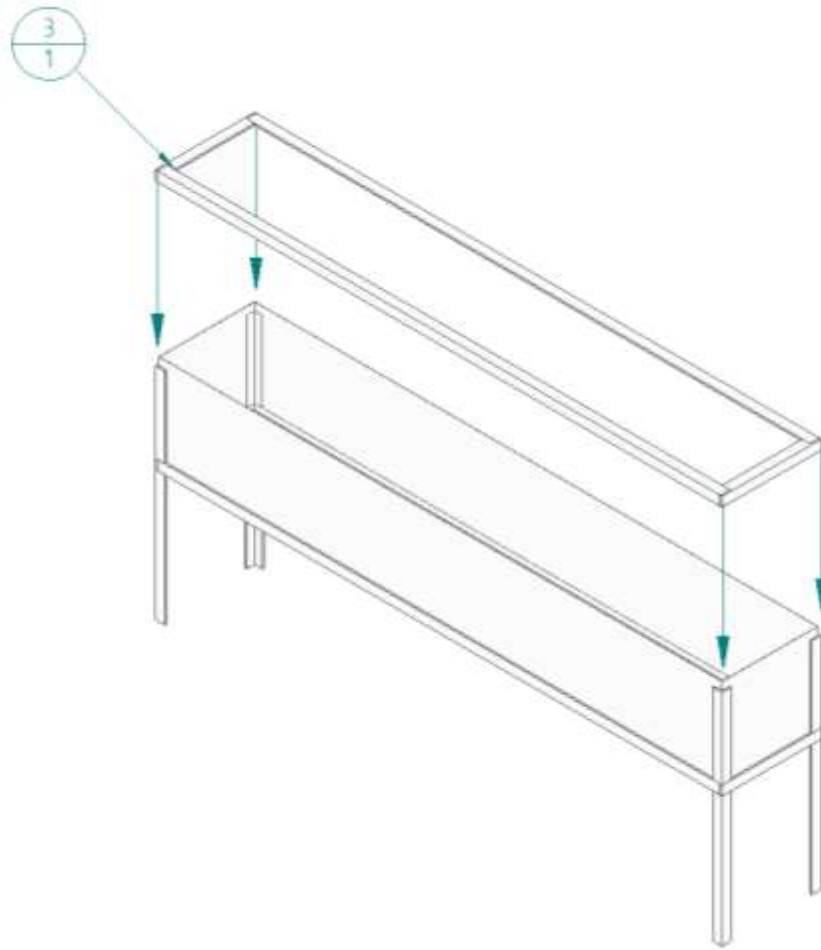
Inserte el tanque de espuma pieza (1), a la estructura tanque de espuma pieza (2) y el marco tanque de espuma pieza (3) como se muestra en las siguientes figuras a continuación.

Figura 123. Piezas sistemas tanque1.



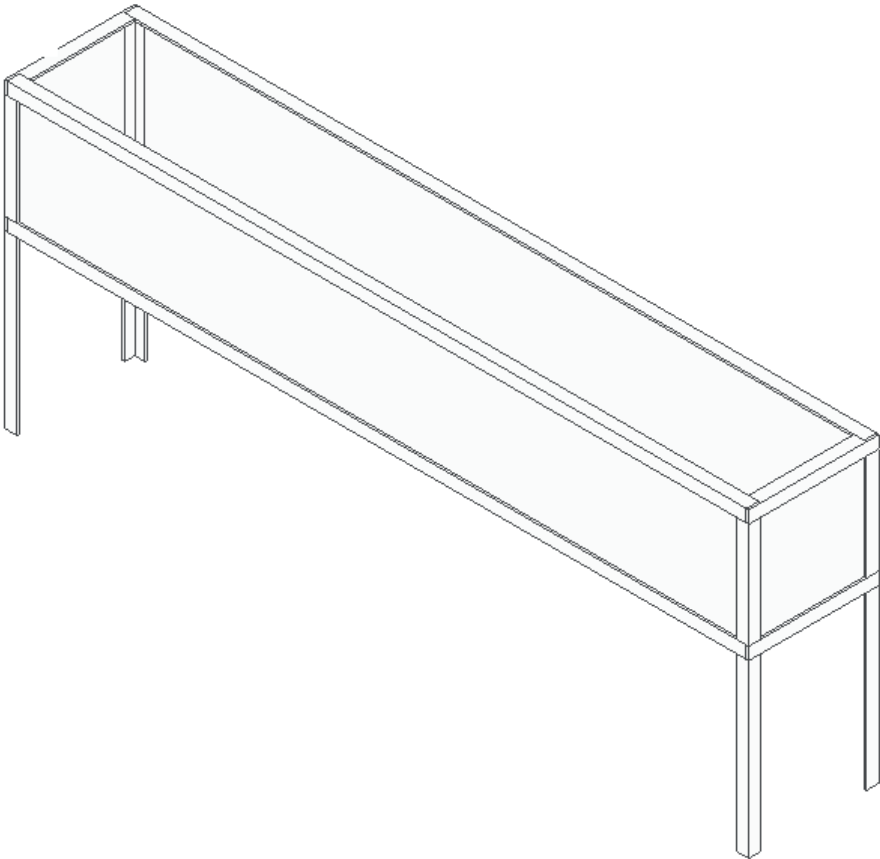
Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 124. Piezas sistemas tanque2.



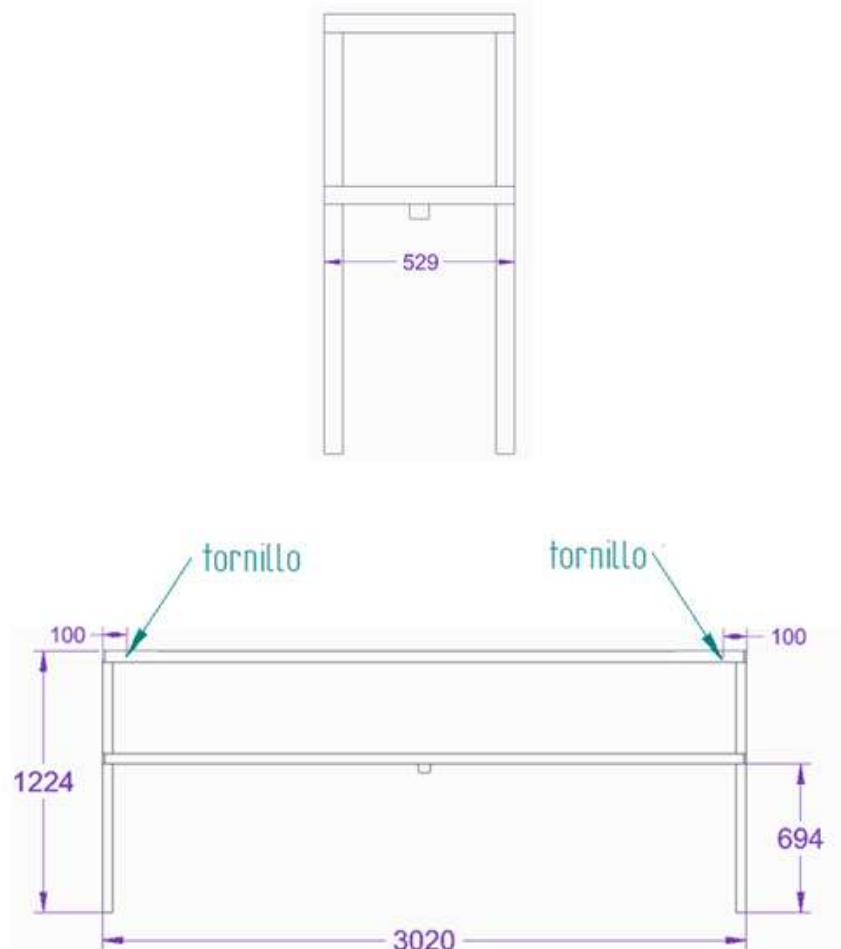
Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 125. Piezas sistemas tanque 3.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 126. Piezas sistemas tanque 4.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Cotas para tornillo del marco a tanque de espuma

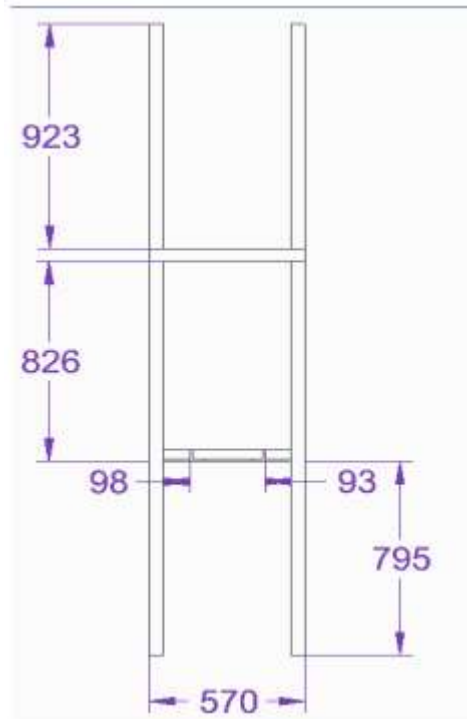
Tabla 77. Ensamble de estructura – alimentación – trituración.

