

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño de un transportador de cangilones para  
acarreo de trigo con una capacidad de 15 tn/h en  
Alicorp, Arequipa**

Diego Helar Jimenez Alvarado

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Roberto Belarmino Quispe Cabana  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 24 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

"DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR DE CANGILONES PARA ACARREO DE TRIGO CON UNA CAPACIDAD DE 15 TN/H EN ALICORP AREQUIPA"

**Autores:**

1. DIEGO HELAR JIMENEZ ALVARADO – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

**ASESOR: ING. ROBERTO BELARMINO QUISPE  
CABANA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, doy gracias a Dios por fortalecerme y darme esperanza en momentos difíciles, por mi salud y por la enseñanza de valores como la superación, la humildad y el sacrificio, transmitidos por mi familia.

Agradezco al Ing. Roberto Belarmino Quispe por su compromiso en el desarrollo de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

Agradezco a mis padres, Ricardo y Patricia, por su amor, enseñanzas y apoyo constante en mi formación profesional. A toda mi familia, por ser mi motivación para alcanzar mis sueños.

Expreso mi profundo reconocimiento a mis hermanos, Erika, Melissa, Olivia, Toni, y Wendy, por su constante apoyo, valiosas enseñanzas y deseos de superación, los cuales han sido fundamentales en mi vida diaria.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	xx
CAPÍTULO I .....	21
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	21
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	21
1.1.1 Problema General .....	25
1.1.2 Problemas Específicos .....	25
1.2 Objetivos.....	26
1.2.1 Objetivo General.....	26
1.2.2 Objetivos Específicos .....	26
1.3 Justificación de la investigación .....	26
1.3.1 Justificación teórica .....	26
1.3.2 Justificación práctica.....	27
1.3.3 Justificación metodológica .....	27
1.3.4 Limitaciones de la presente investigación .....	28
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	29
1.4.1 Hipótesis general .....	29
1.4.2 Hipótesis específica .....	29
1.4.3 Variable independiente .....	29

1.4.4	Variable dependiente .....	30
1.4.5	Operacionalización de variables .....	30
CAPÍTULO II .....		31
MARCO TEÓRICO.....		31
2.1	Antecedentes de la investigación.....	31
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	31
2.1.2	Antecedentes nacionales .....	33
2.2.	Bases teóricas .....	35
2.2.1.	Elevadores de cangilones.....	35
2.2.2.	Descripción de los componentes principales. ....	35
2.2.3.	Cabeza del elevador de cangilones. ....	36
2.2.4.	Selección de motor eléctrico para elevadores de cangilón. ....	37
2.2.5.	Polea motriz de elevador de cangilones.....	39
2.2.6.	Revestimiento de Poleas. ....	39
2.2.7.	Eje motriz de material SAE 1045. ....	40
2.2.8.	Banda transportadora. ....	41
2.2.9.	Fijaciones del cangilón a la banda. ....	41
2.2.10.	Mordaza para sujeción de banda transportadora.....	42
2.2.11.	Fijaciones de las bandas elevadoras.....	42
2.2.12.	Parámetros de diseño del Cangilón.....	43
2.2.13.	Selección de material del cangilón para acarreo trigo. ....	44
2.2.14.	Pierna de protección de banda. ....	46
2.2.15.	Bota y tensor mecánico.....	47
2.2.16.	Caja o envoltura del elevador de cangilones.....	47
2.2.17.	Elevadores de Cangilones por descarga centrifuga. ....	48
2.2.18.	Tipo de carga del elevador de los cangilones. ....	49
2.2.19.	Características y Parámetros de elevadores de cangilones. ....	50
2.2.20.	Características técnicas del elevador. ....	53
2.2.21.	Acero estructural para la protección de elevadores de cangilones.....	55

2.2.22. Selección de acople para el eje motriz del elevador de cangilones. ....	57
2.2.23. Rodamientos. ....	60
2.2.24. Tipos de soporte para rodamientos. ....	63
2.2.25. Tolva de almacenamiento. ....	64
2.2.26. Elementos finitos. ....	64
2.2.27. Método de elementos discretos. ....	65
2.2.28. Descripción del proceso de molienda de harina de trigo en ALICORP. ....	66
2.2.29. Descripción del proceso productivo. ....	70
2.2.30. Definición de conceptos básicos. ....	84
<b>CAPÍTULO III. ....</b>	<b>87</b>
<b>METODOLOGÍA. ....</b>	<b>87</b>
3.1. Enfoque, Tipo, Nivel y Diseño de la investigación. ....	87
3.1.1. Enfoque de la investigación. ....	87
3.1.2. Tipo de investigación. ....	89
3.1.3. Nivel de Investigación. ....	89
3.1.4. Diseño de investigación. ....	90
3.2 Métodos y Materiales. ....	91
3.2.1. Fases de la metodología. ....	92
3.2.2. Desarrollo de aplicación de método. ....	96
3.2.3. Estado de tecnología. ....	97
3.2.4. Lista de exigencias. ....	105
3.2.5. Determinación de la estructura de funciones. ....	109
3.2.6. Estructura funcional. ....	110
3.2.7. Estructura de funciones electro-mecánica. ....	111
3.2.8. Estructura de funciones de control de proceso. ....	112
3.2.9. Conceptos de solución. ....	113
3.2.10. Matriz morfológica. ....	113
3.2.11. Evaluación de concepto de soluciones. ....	115
3.2.12. Conceptos de solución óptima. ....	117