estructura trituración alimentación	1
tanque aluminio	2
tanque alimentación	3
sistemas trituración - alimentación	4
estructura tolva	5
pie de amigo	6
esproket	7
tapa esproket	8

Fuente: elaboración propia

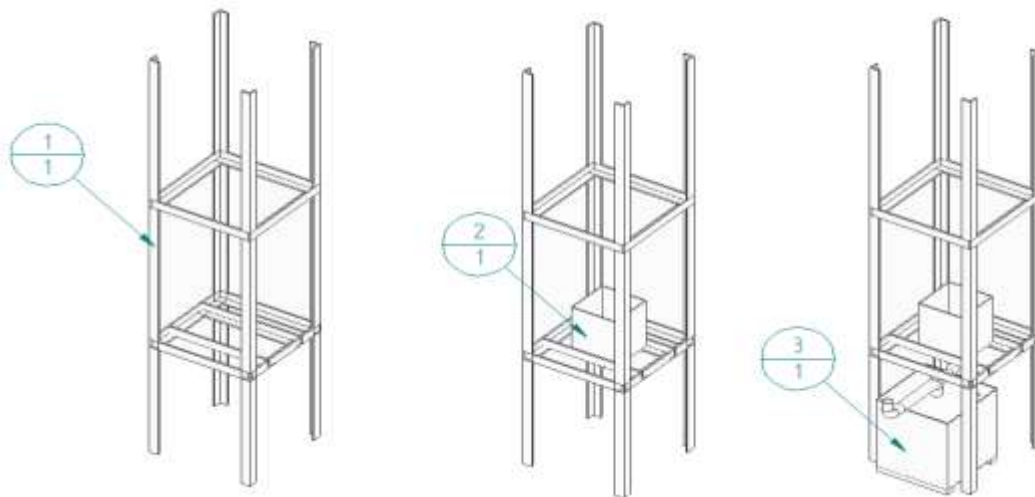
Ensamble el tanque de aluminio pieza (2) y el tanque de alimentación pieza (3), uniéndolo a la estructura trituración – alimentación pieza (1) como se ve en las figuras a continuación.

Figura 127. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

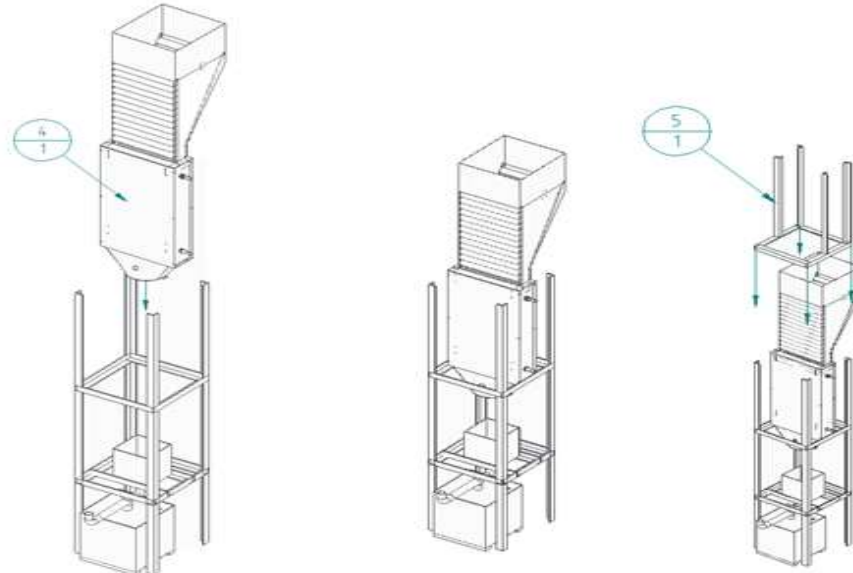
Figura 128. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 2.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

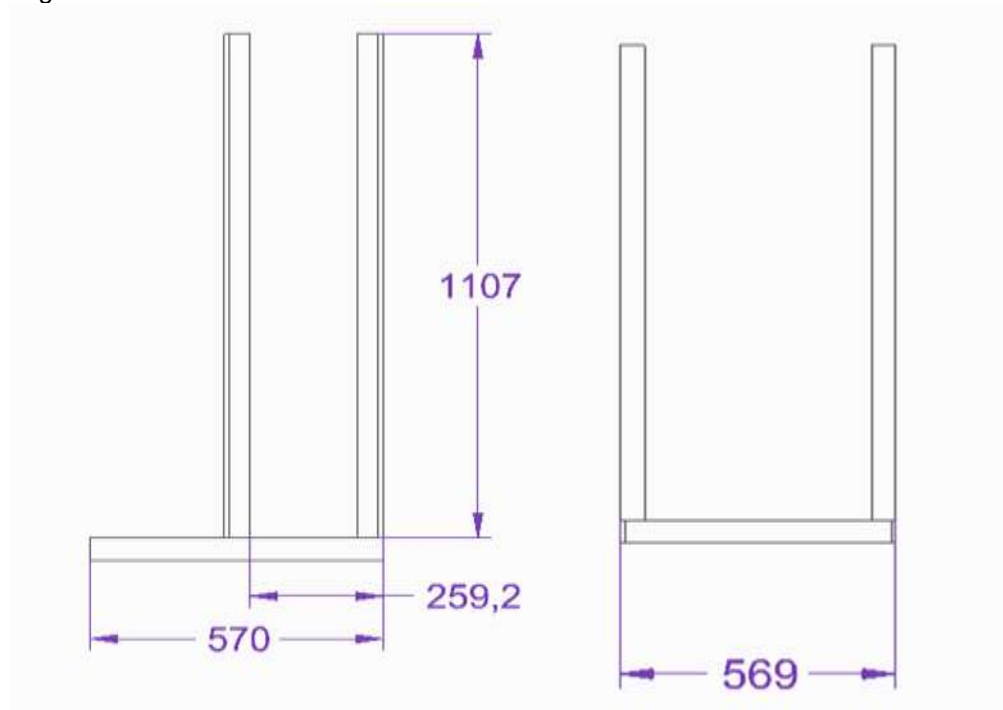
Continúe con el ensamble acoplado el sistema trituración - alimentación pieza (4) y la estructura tolva pieza (5) como se observa en las siguientes figuras.

Figura 129. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 3.



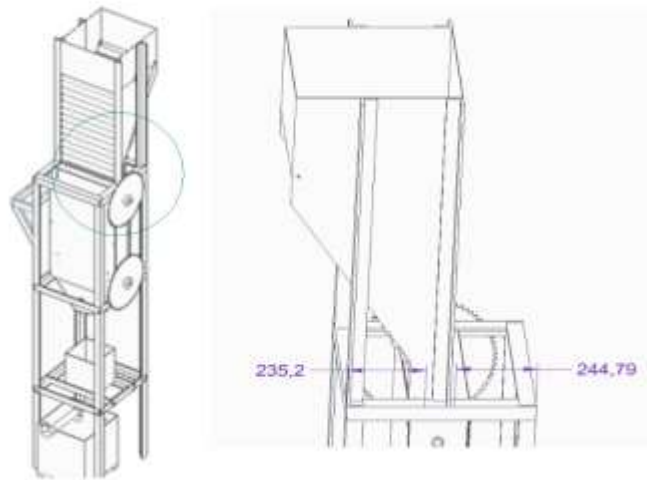
Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 130. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 4.



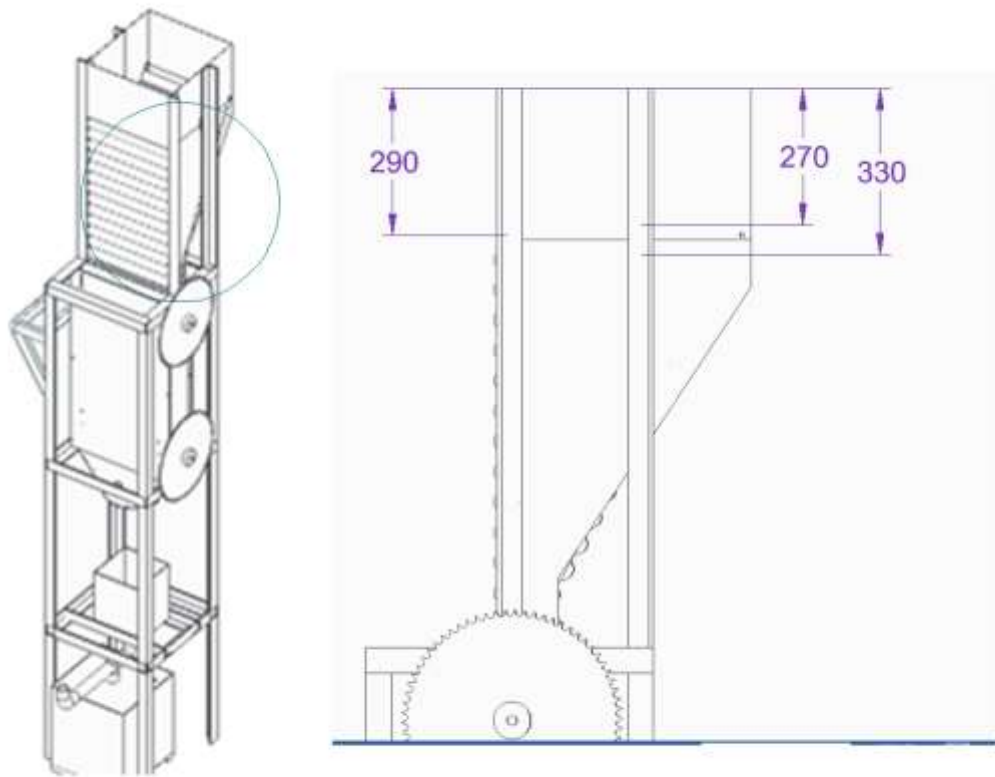
Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Figura 131. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 5.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

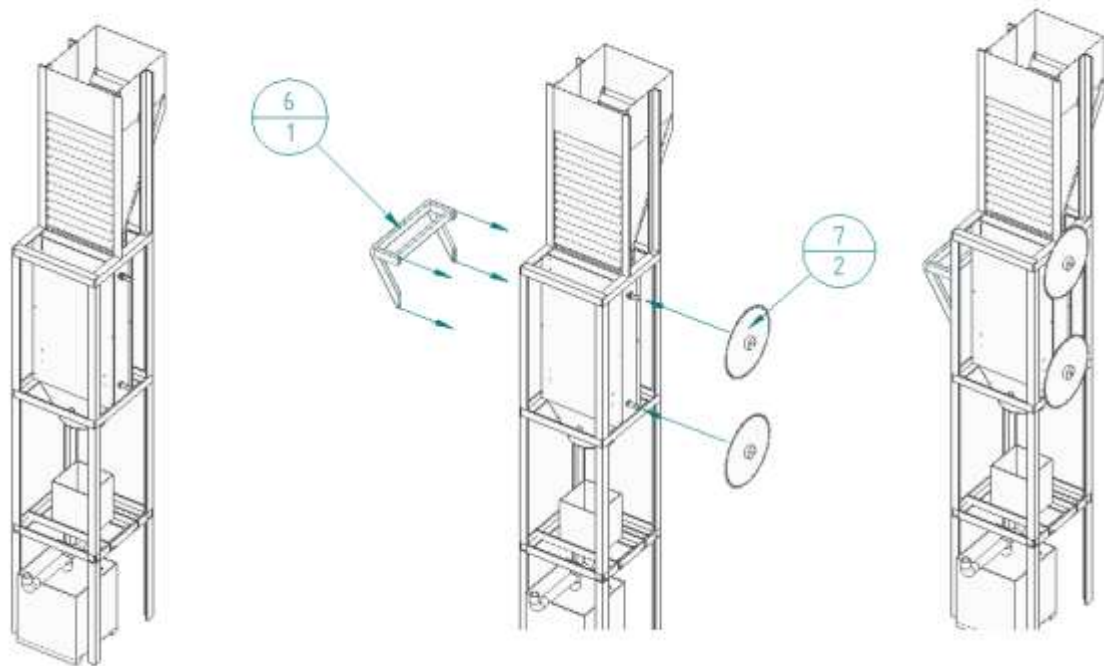
Figura 132. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 6.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

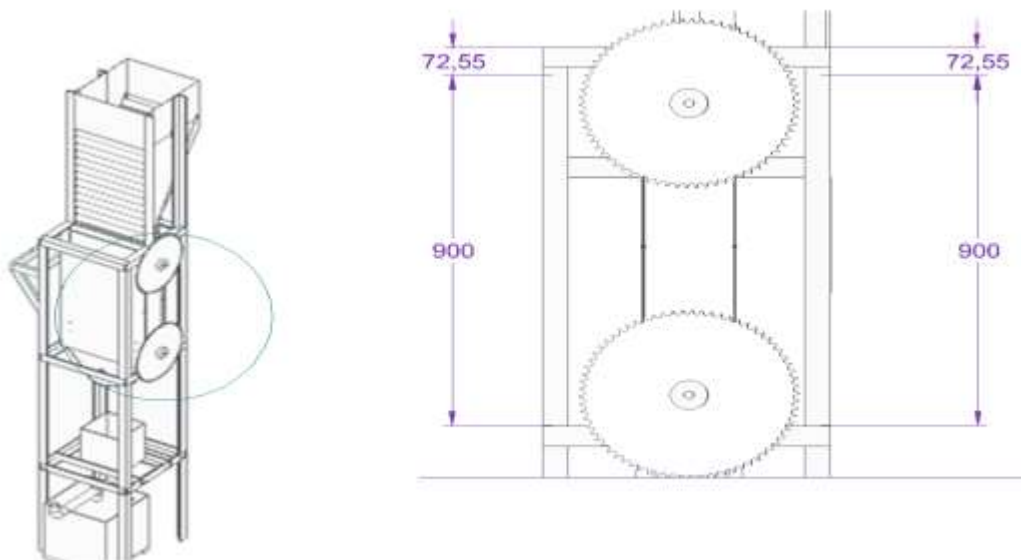
Cotas para tornillos en estructura de la tolva. Ensamble el pie de amigo pieza (6), los sprocket pieza (7) a sus respectivos ejes y la tapa sprocket pieza (8) como se muestra en las figuras.

Figura 133. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 7.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

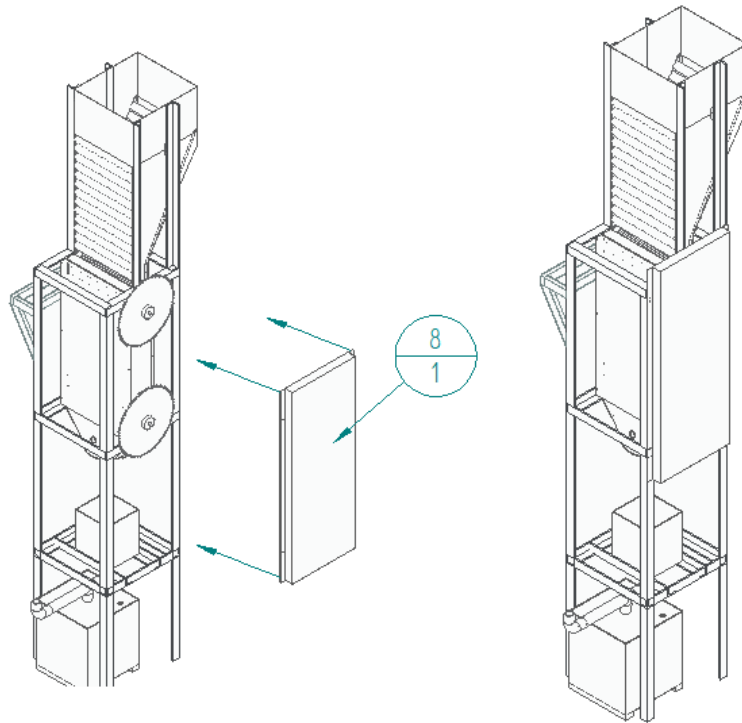
Figura 134. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 8.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

Cotas para tornillo para tapa sprocket

Figura 135. Ensamble de estructura – alimentación – trituración 9.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

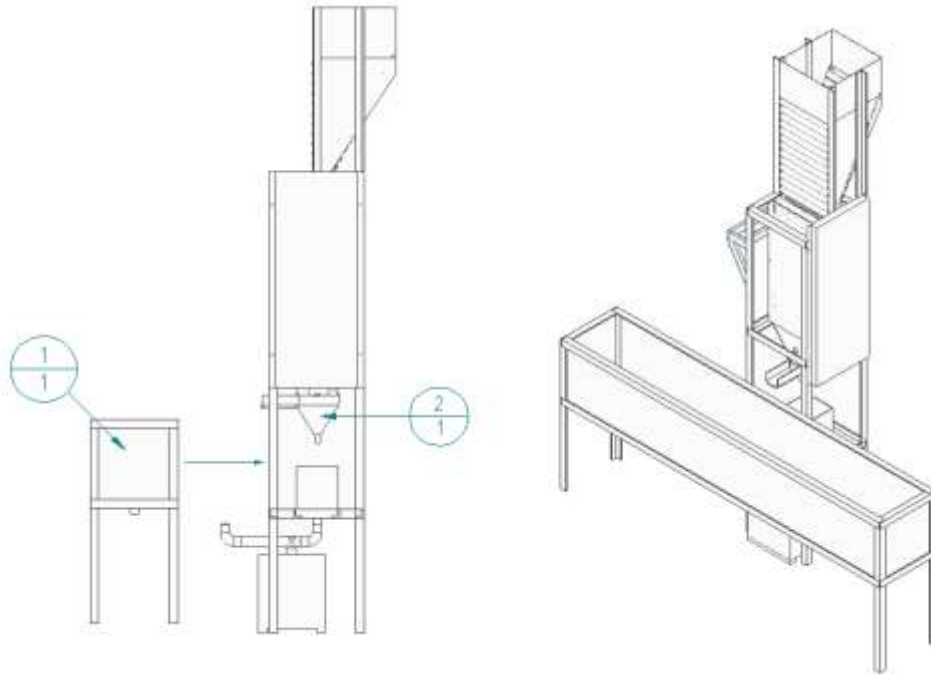
Tabla 78. Acople de sistemas.