3.2.13. Cálculo y selección de componentes .....	120
3.2.14. Cálculo de la tolva de recepción de trigo.....	121
3.2.15. Diseño de elevador de cangilones.....	125
3.2.16. Selección del sistema a utilizar .....	125
3.2.17. Tipología de carga y cangilón.....	127
3.2.18. Coeficiente de llenado ( $\phi$ ).....	128
3.2.19. Selección del cangilón adecuado .....	129
3.2.20. Cálculo y diseño del cangilón HD-Max .....	129
3.2.21. Cálculo de paso entre cangilones ( <b>Pc</b> ).....	131
3.2.22. Determinación del ancho de la banda ( <b>Abanda</b> ) .....	133
3.2.23. Centro y perforación de cangilones .....	134
3.2.24. Cálculo de diámetro de la polea motriz .....	136
3.2.25. Cálculo de número total de cangilones ( <b>Nc</b> ).....	137
3.2.26. Cálculo de peso de material elevado <b>Pmaterial</b> .....	137
3.2.27. Cálculo de la velocidad angular de cabezal y bota .....	137
3.2.28. Tensión en la banda de transmisión.....	138
3.2.29. Cálculo teórico y diagrama de cuerpo libre del eje motriz .....	142
3.2.30. Cálculo del eje motriz con software inventor .....	145
3.2.31. Cálculo de las tensiones <b>T1 y T2</b> de la banda de transmisión.....	148
3.2.32. Cálculo de potencia de diseño y selección de motor eléctrico.....	152
3.2.33. Selección de motor reductor estándar .....	153
3.2.34. Elección de rodamientos .....	155
3.2.35. Selección de Soporte Pie SKF SY 509 M.....	158
3.2.36. Interacción de las partículas de trigo con Rocky-DEM.....	159
3.2.37. Importación y Aplicación de Materiales en Rocky-DEM .....	161
3.2.38. Angulo de Reposo del Trigo en Rocky-DEM - Secuencia .....	169
3.2.39. Entrada de Trigo en la Bota del Elevador de Cangilones con Rocky-DEM...	172
3.2.40. Evaluación Económica del Proyecto e Investigación. ....	173
3.2.41. Parámetros de Recuperación de Capital Invertido.....	176

CAPÍTULO IV .....	179
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	179
4.1. Presentación de Resultados.....	179
4.1.1 Resultado del Diseño del Elevador de Cangilones de 15 ton/h con Software Inventor.....	180
4.1.2 Análisis del Peso del Trigo sobre los Cangilones con Elementos Finitos en Software Inventor .....	184
4.1.3 Análisis de Sujeción de Cangilón a Banda Transportadora con Elementos Finitos en Software Inventor.....	187
4.1.4 Análisis del Eje Motriz con Elementos Finitos en Software Inventor .....	188
4.1.5 Análisis del Angulo de Reposo de Trigo con Rocky DEM .....	193
4.1.6 Análisis de la Interacción del Trigo en el Elevador de Cangilones con Rocky DEM .....	194
4.1.7 Análisis del Lenguaje de Programación en Tiempo Carga, Transporte y Descarga de Trigo.....	198
4.2 Discusión de Resultados .....	203
4.3 Aportes y Aplicaciones.....	204
CAPÍTULO V .....	205
CONCLUSIONES .....	205
RECOMENDACIONES.....	208
LISTA DE REFERENCIAS .....	209
ANEXOS .....	213

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cangilón SS o SUPER STRENGTH DURA-BUKET.....	23
Figura 2. Componentes de un elevador de cangilones.....	36
Figura 3. Cabeza del Elevador de cangilones .....	36
Figura 4. Motores Trifásicos Siemens 1LE0141 –IE2.....	37
Figura 5. Polea motriz.....	39
Figura 6. Revestimiento de la polea motriz. ....	39
Figura 7. Correas de PVC.....	41
Figura 8. Pernos de fijación del cangilón.....	41
Figura 9. Mordazas para fijación de banda.....	42
Figura 10. Fijaciones de las bandas, Superpuesta y yuxtapuesta.....	42
Figura 11. Fijaciones de las bandas, Unión en Ángulo y cangilón.....	43
Figura 12. Diseño de cangilones.....	43
Figura 13. Cangilón HD-MAX carga pesada.....	45
Figura 14. Piernas de protección para cangilones.....	46
Figura 15. Bota y Tensor mecánico.....	47
Figura 16. Envoltura del elevador.....	48
Figura 17. Cangilones montados en Banda.....	48
Figura 18. Cangilones por descarga centrifuga.....	49
Figura 19. Sistema de carga por dragado.....	49
Figura 20. Acople GEARFLEX.....	57
Figura 21. Diagrama de carga dinámica del rodamiento .....	62
Figura 22. Soportes de pie partido.....	63
Figura 23. Almacenamiento de granos de trigo.....	64
Figura 24. Método de elementos finitos.....	65
Figura 25. Método de elementos discretos.....	65
Figura 26. Flujo al detalle del proceso de molienda.....	67

Figura 27. Trituración del grano de trigo.....	68
Figura 28. Resultados de la trituration del grano de trigo. ....	68
Figura 29. Reducción del endospermo.....	69
Figura 30. Diagrama de flujos de sémolas, harinas y subproductos. ....	70
Figura 31. ESCAPELATOR BUHLER.....	71
Figura 32. Elevador de transporte en operación. ....	72
Figura 33. Filtro de mangas BUHLER .....	72
Figura 34. Flujo de equilibrio BUHLER. ....	73
Figura 35. Balanza de trigo sucio BUHLER.....	74
Figura 36. Zaranda BUHLER.....	75
Figura 37. Interior de la zaranda de la marca BUHLER.....	75
Figura 38. Interior de la mesa DENSIMETRICA de la marca ALAPALA.....	76
Figura 39. Exterior de la mesa DENSIMETRICA de la marca ALAPALA.....	76
Figura 40. Trigo defectuoso separado por la SORTEX.....	77
Figura 41. Esquema de componentes de la maquina SORTEX.....	77
Figura 42. Vista externa de los equipos MYF-C y MOZ-F BUHLER.....	78
Figura 43. Perspectiva exterior e interior del rociador intensivo BUHLER.....	79
Figura 44. Proceso constante de trituration, desgaste y compresión.....	80
Figura 45. Clasificación de cargas mediante un tamiz.....	81
Figura 46. Seis salidas en un tamizador.....	81
Figura 47. Esquema de seis salidas en un tamizador.....	82
Figura 48. Clasificación de la sémola de granulometría gruesa a fina.....	83
Figura 49. Esquema de distribución de un TWINROTOSTAR BUHLER.....	84
Figura 50. Caja negra “Black box”.....	94
Figura 51. Configuración de diseño de acuerdo con la normativa VDI 2221.....	96
Figura 52. Cangilón SS o SUPER STRENGTH DURA-BUKET.....	97
Figura 53. Elevador Descarga Centrifuga M 42 .....	99
Figura 54. Elevador Descarga Centrifuga Martin.....	101