Estructura tanque espuma	1
Sistema trituración alimentación	2

Fuente: elaboración propia en solid Edge

Ensamble estructura tanque espuma (1) y sistema trituración alimentación (2) uniendo las dos partes.

Figura 136. Ensamble 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

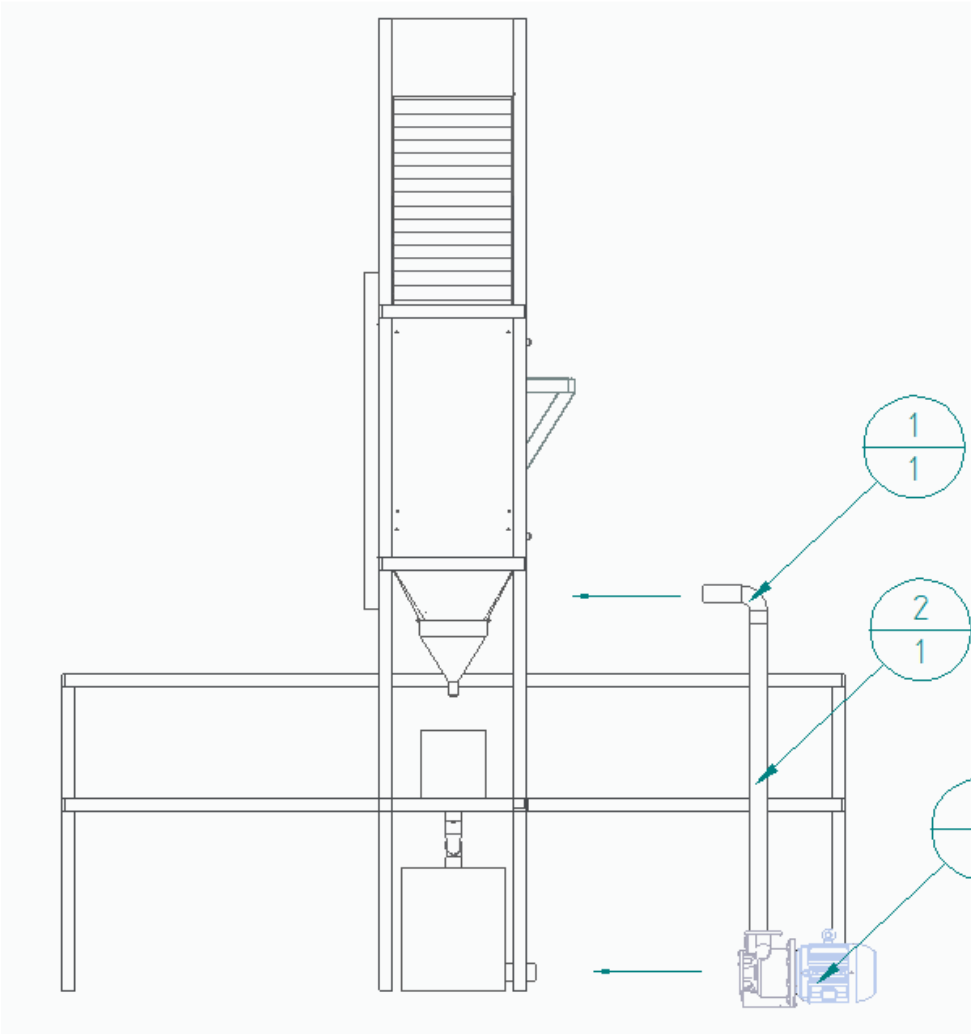
Tabla 79. Ensamble final.

codo	1
tubo	2
bomba	3

Fuente: elaboración propia en solid Edge

Acople el codo pieza (1), el tubo pieza (2) y la bomba pieza (3) como se ve en la figura 135 del tanque de alimentación y el cono adaptador de trituración a separación apóyese en planos para su facilidad.

Figura 137. Ensamble final 1.



Fuente: elaboración propia, en base a Solid Edge

8. MANUAL DE SEGURIDAD

Este manual tiene como finalidad dar a conocer los peligros que pueden existir al manipular la máquina, teniendo en cuenta que existen peligros obvios en la operación, de igual forma se pueden presentar otros menos evidentes.

Toda persona que requiera operar la maquina debe tener pleno conocimiento de cada una de las partes y funciones de la trituradora y separadora. Esto en especial para toda persona que únicamente opera la maquina con una frecuencia baja (Mantenimiento y Correctivos).

- Exclusión por mal uso.

Este apartado incluye, por ejemplo, el mal uso de la máquina para triturar un material diferente para el que fue diseñado, al igual que manipular la maquina sin el equipo de seguridad obligatorio. Las consecuencias del mal uso están bajo responsabilidad del usuario final.

- Riesgos.

La máquina debe ser operada estando en perfectas condiciones de trabajo, teniendo especial atención en las partes de mayor criticidad, como lo es la trituradora y sus recomendaciones de seguridad.

Las instrucciones de operación deben estar siempre a la vista y cercanas a la máquina, a estas debe tener acceso cualquier persona.

El personal debe estar capacitado para la operación de la maquina además de conocer los estatutos de seguridad, como lo incluye el manejo de cualquier sustancia ajena a la operación de la maquina o tamaños de PIR-ALU no admisibles en el diseño de la máquina.

- Equipo de seguridad de la máquina.

La máquina es entregada con el equipo de seguridad de fábrica, el cual no debe ser removido ni ignorado durante su operación.

El funcionamiento óptimo del equipo de seguridad debe ser chequeado diariamente o durante cualquier cambio de turno, después de mantenimiento preventivo o correctivo, en el primer arranque de la máquina y en las posteriores operaciones (después de un tiempo de no operación de la maquina).

Si por algún motivo el equipo de seguridad debe ser removido, ya sea por mantenimiento o reparación, este debe ser reemplazado o certificado nuevamente una vez terminada intervención de la máquina como lo son los elementos de

protección de elementos de la maquina en movimiento, elementos de demarcación de área y señalización de elementos críticos.

A continuación, se enuncian los elementos que debe contener el equipo de seguridad.

- Gafas de protección: las gafas de seguridad deben ser previamente aprobadas y certificadas por la autoridad competente, deben utilizarse durante cualquier intervención de la maquina ya sea en el arranque, operación normal, mantenimiento, limpieza o reparación que permita proteger la posibilidad de objetos o partículas que actúen como proyectiles hacia los ojos.
- Listado de herramientas de mano: El listado de herramientas debe ser chequeado antes y después de la operación de la máquina, esto con el fin de evitar que ninguna herramienta quede dentro de la máquina y pudiera causar algún incidente o accidente por la operación
- Consumibles (Aceites o lubricantes): debe prestar especial atención a las regulaciones de seguridad que el consumible contenga, esto depende del proveedor del cual se obtuvo.
- Área de Trabajo: el área de trabajo debe encontrarse delimitada para mantener distancia de la maquina cuando se encuentre en operación, adicional a esto, el área de trabajo debe encontrarse limpia sin ninguna obstrucción antes, durante y después de su operación, además de tener en cuenta la buena iluminación del área de trabajo.
- Paradas de emergencia: Los botones de parada de emergencia deben estar debidamente identificados previamente a su operación y deben estar debidamente señalizados y probados previos a su operación.

Suministro de corriente eléctrica.

Se debe desconectar la máquina de la fuente principal de alimentación eléctrica antes de intervenir la máquina de cualquier tipo ya sea mantenimiento preventivo, reparación o limpieza. Se debe asegurar con candado o seguro el conector de energía para evitar cualquier arranque no autorizado o inesperado de la máquina.

¡¡¡ATENCIÓN!!!: la maquina no se encuentra des energizada aun cuando la fuente principal se encuentre desconectada.

9. MANUAL DE OPERACIÓN

IMPORTANTE: En cada uso del equipo después de haber tenido un tiempo sin operación, asegúrese de que no tenga ninguna obstrucción en la trituradora, realice un corte para asegurar que no tiene ningún elemento proveniente de algún uso previo.

OPERACIÓN NORMAL DE LA TRITURADORA

1) Coloque el producto (PIR-ALU) en el embudo de rodillos sobre la máquina, asegurándose que los anclajes de la máquina a piso estén a nivel y acoplados.

IMPORTANTE: El tamaño de PIR-ALU es de un área máxima de 40 X 40 mm.

2) Encienda la máquina utilizando el interruptor, el indicador LED (ROJO) debe encenderse indicando que la trituradora está en operación.

3) Suministre el producto en la tolva teniendo en cuenta la capacidad permitida.

4) Cuando termine, permita que la trituradora opere un minuto adicional para descartar cualquier sobrante de producto que quede atrapado en las cuchillas.

5) Una vez transcurrido el tiempo, apague el equipo utilizando el interruptor, el indicador LED (ROJO) se debe apagar y encenderá el INDICADOR LED (VERDE) indicando que la trituradora está detenida.

6) Coloque la tapa de seguridad a la trituradora.

OPERACIÓN NORMAL DE LA SEPARADORA

1) Revise que el tanque de almacenamiento de agua contenga el nivel necesario para la operación (este puede perderse por evaporación normal de exposición al ambiente o perderse por fugas).

2) Encienda el motor de la bomba permitiendo que el sistema se llene con el fluido de trabajo, el indicador LED (VERDE) de la bomba se encenderá indicando la operación normal de la circulación del fluido.

3) Recuerde mantener la válvula de apertura, cerrada, durante la operación del trabajo para llenar el cono de separación, de lo contrario no se podrá realizar la operación de separación de la espuma (polisociunorato) ya que el principio de separación se basa en la flotabilidad, una vez llegue el agua (con partículas de espuma y aluminio en suspensión) al nivel de la marca de trabajo, esto permitirá que la espuma flote y se separe del proceso hacia el tanque de la espuma.

- 4) Una vez separada la espuma, permita la apertura de la válvula para decantar el volumen de agua (ahora con solo partículas de aluminio en suspensión), hacia el tanque del tamiz de aluminio, permitiendo la separación de las partículas de aluminio concentradas en el cono.
- 5) Terminada la separación, retire los tamices de espuma y aluminio, almacenándolos adecuadamente y limpiando los filtros del tamiz.
- 6) Apague el interruptor de la separación, esto apagará la bomba, seguido a esto, permita un par de minutos para que retorne todo el fluido dentro de la tubería al tanque de alimentación, posteriormente se apagará el LED (Verde) indicando la inactividad de la bomba.

10. MANUAL DE MANTENIMIENTO

¡PELIGRO! SIEMPRE DESENERGICE LA MAQUINA DE LA FUENTE ELECTRICA ANTES DE EJECUTAR CUALQUIER TIPO DE ACTIVIDAD, SERVICIO O MANTENIMIENTO.

Para realizar cualquier actividad de mantenimiento debe tener en cuenta la totalidad de las advertencias y recomendaciones del manual de seguridad.

Inicie las operaciones de mantenimiento por los sistemas de la maquina uno a uno, en el orden que se muestra a continuación:

- Sistema Eléctrico:
 - se debe ajustar cualquier tornillería que contenga el panel eléctrico incluyendo las borneras de conexión.
 - Verifique la corriente consumida del equipo con la pinza voltiamperimetrica (este valor debe estar por debajo del valor nominal de placa).
 - Verifique el estado físico de los cables dentro del panel de control.

- Sistema Estructural:
 - Realice la limpieza de la estructura en su totalidad con un trapo que no genere residuos, en preferencia realice la limpieza con aire seco comprimido, teniendo en cuenta de usar siempre la protección para los ojos.
 - Verifique las uniones de la estructura en busca de cualquier deterioro o desgaste residual que pudiera aparecer.

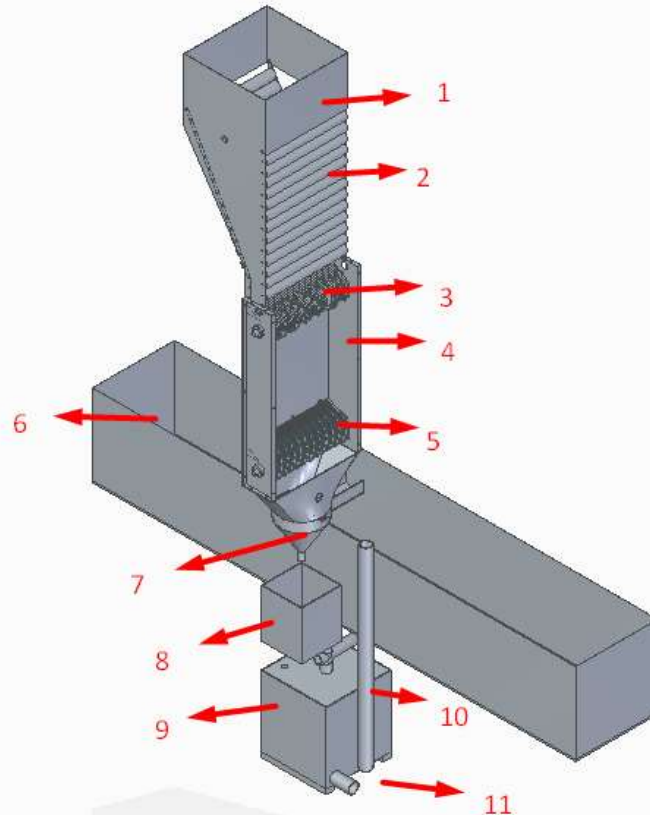
- Sistema de Trituración
 - Verifique el estado óptimo de las cuchillas de trituración, eliminando al tiempo cualquier residuo existente dentro de las cuchillas.
 - Realice la lubricación de los elementos rodantes (Rodamientos o acoples) que contenga el sistema.
 - Ajuste nuevamente cuchilla por cuchilla sobre los ejes ya lubricados.

- Sistema de Separación
 - Verifique el consumo del motor eléctrico de la bomba con la pinza voltiamperimetrica (este valor debe estar por debajo de la placa nominal del equipo).
 - Verifique que no exista fugas en ninguna parte del sistema de circulación del fluido (Tanques, tuberías y tamices).
 - Verifique el estado del Mesh (malla) de los tamices.
 - Verifique cualquier rastro de corrosión que pueda existir por el fluido de trabajo (agua) sobre los elementos o humedad presente en el ambiente de la máquina.

- Sistema de alimentación
 - Verifique que dentro de la tolva no se encuentre ningún material residual de operaciones previas.
 - Verifique el estado de los rodillos (limpieza y estado superficial).

Verifique el consumo eléctrico de los rodillos con motor integrado.

Figura 138. Descripción de los componentes de la máquina.



Fuente: elaboración propia en base a solid Edge

- 1) Tolva de admisión de material
- 2) Rodillos de admisión
- 3) Primer eje de trituración (Incluyendo las cuchillas)
- 4) Caja de trituración
- 5) Segundo eje de trituración (Incluyendo las cuchillas)
- 6) Tanque de separación de la espuma (Polisociunorato)
- 7) Embudo de separación de la espuma
- 8) Tanque de separación del aluminio
- 9) Tanque de almacenamiento reserva de agua

10) Tubería de impulsión del circuito de agua

Inspecciones

Bomba de impulsión del agua (Incluyendo el motor) Con el objeto de darle seguimiento al estado de la máquina se procedió a realizar la relación de las inspecciones efectuadas a la máquina.

Cuadro 2 Cuadro de inspecciones

SISTEMA	SUB SISTEMA	COMPONENTE	FALLA	INSPECCION	PERIODICIDAD
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	Subsistema de Recepcion	Tolva	Atascamiento	VISUAL	Diario
			Grietas	VISUAL	Semestral
		Rodillos de distribución	Atascamiento	VISUAL	Diario
SISTEMA DE TRITURACIÓN	Subsistema de Potencia	Eje de trituración	Rotura	VISUAL	Trimestral
			Flexión	TINTAS	
			Fatiga	VISUAL	
		Eje de trituración 2	Rotura	VISUAL	Trimestral
			Flexión	TINTAS	
			Fatiga	TINTAS	
		Rodamientos	Fractura	TINTAS	Bimestral
			Descamación	VISUAL	
			Daño en Jaula	VISUAL	
		Motor	Corrosion	VISUAL	Semanal
			Alto Consumo	VISUAL	Mensual
		Sprocket	Picadura		Diario
		Cadena de transmisión	Ruido Excesivo	AUDITIVA	Diario
Desgaste eslabones y pasadores	VISUAL		Mensual		
Subsistema de Corte	Cuchillas Fijas	Desgaste del filo	VISUAL	Mensual	
	Cuchillas Moviles		VISUAL		
SISTEMA DE SEPARACIÓN	Subsistema de Filtrado	Tanques diferenciales de densidades	Fisuras	VISUAL	Semestral
		Tanque Alimentacion	Corrosion	VISUAL	Mensual
		Tamis	Atascamiento	VISUAL	Semanal
SISTEMA ESTRUCTURAL	Subsistema de Soporte	Armadura	Cortante	TINTAS	Semestral
			Flexion	TINTAS	
		Caja de Trituración	Fisuras	TINTAS	Semestral

Fuente: elaboración propia

Seguido de esto se especifica que la tabla de fallas que corresponde a las posibles fallas que se presentan en tabla de inspecciones.