Figura 55. Elevador de cangilones Tipo 1 .....	102
Figura 56. Elevador de cangilones SCAFCO .....	103
Figura 57. Caja negra.....	110
Figura 58. Caja blanca .....	111
Figura 59. Estructura de funciones electro-mecánico .....	112
Figura 60. Estructura de funciones de control de proceso .....	112
Figura 61. Matriz Morfológica .....	115
Figura 62. Elevador de carga vertical “PKL LIFT”.....	116
Figura 63. Descarga centrífuga de alta velocidad para granos, serie 500 Martin. ....	116
Figura 64. Elevador de tijera Motorizado de JLG 430 LRT .....	117
Figura 65. Evaluación técnico-económica.....	120
Figura 66. Recepción de trigo.....	121
Figura 67. Dimensión de la tolva de recepción.....	123
Figura 68. Geometría y volumen de tolva con software Inventor.....	125
Figura 69. Elevadores centrífugos para granos de alta velocidad.....	126
Figura 70. Cangilón HD Max .....	127
Figura 71. Capacidad volumétrica del cangilón HD MAX con software inventor.....	130
Figura 72. Paso entre cangilones HD-MAX con software inventor .....	131
Figura 73. Espaciamiento vertical entre cangilones.....	132
Figura 74. Ancho de la banda con software inventor .....	133
Figura 75. Centro y perforación de cangilón estilo HD-MAX .....	134
Figura 76. Tornillos para elevadores .....	136
Figura 77. Distribución de cangilones en el ancho de banda.....	136
Figura 78. Tensión de la banda.....	138
Figura 79. Dimensiones de polea.....	139
Figura 80. Verificación de peso de la polea motriz con software inventor.....	139
Figura 81. Masa de faja transportadora con software inventor.....	140
Figura 82. Verificación de la masa del cangilón HD-MAX con software inventor.....	141

Figura 83. Verificación del trigo cargado al 80% con software inventor .....	141
Figura 84. Diagrama de cuerpo libre del eje motriz .....	142
Figura 85. Peso y área de eje con software inventor.....	145
Figura 86. Momento flector máximo con software inventor .....	146
Figura 87. Momento corte con software inventor.....	147
Figura 88. Ángulo de flexión de eje motriz en software inventor. ....	147
Figura 89. Tensión de plegado eje motriz en software inventor. ....	148
Figura 90. Mordaza MAXI-SPLICE CI.....	152
Figura 91. Rodamiento YAR 209-112-2F .....	157
Figura 92. Soportes de pie para rodamientos de inserción .....	158
Figura 93. Traslape de trigo de rigidez de carga y descarga. ....	159
Figura 94. Esquema de modelo lineal con traslape tangencial de trigo. ....	160
Figura 95. Distribución de carga en la zona de contacto. ....	160
Figura 96. Diagrama de superposición basado en el tamaño de partícula .....	161
Figura 97. Interfaz en Rocky-DEM. ....	162
Figura 98. Configuración de gravedad con Rocky-DEM. ....	163
Figura 99. Configuración de momentos de fuerza con Rocky-DEM.....	163
Figura 100. Configuración de modulo con Rocky-DEM.....	164
Figura 101. Entorno completo del elevador de cangilones con Rocky-DEM.....	164
Figura 102. Vista 3D de la bota del elevador con Rocky-DEM. ....	165
Figura 103. Vista 3D de la cabeza del elevador con Rocky-DEM. ....	165
Figura 104. Entrada de alimentación de trigo en el elevador con Rocky-DEM. ....	166
Figura 105. Movimientos de traslación y rotación con Rocky-DEM. ....	166
Figura 106. Aplicación del material A36 hacia la cabeza del elevador con Rocky-DEM.....	167
Figura 107. Aplicación del material A36 hacia las piernas del elevador con Rocky-DEM. .	167
Figura 108. Aplicación del material A36 hacia la bota del elevador con Rocky-DEM.....	167
Figura 109. Aplicación del material nylon hacia el cangilón HD-MAX con Rocky-DEM...	168
Figura 110. Configuración de Material Wizard con Rocky-DEM.....	169

Figura 111. Generación y ajuste de partículas de trigo con Rocky-DEM.....	170
Figura 112. Configuración de la densidad aparente con Rocky-DEM. ....	170
Figura 113. Factor de fricción crítico con Rocky-DEM. ....	171
Figura 114. Primer modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM.....	171
Figura 115. Segundo modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM.....	172
Figura 116. Tercer modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM.....	172
Figura 117. Creación de entrada de partícula de trigo con Rocky-DEM.....	173
Figura 118. Configuración del tiempo utilizando el Solver con Rocky-DEM.....	173
Figura 119. Proyección de inflación 2023. ....	174
Figura 120. Diagrama de flujo. ....	176
Figura 121. Elevador de cangilones doble fila.....	181
Figura 122. Diseño de cabeza del elevador.....	183
Figura 123. Diseño de las piernas del elevador .....	183
Figura 124. Diseño de la bota del elevador.....	184
Figura 125. Capacidad de cada cangilón con software inventor.....	185
Figura 126. Configuración de mallado con software inventor del elevador de cangilones ...	186
Figura 127. Tensión máxima del elevador de cangilones .....	187
Figura 128. Desplazamiento máximo elevador de cangilones.....	187
Figura 129. Tensión máxima de unión banda y cangilón .....	188
Figura 130. Tensión máxima de perforación de unión banda y cangilón .....	188
Figura 131. Configuración del peso total que soporta el eje motriz .....	189
Figura 132. Configuración de mallado con software inventor del eje motriz.....	189
Figura 133. Aplicación de carga del eje motriz con software inventor .....	190
Figura 134. Mallado con software inventor del eje motriz.....	190
Figura 135. Tensión máxima con mallado del eje motriz con software inventor .....	191
Figura 136. Tensión máxima del eje motriz con elementos finitos. ....	191
Figura 137. Desplazamiento máximo del eje motriz con elementos finitos. ....	192
Figura 138. Factor de seguridad del eje motriz con elementos finitos.....	192

Figura 139. Ángulo de reposo no compactado de trigo. ....	193
Figura 140. Definición de ángulo de reposo. ....	194
Figura 141. Entrada de grano de trigo con Rocky DEM .....	194
Figura 142. Carga por dragado con cangilón HD-MAX con Rocky DEM.....	195
Figura 143. Velocidad de traslación de los granos de trigo con Rocky DEM.....	195
Figura 144. Sistema de tiempo de los granos de trigo con Rocky DEM. ....	196
Figura 145. Material serie 3 con Rocky DEM. ....	196
Figura 146. Doble fila de cangilones cargados con Rocky DEM. ....	197
Figura 147. Descarga limpia del elevador de cangilones con Rocky DEM.....	197
Figura 148. Velocidad de descarga del grano trigo con Rocky DEM. ....	198
Figura 149. Entorno de programación y simulación con Rocky DEM.....	199
Figura 150. Definición de parámetros con Rocky DEM. ....	199
Figura 151. Importación de geometría con Rocky DEM.....	199
Figura 152. Geometría del elevador de cangilones con Rocky DEM.....	200
Figura 153. Movimiento de traslación de subida de cangilones cargados.....	201
Figura 154. Movimiento de rotación del elevador de cangilones doble fila.....	201
Figura 155. Movimiento de traslación de bajada de cangilones vacíos.....	202
Figura 156. Periodo completo del elevador de cangilones doble fila.....	203

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable.....	30
Tabla 2. Valores eléctricos, motores serie 1LE0141 - IE2 de 2 polos .....	38
Tabla 3. Composición química del acero 1045.....	40
Tabla 4. Límite de fluencia y resistencia del acero 1045.....	40
Tabla 5. Selección de dimensión del cangilón HD-Max. Carga pesada. ....	45
Tabla 6. Valores de “H <sub>o</sub> ” según sistema de carga.....	51
Tabla 7. Valores de K según condiciones de tambor motriz.....	52
Tabla 8. Valores de coeficiente de fricción.....	52
Tabla 9. Densidades de materiales a granel-TAPCO INC.....	53
Tabla 10. Características mecánicas de placas resistentes a la abrasión.....	56
Tabla 11. Dimensiones estándar de planchas resistentes a la abrasión.....	56
Tabla 12. Tipología de los elevadores .....	57
Tabla 13. Diferentes tamaños de acoplamiento .....	58
Tabla 14. Factor de arranque (F.a).....	58
Tabla 15. Factor de seguridad según el accionamiento de la maquinaria (F.S).....	59
Tabla 16. Formulario de lista exigencias .....	93
Tabla 17. Matriz morfológica .....	95
Tabla 18. Elevador SC42 .....	100
Tabla 19. Características técnicas de elevador de cangilones SCAFCO SB8 .....	104
Tabla 20. Lista de exigencias.....	105
Tabla 21. Evaluación de proyectos según valor técnico. ....	118
Tabla 22. Evaluación de proyectos según valor económico. ....	119
Tabla 23. Resumen de Dimensiones de la Tolva de Descarga .....	124
Tabla 24. Material y series de elevadores recomendados. ....	126
Tabla 25. Dimensión del cangilón elevador HD-Max .....	128
Tabla 26. Coeficiente de llenado. ....	129
Tabla 27. Distancias entre perforaciones del cangilón HD-Max 6×5. ....	134
Tabla 28. Tornillos de 1/4" de diámetro para elevadores por cangilones .....	135
Tabla 29. Diámetros de barras redondas lisas Acero SAE 1045.....	144
Tabla 30. Bandas de transmisión series ESBELT.....	150
Tabla 31. Motores trifásicos cerrados .....	153
Tabla 32. Motor-reductores PARAMAX 9000 con motor de 4 polos.....	154
Tabla 33. Rodamiento Y SKF E2 con prisioneros.....	157
Tabla 34. Dimensiones de soporte pie SKF SY 509 M .....	158

Tabla 35. Peso y densidad de componentes del elevador de cangilones .....	168
Tabla 36. Costos de materiales .....	175
Tabla 37. Estado de resultados FNE.....	175
Tabla 38. Estado de resultados del VAN.....	176
Tabla 39. Indicadores del PRI.....	178
Tabla 40. Parámetros del elevador de cangilones .....	182
Tabla 41. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	182
Tabla 42. Propiedades mecánicas del acero 1045.....	193

## RESUMEN

Este trabajo aborda el proceso de cálculo y simulación para optimizar la capacidad de trabajo de un diseño de transportador de cangilones. Las mejoras implementadas tienen como objetivo mejorar el rendimiento deseado, satisfaciendo así la demanda del mercado actual, que busca aumentar su producción de trigo.