Cuadro 3. Cuadro de fallas.

FALLA	PROCEDIMIENTO	RECURSOS	INSUMOS
Atascamiento	Se debe detener el equipo, desconectar cualquier fuente de energía que el mismo presente y verificar su interior en busca de cualquier elemento que este generando la obstrucción en el área de triturado o separado	3 personas en turno para el mantenimiento y autorización de detención del equipo	Repuesto de la limpieza o solicitud de compra, herramientas de para desarme y ensamble del equipo
Grietas	Se debe aplicar la tinta penetrante sobre la superficie, se elimina el exceso de tinta, posteriormente a esto se aplica el revelador una vez identificado el diametro que marca en el revelador	Dependiendo del tamaño y peso de la pieza a reemplazar se requerira, las gruas de anclaje, y minimo 10 operarios en turno para el desmontaje y montaje de la pieza	Sellante, Soldadura, Cinta Foil.
Rotura	Identificar los elementos que detendran su operación para reemplazar el elemento dañado, posteriormente retirar el elemento, realizar el registro del desmontaje de la parte y reemplazar el elemento	Dependiendo del tamaño y peso de la pieza a reemplazar se requerira, las gruas de anclaje, y minimo 10 operarios en turno para el desmontaje y montaje de la pieza	Repuesto de la pieza (ya sea por stock de repuestos o solicitud previa del repuesto), elementos de fijacion, elementos de recubrimiento y elementos de limpieza
Flexión	Identificar las causas y las consecuencias por el elemento averiado, de no ser reversible se debe reemplazar la pieza inmediatamente detenido la operación de la maquina.	Si el elemento fallo por exceso de carga se debe revisar el diseño base para verificar los parametros utilizados en la fase de diseño, se requiere minimo 10 operarios en turno para su reemplazo	Repuesto de la pieza, elementos de fijacion, elementos de medicion, elementos de limpieza, reportes de mantenimiento o anomalias
Fatiga	Identificar las causas y las consecuencias por el elemento averiado, de no ser reversible se debe reemplazar la pieza inmediatamente detenido la operación de la maquina.	Si el elemento fallo por exceso de carga se debe revisar el diseño base para verificar los parametros utilizados en la fase de diseño, se requiere minimo 10 operarios en turno para su reemplazo	Repuesto de la pieza, elementos de fijacion, elementos de medicion, elementos de limpieza, reportes de mantenimiento o anomalias
Fractura	Identificar las causas de la fractura, puede ser exceso de carga o frenado de los componentes, verificar el estado fisico de los componentes, lubricar los componendes de no solucionar, se debe reemplazar la pieza	3 personas en turno para el mantenimiento y autorización de la detención del equipo	Lubricantes, repuesto de la pieza o solicitud de compra, tintas penetrantes, maquina de ultrasonido.

Cuadro 3. (Continuación)

Descamación	Identificar el elemento rodante que esta siendo afectado por la descamacion, reemplazarlo	2 Personas en turno para correctivo, y personal de seguridad según sea el equipo a intervenir	Repuesto del rodamiento, lubricante, elementos de desmontaje, elementos de seguridad.
Daño en Jaula	Identificar la gravedad del daño sobre el motor, en caso de ser grave, reemplazar el motor	2 personas en turno para correctivo, y una persona representante del cliente para observacion	Repuesto del motor o solicitud de compra del motor, elementos de sujecion, lubricantes, elementos de alineacion del motor una vez este instalado.
Corrosion	Identificar la causa de la corrosion, ya sea por exceso de humedad en el ambiente o algun agente externo ajeno al proceso productivo de la maquina	2 personas para inspeccion de la falla, autorizacion de inspeccion del sitio.	un deshumidificador en caso de ser concentracion excesiva en el ambiente de agua, elementos de contencion en caso de ser un elemento corrosivo ajeno a la produccion de la maquina
Alto Consumo	Medir los voltajes y amperajes consumidos por el elemento, revisar el historico de mediciones del mismo equipo. Revisar los elementos rodantes y el estado de la conexión eléctrica suministrada	2 Personas para mantenimiento, formulacion del formato de mantenimiento para el historico	En caso de ser falla de la conexión eléctrica se emite el reporte a la seccion respectiva, remplazo de rodamientos en caso de ser consumo por frenado.
Picadura	Se debe aplicar la tinta penetrante sobre la superficie, se elimina el exceso de tinta, posteriormente a esto se aplica el revelador una vez identificado el diametro que marca en el revelador	Dependiendo del tamaño y peso de la pieza a reemplazar se requerira, las gruas de anclaje, y minimo 10 operarios en turno para el desmontaje y montaje de la pieza	Sellante, Soldadura, Cinta Foil.
Cortante	Identificar las causas del efecto cortante, puede ser exceso de carga o frenado de los componentes, verificar el estado fisico de los componentes, lubricar los componentes de no solucionar, se debe reemplazar la pieza	3 personas en turno para el mantenimiento y autorizacion de detencion del equipo	Lubricantes, repuesto de la limpieza o solicitud de compra, tintas penetrantes, maquina de ultrasonido

Fuente: elaboración propia

11. IMPACTO AMBIENTAL

11.1 FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DE PIEZAS

En a la fabricación de piezas es necesario tener en cuenta los materiales requeridos para lograr un proceso de mecanizado de piezas, proceso en el cual, el riesgo al ambiente es esta en todos aquellos procesos de mecanizado donde se utiliza lubricantes o fluidos que permitan el mecanizado de las piezas necesarias, sin que llegue a afectar otras áreas ambientales diferente a los espacios de trabajo donde se realizan las piezas.

En el proceso de ensamble e instalación será necesario disponer de equipos de soldadura los cuales generan diferentes tipos de daño ambientales, pero con un impacto poco significativo al ambiente, como son gases de efecto invernadero, ruidos y residuos industriales mínimos producidos por el ensamble del equipo, que a su vez tendrá un leve impacto en el área de trabajo dado que será necesario utilizar un espacio el cual se verá afectado de forma temporal por los equipos de instalación y posteriormente por la máquina trituradora y separadora.

Dado los objetivos que tiene el proyecto como es la reutilización de materiales poliméricos termoestables, genera un mayor impacto positivo al ambiente desde el momento de su uso que el impacto negativo que genera su fabricación e instalación.

11.2 PUESTA EN MARCA Y MANTENIMIENTOS

Para la puesta en marcha del equipo entran dos factores importantes de consumo que pueden llegar a generar un impacto negativo en el ambiente, estos factores son el sistema eléctrico que consume energía para el funcionamiento de los equipos mecánicos de la máquina trituradora y separadora, el que mayor impacto podría generar sería el sistema de separación en el cual es necesario el uso de agua para la separación de las partículas de aluminio y polisociunorato, Esta cantidad de agua será reutilizada por el equipo para no dar un impacto severo al ambiente con el uso del mismo, a su vez esta agua se utilizara en la compañía para el mantenimiento de los demás equipos de la empresa, los cuales la utilizan para una limpieza regular. Esto con el fin de tener un equipo que permita el constante uso de este con un tanque de reserva de agua.

Para el mantenimiento es de gran importancia el uso responsable de los elementos que lleguen a generar algún tipo de contaminación en el ambiente y área de trabajo. Dado que muchos de los elementos para el mantenimiento y lubricación del equipo

pueden llegar a ser altamente contaminantes si tienen contacto con el agua o cualquier elemento líquido que se pueda encontrar en el área de trabajo. Razón por la cual para el mantenimiento es necesario que este sea realizado por una persona especializada con una preparación y capacitación en mantenimiento de equipos y manejo de lubricantes.

Para el desarrollo del capítulo ambiental se decidió hacer una matriz de impacto ambiental que se muestra en la figura 137.