El principal objetivo es detallar el proceso del diseño de un elevador de cangilones que pueda tener un rendimiento formidable en la empresa ALICORP. Se emplea la metodología tecnológica de diseño con el método aplicado a la solución VDI 2221, generalizando el procedimiento en el proceso de diseño en Ingeniería Mecánica, para poder validar los cálculos teóricos con la simulación de elementos finitos.

El diseño del elevador de cangilones ha demostrado eficiencia al operar con una capacidad de 15 toneladas por hora, alcanzando una altura de 10 metros a una velocidad de 61 RPM.

Se realizó el modelado del elevador de cangilones utilizando el software Inventor Professional 2023. Se empleó el análisis estático del programa para evaluar fuerzas, tensiones y deformaciones, aplicando elementos finitos para analizar el comportamiento de los componentes.

Utilizando el software Rocky DEM 2023 y su método de elementos discretos, se analizó el comportamiento del trigo dentro del elevador de cangilones para validar el cálculo teórico de todos sus componentes. Se demostró que el diseño es óptimo y eficaz al operar a su capacidad máxima, ya que no se observaron retornos ni descargas tempranas de trigo.

**Palabras clave:** Elevador de cangilones, Molienda, Inventor, Rocky DEM, Trigo.

## ABSTRACT

This work addresses the calculation and simulation process to optimize the work capacity of a bucket conveyor design. The improvements implemented aim to improve the desired yield, thus satisfying the demand of the current market, which seeks to increase its wheat production.

The main objective is to detail the design process of a bucket elevator that can have a formidable performance in the ALICORP company. The technological design methodology is used with the method applied to the VDI 2221 solution, generalizing the procedure in the design process in Mechanical Engineering, in order to validate the theoretical calculations with the simulation of finite elements.

The bucket elevator design has demonstrated efficiency by operating with a capacity of 15 tons per hour, reaching a height of 10 meters at a speed of 61 RPM.

Modeling of the bucket elevator was carried out using Inventor Professional 2023 software. Static analysis of the program was used to evaluate forces, stresses and deformations, applying finite elements to analyze the behavior of the components.

Using the Rocky DEM 2023 software and its discrete element method, the behavior of the wheat inside the bucket elevator was analyzed to validate the theoretical calculation of all its components. The design was shown to be optimal and effective when operating at maximum capacity, as no returns or early discharges of wheat were observed.

**Keywords:** Bucket Elevator, Milling, Inventor, Rocky Dem, Wheat.

## INTRODUCCIÓN

Anteriormente, la falta de plantas procesadoras con elevadores de cangilones para el trigo revelaba deficiencias en la calidad y eficiencia del proceso. La planta de molienda solo disponía de una rueda hidráulica para elevar el grano, pero en muchas ocasiones, estos sistemas operaban a alta velocidad, lo que resultaba en una considerable pérdida de rendimiento y en impactos de moderados a severos.

El manejo de materiales implica la transferencia periódica de materias primas, trabajo en curso, productos terminados y suministros entre distintos puntos. Es esencial asegurar que cada actividad de proceso reciba los materiales y suministros necesarios en el momento y lugar adecuados.

Es necesario tener conocimiento de las propiedades del material que se transporta tanto para seleccionar el vehículo transportador más adecuado como para analizar los efectos prácticos del material sobre el transportador. Esto implica abordar cómo el material afecta tanto la eficiencia de transporte y en el desgaste del equipo. Algunas de las características son:

- Peso específico, tamaño y forma del material.
- Ángulos de reposo.
- Fluidez del material.
- Temperatura de trabajo en el sistema, y otras propiedades complementarias del material.

Este trabajo presenta el diseño de un elevador de cangilones para el transporte de trigo en la planta de ALICORP. El elevador tiene una capacidad de 15 toneladas por hora y consta de las siguientes partes:

En el Capítulo I se presenta la caracterización y formulación del problema, los objetivos, la justificación, la metodología y las limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II se aborda el marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos.

En el capítulo III se detalla el método y el alcance de la investigación

En el capítulo IV se aborda el análisis y diseño de la solución, incluyendo la identificación de requerimientos, cálculos y selección de componentes.

En el capítulo V se exponen las pruebas y resultados obtenidos.

En la sección final se establecen las conclusiones, recomendaciones y anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

COAGUILA (16). Actualmente, la empresa agroindustrial ALICORP desea incrementar su capacidad de molienda de 12 a 15 toneladas por hora. Este aumento en la capacidad de molienda, buscado a través de los cambios efectuados durante los últimos años, tiene como objetivo aumentar la producción para satisfacer la demanda del mercado.

A lo largo del tiempo, se ha observado una ligera discrepancia entre la producción y la demanda de trigo, debido a un decrecimiento mundial en la producción y un aumento más lento en la demanda, influenciado por factores externos.

En el Perú, departamentos como Arequipa, Cajamarca, La Libertad y Ancash lideran la producción de trigo, representando el 59% de la producción nacional. A pesar de esto, la oferta interna no logra satisfacer la demanda, lo que resulta en que aproximadamente el 90% del trigo consumido en el país sea importado. (16)

La región de Arequipa es conocida por su alto consumo de trigo, siendo uno de los cereales básicos más consumidos en la zona.

La producción es fundamental para proporcionar bienes o servicios que satisfagan las necesidades de los consumidores, generando empleo y promoviendo el desarrollo económico.

Uno de los principales problemas que afecta a la producción es el nivel de industrialización, evidenciando un proceso de desindustrialización en los últimos años en nuestro país. Esto se refleja en el agotamiento tecnológico, la inestabilidad económica y la desaceleración del crecimiento. Ante esta necesidad, surge la iniciativa de ampliar la visión de los líderes empresariales de un molino existente, el cual, debido a su larga trayectoria y la calidad de sus productos, ha incrementado el consumo entre sus clientes. (16)

El objetivo principal de nuestro diseño de transportador de cangilones es aumentar la producción de harina de trigo y alcanzar altos estándares de calidad, con la meta de expandir nuestro mercado a nivel internacional en el futuro.

La planta cuenta con algunos equipos que fueron instalados para una capacidad de molienda significativa en los últimos 10 años en nuestro país. Ahora, al haber un aumento en la producción, ha generado la necesidad de ampliar dicha capacidad. Este requerimiento obliga a los directivos de la empresa el rediseño de la planta instalada existente para estar acorde a la capacidad de la molienda actual de ALICORP. (16)

En el área de elaboración de harina de trigo, los elevadores de cangilones han presentado fallas recurrentes, tales como:

- Pérdida de alineamiento de los ejes.
- Vibración mecánica del sistema motriz.
- Desgaste prematuro de componentes clave.
- Desgaste por “Fatiga” en los ejes y sistemas de transmisión.
- Pérdida de capacidad de transporte.
- Atascos frecuentes de material.

Las fallas mencionadas deben ser abordadas con el nuevo diseño propuesto del transportador de cangilones, el cual tiene una capacidad de 15 toneladas por hora. Estas averías afectan la eficiencia de los mantenimientos correctivos, impactando la producción y la economía de la empresa. Por lo tanto, se requiere un rediseño de los componentes del elevador, tales como:

- a) Modelamiento óptimo de la estructura del elevador.
- b) Sistema de transmisión.
- c) Selección eficiente de cangilones.
- d) Motor reductor.
- e) Chumaceras y rodamientos.
- f) Ejes motriz y conducido que soporte las cargas de trabajo continuo.
- g) Velocidad angular y translación de banda de cangilones eficientes.
- h) Carga y descarga limpia de cangilones.

INFORME OPERATIVO MENSUAL (1). La planta molino Arequipa, ubicada en la región de Arequipa, es uno de los molinos más grandes del sur del país. Lidera la producción con una capacidad de molienda de 12 toneladas por hora y registra ventas reales de 8000 toneladas al mes. (1)

El elevador de cangilones actualmente en funcionamiento en ALICORP utiliza un sistema por dragado, caracterizado por ofrecer poca resistencia a la extracción y trabajar con materiales pulverulentos de granulación fina. Este tipo de elevador cuenta con descarga centrífuga, siendo el más utilizado y aplicando altas velocidades de desplazamiento.

El nuevo diseño del elevador de cangilones asegurará un funcionamiento óptimo para una capacidad de molienda de 15 toneladas por hora, cumpliendo con los objetivos establecidos. El desarrollo se llevará a cabo mediante estudios detallados de cada componente, utilizando cálculos y observaciones de otros diseños, así como datos obtenidos de manuales y catálogos.

En la Figura 1 se presenta el cangilón “SUPER STRENGTH DURA-BUKET”, fabricado originalmente con material plástico. Este cangilón se destaca por su diseño versátil, superando a otros modelos para el manejo de granos, y su rendimiento es adecuado en una amplia gama de velocidades y aplicaciones operativas. (2)



*Figura 1.* Cangilón SS o SUPER STRENGTH DURA-BUKET. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.13. (2)

El grano de trigo, con su alto valor nutritivo, ocupa una posición destacada como materia prima en los mercados nacionales e internacionales. Su importancia como alimento principal lo convierte en un elemento clave en la seguridad alimentaria global y en la economía agrícola.

En el proceso de molienda de trigo en la planta de ALICORP, es fundamental respetar la secuencia del trabajo, especialmente los tiempos de acondicionamiento. Esto se debe a que la humedad que absorbe el grano durante este periodo facilita un mayor índice de extracción y previene el deterioro del grano en los equipos de molienda de ALICORP. (16)

La elaboración de harina de trigo debe cumplir rigurosamente con los altos estándares de calidad establecidos por la empresa. El grano de trigo atraviesa varias etapas desde su recepción hasta el almacenamiento como producto terminado, durante las cuales está expuesto a diversos riesgos biológicos, físicos y químicos. Es esencial gestionar estos riesgos a lo largo de la cadena de operaciones para garantizar la calidad del producto final.

Es crucial considerar que al procesar un producto declarado como no conforme, se debe abordar con cuidado y minuciosidad su reproceso. Aunque todas las harinas tienen como base el grano de trigo, durante el proceso son fortificadas con aditivos distintos para cada tipo. Por lo tanto, al combinar harinas diferentes, pueden surgir variaciones en su rendimiento o desarrollo durante su uso en el mercado. Es fundamental asegurar la coherencia y consistencia en la calidad del producto final durante el proceso de reprocesamiento.

El proceso para la obtención de harina de trigo generalmente se divide en las siguientes etapas. (16)

1. La etapa de recepción y almacenamiento del grano de trigo implica el muestreo representativo de cada carga para determinar su calidad y características. Luego, el grano se almacena en silos metálicos antes de iniciar el proceso de molienda.
2. En la etapa de limpieza y acondicionamiento del trigo, se busca eliminar todas las impurezas presentes en el grano. Este proceso comienza con el pesaje del trigo en la salida de los silos, lo que permite comparar el peso inicial con el final y calcular así las impurezas presentes en el trigo. Este enfoque garantiza que el grano esté libre de contaminantes antes de continuar con el proceso de molienda, asegurando la calidad y pureza del producto final.