Figura 139 Matriz ambiental

IMPACTOS	componentes ambientales										componentes acciones del proyecto												
	Equipo de Inundación y Separación de Partes de Aluminio Fundido																						
	AIRE	AGUA	SUELOS	ELECTRICA	VISUAL	SONIDO	SCORE ECONOMICO		IMPACTOS	Σ													
Contaminación del aire	Gases de efecto invernadero	Aumento de la temperatura de los espacios de trabajo	Consumo de agua	Reserva de agua	Contaminación de suelos	Consumo energético	Estática	Contaminación visual	Daño Visual	Generación de ruido	Daño auditivo	Empleo	Desarrollo económico	Nuevos ingresos	-	+	-	+					
															5	3	5	8	6				
Fabricación de partes	Instalación de partes	Mecanizado de partes	Transporte de espartes	Corte de partes	Espacio de trabajo	Sellado	Soldadura	Partes mecánicas	Partes eléctricas	Consumo eléctrico	Separación de partículas	Reutilización de desechos poliméricos termoplásticos	Partículas de aluminio	Partículas de polioxiacetato	Reparos	Lubricantes	Manuales	Intervención de emergencia	5	3	7	11	6
																			7	3	3	5	3
Mantenimiento	Intervención de emergencia	Manuales	Lubricantes	Reparos	Partículas de polioxiacetato	Partículas de aluminio	Reutilización de desechos poliméricos termoplásticos	Separación de partículas	Consumo eléctrico	Partes eléctricas	Partes mecánicas	Soldadura	Sellado	Espacio de trabajo	Corte de partes	Transporte de espartes	Mecanizado de partes	Instalación de partes	3	2	4	5	4
																			0	3	0	0	2
Σ	43	73	91	100	4	6	4	2	3	2	54	47	49	79	91	100	4						

Para mejor entendimiento de la tabla se muestra en la figura 138 los componentes ambientales y en la figura 139 los componentes de acción del proyecto.

Figura 141 Componentes ambientales

componentes y acciones del proyecto	Equipo De Trituración Y Separación De Paneles De Aluminio Preaislado	
	componentes ambientales	
Contaminación del aire	AIRE	
Gases de efecto invernadero		
Aumento de la temperatura de los espacios de trabajo		
Consumo de agua	AGUA	
Reserva de agua		
Contaminación de suelos	SUELOS	
Consumo energético	ELECTRICA	
Estatica		
Contaminación visual	VISUAL	
Daño Visual		
Generación de ruido	SONORO	
Daño auditivo		
Empleo	SOCIOECONOMICO	
Desarrollo económico		
Nuevos ingresos		

Figura 140 Componentes y acciones del proyecto

Equipo De Trituración Y Separación De Paneles De Aluminio Preaislado		componentes ambientales
componentes y acciones del proyecto		
Fabricación de partes	Instalación de partes	
	Meacanzado de partes	
	Transporte de las partes	
	Corte de partes	
ensamble	Espacio de trabajo	
	Señalización	
	Soldadura	
	Partes mecánicas	
	Partes Eléctricas	
puesta en marcha	Consumo Eléctrico	
	Separación de partículas	
	Reutilización de desechos poliméricos termoestables	
	Partículas de aluminio	
	Partículas de Polisisiunorato	
Mantenimiento	Repuestos	
	Lubricantes	
	Manuales	
	Intervención de emergencia	

12. CAPITULO FINANCIERO

12.1 COSTES DE INGENIERÍA

Los constes de ingeniería se van a visualizar por los gatos generados en todo el proceso de diseño e investigación del equipo.

12.1.1 Costes de talento humano. Los costes de talento humano corresponden a aquellos costos en que incurre en el talento humano necesario para el diseño del equipo. El cual se calculó por el tiempo empleado por cada proyectista para el desarrollo del equipo donde el tiempo se definió en horas de trabajo realizado en el proyecto partiendo de la base de 21 horas trabajables a la semana según los 7 créditos de la materia trabajo de grado. El costo de cada una de las horas se calculó con base al escalafón de los proyectistas según el Manual de Referencia de Tarifas en Ingeniería los cuales se ubican en el escalafón 8 y devengan 4 SMLV y tienen un nivel de responsabilidad de 1.

Se especifica que el proyecto no hubo un orientador de tesis por lo tanto su rubro no existe.

Tabla 80. Valores finacieros 1.

	HH	VALO HH	Proyectistas #	total
proyectista	336	16,000	2	10,752,000

Fuente: elaboración propia

12.1.2 Costes de equipos y licencia. Para el cálculo de costes de equipos se calculó teniendo en cuenta el valor del equipo y la depreciación de este que se da a los 5 años, esto con el fin de calcular el valor de depreciación del equipo al mes y multiplicarlo por el tiempo de uso de este el cual fue de 5 meses.

Para el coste de la licencia se tuvo en cuenta que el uso de licencias de programas de diseño solo fue realizado en el objetivo 3 del proyecto el cual tuvo una duración de 20 días hábiles, razón por la cual solo se pagó un mes de la licencia requerida para el proyecto. La licencia solicitada fue el programa de diseño 3D Solid Edge de Siemens y tenía un valor de 78 USD mensuales.

Tabla 81. Valores financieros 2.

	Meses	Valor Mensual	Total
licencia solid edge	1	290,000	290,000
computador	5	60,000	300,000

Fuente: elaboración propia

12.1.3 Gastos Fungibles. Los gastos fungibles se calcularon únicamente con el costo de impresión del tomo del proyecto dado que el mismo se realizó con el uso de cómputo.

Tabla 82. Valores financieros 3.

	Hojas	Valor Hoja	Total
impresiones	150	700	105000

Fuente: elaboración propia

12.1.4 coste total egresos de Ingeniería. Para el cálculo de los egresos de ingeniería se hace la sumatoria de los totales anteriormente descritos y se les da un factor de imprevistos del 5%.

Tabla 83. Valores financieros 4.

Total egresos	11,447,000
Imprevistos	0.03
Coste Total Egreso Ingeniería	11,790,410

Fuente: elaboración propia

12.2 COSTES DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLE DEL EQUIPO

El coste de cada una de las partes fue entregado por los proveedores a los cuales se les solicitó cotización para la fabricación de las mimas y a su vez los equipos que se necesitaban para el funcionamiento del proyecto como son el motorreductor, la Bomba centrífuga y los rodillos motorizado, el precio se consiguió mediante distribuidores nacionales e internacionales.

Tabla 84. Costos de producción.

CANTIDAD	COMPONENTE	Precio	tamaño	precio total
1	TOLVA/SILO	50,000	plano	50,000
1	TAPA TOLVA LATERAL	30,000	plano	30,000
2	TAPA TOLVA TRITURACIÓN	5,000	plano	10,000
1	SUJETADOR TAPA/TOLVA	1,000	plano	1,000
2	SUJETADOR RODILLOS 1	10,000	plano	20,000
2	SUJETADOR RODILLOS 2	10,000	plano	20,000
24	RODILLOS	90,000	6m	180,000
4	RODILLOS MOTORIZADOS	700,000	pedido	2,800,000
1	TAPA TRASERA	30,000	plano	30,000
1	TAPA DELANTERA	30,000	plano	30,000
2	TAPAS LATERALES TRITURACIÓN	35,000	plano	70,000
1	SEPARADORES 1	200,000	plano	200,000
1	SEPARADORES 2	200,000	plano	200,000
1	CUCHILLAS FIJAS ETAPA 1	200,000	plano	200,000
1	CUCHILLAS FIJAS ETAPA 2	200,000	plano	200,000
27	CUCHILLAS MOVILES 1ER EJE	35,000	plano	945,000
50	CUCHILLAS MOVILES 2DO EJE	30,000	plano	1,500,000
1	EJE DE TRITURACIÓN 2	60,000	plano	60,000
1	EJE DE TRITURACIÓN	60,000	plano	60,000
4	RODAMIENTOS	20,000		80,000
1	MOTOR	1,000,000	pedido	1,000,000
2	SPROCKET	40,000	pedido	80,000
1	CADENA DE	20,000		20,000
1	CUBIERTA SPROCKET	100,000	plano	100,000
1	CANALIZADOR DE TRITURACIÓN	20,000	plano	20,000
1	CONO CAPTADOR	10,000	plano	10,000
1	TANQUE DE TAMIZ ALUMINIO	6,000	plano	6,000
1	TANQUE TAMIZ POLISOCIUNORATO	96,000	plano	96,000
1	CODOS 1/2" Y TEE	25,000		25,000
1	TUBERIA DESCARGA	30,000	pedido	30,000
1	TANQUE DE ALIMENTACIÓN	12,000	plano	12,000
1	BOMBA CENTRIFUGA	-	pedido	300,000
1	VALVULA DE CIERRE	80,000	pedido	80,000
1	Soldadura	200,000	pedido	200,000
Total Fabricacion de Partes				8,665,000
Montaje	Cantidad	Precio	Tamaño	Precio Total
Soldadura	1	100,000	pedido	100,000
Ensamble	1	80,000	pedido	80,000
Total Montaje				180,000
Total Fabricacion de Partes y Montaje del Equipo				8,845,000

Fuente: elaboración propia

12.3 COSTO TOTAL DE LA MAQUINA

Para el costo total del equipo se suman los costos de Ingeniería con los costos de fabricación y ensamble.