3. En la etapa de molienda, el principal objetivo es obtener la mayor cantidad posible de harina de trigo, la cual se extrae del endospermo, la parte central del grano. Este proceso implica trituraciones y tamizados repetidos, aprovechando la composición diferencial del endospermo. Mediante cilindros estriados, los granos son estirados y cizallados, mientras que la compresión y reducción de tamaño se lleva a cabo con cilindros lisos. El cernido posterior a cada paso por los cilindros garantiza una clasificación precisa del producto final según el tamaño de partículas, asegurando así su calidad y uniformidad.
4. Los productos o subproductos derivados del proceso de molienda del trigo incluyen la harina, utilizada en la producción de pan, galletas y pastas, la sémola, una harina gruesa con trozos de salvado, y el salvado o afrecho, útil como alimento para animales o en la producción de harina integral.

El transporte en la producción de harina en la planta tiene un impacto significativo, respaldado por áreas como desarrollo técnico, que busca constantemente mejorar los productos para satisfacer las necesidades del cliente. La asesoría técnica canaliza las sugerencias del mercado para mejorar los rendimientos en productos como panadería y repostería. Además, el área de calidad garantiza los más altos estándares en procesos y productos, respaldados por la doble certificación de ISO 9001 e ISO 14001. (16)

### **1.1.1 Problema General**

¿Cómo diseñar un transportador de cangilones que tenga una capacidad de 15 toneladas/hora y una altura 10 metros para el acarreo de trigo, en la empresa ALICORP Molino Arequipa?

### **1.1.2 Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo se realizarán los procesos de almacenaje, manipulación y aprovisionamiento de granos de trigo en la empresa ALICOPR Molino Arequipa?
- b) ¿Cómo se seleccionarán los componentes del sistema de elevación por cangilones para el proceso de acarreo de trigo?
- c) ¿Qué tipo de soporte o punto de apoyo se usará para el desplazamiento y movimiento de un transportador de cangilones?
- d) ¿Cómo se describirán los periodos de carga, transporte y descarga de trigo en el sistema de elevación?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un transportador de cangilones con capacidad de 15 toneladas/hora y una altura de elevación de 10 metros para acarreo de trigo, en la empresa ALICORP Molino Arequipa y simular el sistema de elevación con software Rocky DEM.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar los procesos de almacenaje, manipulación y aprovisionamiento de granos de trigo en el recinto industrial, ALICORP Molino Arequipa.
- b) Seleccionar los componentes del transportador de cangilones que soporte las fuerzas de trabajo como: el tensor mecánico de banda con cangilones, la transmisión de potencia, la cabeza de elevador de cangilones y accesorios requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de elevación para el acarreo de trigo.
- c) Tipificar el uso soportes o punto de apoyo para el desplazamiento y movimiento de un elevador de cangilones.
- d) Describir los periodos de carga, transporte y descarga de trigo en el sistema de elevación mediante el lenguaje de programación, de ANSYS 18.2 y el módulo ESS Rocky DEM.

## **1.3 Justificación de la investigación**

### **1.3.1 Justificación teórica**

En esta investigación nos proponemos estudiar el desarrollo de los conceptos teóricos de “análisis y diseño del elevador de cangilones” que fundamentan la teoría del acarreo o manejo de materiales a granel verticalmente.

Si bien ya existen estudios de esta investigación, sus cálculos son abstractos y no se ha evidenciado ningún “modelado y simulación de materiales con algún software.”

Nuestro estudio llenara el vacío de esos cálculos al realizar “diseño mecánico detallado” y seleccionando componentes eficientes, validando su precisión mediante software de diseño y simulación.

El aporte a implementar es un análisis cuantitativo de un sistema de transporte vertical de cangilones que implica la evaluación detallada de su capacidad,

velocidad, consumo de energía, desgaste y seguridad. Este análisis se complementa con el uso del software Rocky DEM, que permite simular el comportamiento de las partículas de trigo en el sistema. Al combinar el análisis cuantitativo con las simulaciones de Rocky DEM, se obtiene una comprensión precisa del rendimiento del sistema, facilitando la toma de decisiones para optimizar su eficiencia y fiabilidad.

### **1.3.2 Justificación práctica**

Este estudio de investigación busca incrementar la capacidad de transporte por cangilones de 12 a 15 toneladas/hora, lo que a su vez permitirá desarrollar estrategias específicas para mejorar significativamente la actividad productiva y así, tener un impacto en la comunidad residente en la ciudad de Arequipa, cuyo emplazamiento industrial es ALICORP molino Arequipa que mejorará y se incrementará.

### **1.3.3 Justificación metodológica**

La justificación metodológica es esencial para garantizar la validez, confiabilidad y relevancia de un estudio, especialmente cuando se introducen nuevos instrumentos o enfoques metodológicos. Esto ayuda a establecer la credibilidad y el rigor del estudio ante la comunidad académica y científica.

La norma VDI 2221 se centra en proporcionar una metodología sistemática para el diseño de sistemas mecánicos y productos técnicos. Esta norma establece una serie de etapas básicas que guían el proceso de diseño desde la comprensión inicial del problema hasta la implementación y la evaluación del producto final, siendo muy útil para la mejora o rediseño de estos. (44)

#### **a) Capítulo I: Introducción**

- Introduce el tema de investigación y su relevancia.
- Presenta los objetivos específicos del estudio.
- Describe la metodología general que se utilizará para llevar a cabo la investigación.

#### **b) Capítulo II: Marco teórico**

- Contextualiza el tema del elevador de cangilones, su funcionamiento y su importancia en la industria.
- Revisa investigaciones previas relacionadas con el funcionamiento de elevadores de cangilones.