Tabla 85. Valores financieros 5.

Costos de Ingeniería	11,447,000
Costos de Fabricacion	8,845,000
Total Equipo	20,292,000

Fuente: elaboración propia

El costo final de un equipo para la separación y trituración de aluminio tiene un valor total del 20,292,000 \$.

12.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para llevar a cabo la evaluación financiera se procede a hacer el flujo de caja de la empresa en donde se especifica que en el periodo cero el costo de disposición es un egreso que la empresa lleva teniendo desde el uso de los paneles de aluminio Preaislado (PIR-ALU), a partir del periodo 1 con el uso del equipo ese costo de disposición se convierte en un ingreso, que es un dinero que entra a la empresa por la fabricación de ductos y no sale por la disposición de los residuos de la fabricación del mismo.

La compañía ITC aire SAS, se limitó a entregar el costo de disposición de los residuos por lo que los demás datos son de carácter confidencial. Por esta razón y por consejo de la compañía se decidió darle el título de ingresos al valor del costo de disposición de los materiales sobrantes dado que es una cantidad de dinero que va a ingresar a la compañía, pero no va a salir a partir del periodo en que se empieza la operación del equipo.

El flujo de caja tendrá 10 periodos que cada uno corresponde a 1 año, esto con el fin de unificar el flujo con base a la vida útil de un equipo según el Banco de la república.

Según información entregada por la compañía el costo de disposición final del material por proyecto tiene un valor promedio de 485000 \$ y su vez la compañía tiene anualmente un promedio de 8 proyectos, lo cual nos deja un costo de disposición final de 3,880,000 \$ anuales.

Para el costo de mantenimiento se le dio un valor de 600.000 \$ dada la baja exigencia que tiene el equipo es de 1 día al mes aproximadamente.

El costo de operación se calculó con base al tiempo en que el operario con un salario mínimo estaría en el equipo, siendo este de un día al mes.

Tabla 86. Valores financieros 6.

	Periodo (Años)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos											
Precio de disposición no percibida	-	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000	485,000
Unidades (Número de proyectos)	-	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
"Veritas"	-	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000
Total de Ingresos	-	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000	3,880,000
Egresos											
Inversión inicial	20,292,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disposición anual percibida	3,880,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mantenimiento	-	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000	600,000
Operación	-	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Total egresos	20,292,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000
Total al final del periodo	-	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000	3,080,000

12.5 CÁLCULO DE INDICADORES

12.5.1 VPN. Con el indicador del VPN podemos verificar la factibilidad del proyecto a lo largo del tiempo en que se desarrolló el flujo de caja y su fórmula es:

Ecuación 55. Valor presente neto.

$$VPN = -I + \frac{x_1}{(1-i)^1} + \frac{x_2}{(1-i)^2} + \dots + \frac{x_n}{(1-i)^n}$$

Donde el

VPN: es el Valor presente Neto

Xn: son los flujos por periodo

I: es la tasa de oportunidad

Dado que la empresa no tiene una tasa de referencia con base a este proyecto, pues no se cuenta con registros de un equipo que cumpla la función de triturar y separar residuos de paneles de aluminio preaislado, se decide tomar la TIO como la DTF a 360 días según el Banco de la República, donde la DTF es la tasa de depósitos a término fijo.

Figura 142. Descripción tasa.

Descripción tasa de interés	Tasa de interés - efectiva anual
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 90 días (DTF)	3,29%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 180 días (CDT180)	3,75%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 360 días (CDT360)	3,99%
Tasa de interés de las corporaciones financieras (TCC)	3,15%

BANCO DE LA REPÚBLICA. Tasas de captación semanales y mensuales [Sitio web]. Bogotá; [Consultado el 15 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/tasas-captacion-semanales-y-mensuales>

Reemplazando la ecuación de la VPN el resultado es:

VPN= 5,595,736\$

evidenciando que el proyecto es factible dado que genera un retorno de la inversión inicial siendo esta la utilidad del equipo al termino de los 10 años.

12.5.2 Tasa interna de retorno. Para definir la tasa interna de retorno se hace necesario igualarla a cero la VPN como se muestra en la ecuación 55, y seguido de esto se compara con la TIO para verificar que el proyecto sea rentable.

Ecuación 56 TIR.

$$0 = -I + \frac{x_1}{(1 - TIR)^1} + \frac{x_2}{(1 - TIR)^2} + \dots + \frac{x_n}{(1 - TIR)^n}$$

TIR = 8% > 3.99%.

Con estos datos se comprueba que la rentabilidad del proyecto es mayor (8%) a la esperada (3.99%) justificando que el proyecto es viable financieramente.

13. CONCLUSIONES

- Se concluye que económicamente, el implementar la trituradora y separadora de paneles de aluminio preaislado disminuye los egresos por disposición final del material a reciclar por un valor de \$3'880.000 anuales, los cuales se tomaron como ingresos para efectos de cálculo dado que el equipo se pagara a si mismo con este valor que se dejara de percibir como un egreso y a su vez genera un ingreso aun no establecido por la compañía, para el futuro del material ya trabajo por el equipo.
- Inicialmente los paneles de aluminio preaislado se separaban en dos partes (Aluminio y polisociunorato), El aluminio se fundía y se comercializa de nueva, sin embargo, la espuma de polisociunorato al ser el material contaminante no se puede reciclar, se deposita bajo tierra generando la contaminación de suelo. La operación de la máquina trituradora generaría un impacto ambiental positivo dado que ahora el polisociunorato se separa y se almacena para actividades de aislamiento térmico.
- La entiende que el proyecto es viable dado que tanto ambiental y económica mente el proyecto genera un impacto positivo y adicional a esto se abre un nuevo posible nicho de mercado al cual la compañía quiere entrar.

14. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un sistema para la generación de paneles de relleno que sirva como aislante de recintos cerrados para su confort térmico con el polisociunorato que entrega la máquina trituradora y separadora.
- Se recomienda implementar un sistema de separación que maneje un refinamiento de separación de partículas, ya que cabe la posibilidad que algunas mínimas partículas de aluminio continúen adheridas al polisociunorato, aumentando así sus posibles usos.
- Se recomienda implementar un sistema de automatización, utilizando sensores con la finalidad de tener control de consumo energético la máquina, como lo es el caso de quedarse sin material a triturar, esta se apagaría aumentando a su vez la autonomía de la máquina trituradora y se paradora.

BIBLIOGRAFÍA

ASHIDA, Kaneyoshi. Thermosetting Foams En: LANDROCK, Arthur. Handbook of Plastic Foams: types, properties, manufacture, and applications. Plastics Technical Evaluation Center (PLASTEC). New Jersey, 1995.

BEER. Ferdinand, JOHNSTON. Russell, DEWOLF. John, MAZUREK. David. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Quinta edición. México. 2010. 817p.

BELTRÁN Maribel, MARCILLA. Antonio. Tecnología de polímeros. España Universidad de Alicante. 2012. 276p.

BROOKS. Hadley, A review of state-of-the-art large-sized foam cutting rapid prototyping and manufacturing technologies, 2010, vol 16, issue 5, pp 318-327, ISSN 1355-2546.

CHILLÓN Moreno, J. M., Sánchez Montero. J., Pechar Román Sacristán, J. (2017). Determinación de la resistencia a esfuerzo cortante en ensayos de flexión a paneles sándwich PUR: Análisis de las dificultades y simulación por elementos finitos. Informes de la Construcción, 69(547): e208.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Guía metodológica para la elaboración de trabajos de grado y proyectos de investigación en pregrado. Bogotá D.C., 2011, p. 20 – 39.

GAITAN HERNÁNDEZ, Daniel, Diseño de un molino triturador para polímeros termoplásticos para la empresa industria recuplast s.a.s. Bogotá D.C, 2018, 8 p. Universidad libre. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

MOTT, Robert L.; CHACÓN PAZ, Miguel y CORDOVA JUST, Arturo. Diseño De Elementos De Máquinas. México: Prentice-Hall, 1995. ISBN 9688805750.

NORTON, Robert L.; CAGIGAS CASTELLO-TÁRREGA, Carlota de, las Mercedes y SÁNCHEZ GARCÍA, Gabriel. Diseño De Máquinas. México: Prentice Hall, 1999. ISBN 9701702573.

R.F. Hamade, Modelangelo_a_subtractive_5-axis_robotic arm for rapid prototyping, 2005, Vol 21, Issue 2, pp 133-144, ISSN 0736-5845.
SHIGLEY, Joseph Edward y PANIAGUA BOCANEGRA, Francisco. Diseño En Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill, 1978. ISBN 9686046097.