- Explora conceptos relevantes sobre el trigo y los materiales utilizados en los elementos que tienen contacto con el elevador.
- c) Capitulo III: Metodología VDI 2221
- Explica en detalle la metodología VDI 2221 y su aplicabilidad al diseño y cálculo del elevador de cangilones.
  - Describe cómo se implementará la metodología en el estudio, incluyendo los pasos específicos que se seguirán.
- d) Capitulo IV: Resultados y Discusión
- Presenta los resultados obtenidos del funcionamiento del elevador de cangilones y el comportamiento del trigo dentro del mismo.
  - Discute los hallazgos en relación con los objetivos del estudio y la literatura revisada.
  - Ofrece conclusiones basadas en los resultados y recomendaciones para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas.

#### **1.3.4 Limitaciones de la presente investigación**

Las limitaciones para llevar a cabo este proyecto de investigación son principalmente de naturaleza financiera y de aceptación por parte de los directivos de la empresa agroindustrial ALICORP molino Arequipa.

Asignaciones presupuestarias: El presupuesto disponible puede ser insuficiente para cubrir los costos asociados con la adquisición de materiales resistentes a la corrosión y otros equipos necesarios para el proyecto de investigación.

Costos de materiales específicos: Los materiales resistentes a la corrosión pueden ser costosos, lo que puede representar una carga adicional para el presupuesto del proyecto.

Resistencia por parte de los directivos: Es posible que algunos directivos de la empresa no estén dispuestos a asumir este tipo de proyectos debido a preocupaciones sobre la viabilidad económica a corto plazo, a pesar de los beneficios potenciales a largo plazo.

Inclusión en proyectos actuales: Puede ser difícil integrar el proyecto de investigación en los proyectos actuales de la empresa, especialmente si no se considera una prioridad o no se alinea con los objetivos estratégicos a corto plazo.

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis general**

Se plantea que el diseño e implementación de un transportador de cangilones con una capacidad de 15 toneladas por hora en ALICORP Arequipa para el transporte de trigo contribuirá significativamente a la optimización del proceso logístico, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo los costos y aumentando la capacidad de respuesta en la cadena de suministro de granos en la región.

### **1.4.2 Hipótesis específica**

- Se espera que el diseño de un transportador de cangilones con una disposición óptima de los cangilones y una velocidad de transporte adecuada mejore la eficiencia del proceso de carga y descarga de trigo en comparación con los métodos de transporte manual.
- Se plantea que la implementación del transportador de cangilones reducirá los costos asociados con el transporte de trigo, incluidos los costos laborales y de mantenimiento, debido a su mayor eficiencia y menor necesidad de intervención humana.
- Se espera que el diseño del transportador de cangilones aumente la productividad del proceso de transporte de trigo al proporcionar una capacidad de transporte constante y confiable, lo que minimiza los tiempos de inactividad y optimiza el flujo de producción en la planta de ALICORP Arequipa.

### **1.4.3 Variable independiente**

La variable independiente en este estudio es el diseño del transportador de cangilones. Se evaluarán diferentes configuraciones y características del diseño para determinar su impacto en la eficiencia, costos y productividad del transporte de trigo en ALICORP Arequipa.

- Material de cangilones
- Sistema de accionamiento
- Sistema de control
- Diseño de estructura
- Mantenimiento y limpieza

#### 1.4.4 Variable dependiente

La variable dependiente es el rendimiento del acarreo de trigo en la planta de ALICORP. Se evaluarán indicadores clave como la velocidad de transporte, la eficiencia en la carga y descarga, los tiempos de inactividad y cualquier pérdida de material durante el proceso. Estos aspectos del rendimiento serán analizados para determinar cómo son influenciados por las características del diseño del transportador de cangilones.

- Velocidad de transporte
- Eficiencia en la carga y descarga
- Perdida de material
- Uniformidad de flujo de material Definición

#### 1.4.5 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variable.

Variable	Definición	Dimension	Indicador
Independiente	Diseño de transportador de cangilones	Características físicas y funcionales del transportador de cangilones	Cangilón HD-MAX de Nylon
			Sistema electro-mecánico para accionamiento de polea motriz y dirección de cangilones
			Banda transportadora de PVC para fijación de cangilones
			Facilidad de acceso de puertas intermedias para mantenimiento y limpieza
Dependiente	Rendimiento del acarreo de trigo	Eficiencia operativa del acarreo de trigo	Transporte de trigo de 15 toneladas /hora
			Eficiencia en la carga por dragado
			Descarga limpia de trigo por fuerza centrifuga
			Tiempo óptimo de los cangilones en dar un ciclo entero
			Velocidad angular del giro de la poleas eficiente
			Velocidad lineal de traslación desde la polea conducida hasta la polea motriz eficiente

Nota: Elaboración propio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En nuestro diseño supondremos que en la ciudad de Arequipa se va a ampliar una planta elevadora, encargada de transportar granos de trigo como parte del proceso de convertir el grano en harina de trigo. Dicha planta será construida en la zona industrial de AICORP molino Arequipa, en la Región Arequipa.

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

SANTANA (3). Granma Cuba, en su investigación titulada “Análisis estructural de un elevador de cangilones sometido a fuerzas de vientos huracanados con ángulo de incidencia variable”, de la Universidad de Granma (UDG), se centra en analizar la estructura de un elevador de cangilones expuesto a fuerzas de vientos similares a los de un huracán categoría 5.

Se emplea el método de los elementos finitos para evaluar el estado tensional según el criterio de Von Mises. Se determina que el ángulo de incidencia del viento de  $60^\circ$  es crítico, excediendo el límite de fluencia del material. Se observa un desplazamiento moderado de la estructura bajo las cargas. Se formula un modelo matemático que describe la influencia del ángulo de incidencia del viento en las tensiones de la estructura.

El estudio implica mejoras meticulosamente calculadas, aplicando los conocimientos adquiridos durante la trayectoria académica y el máster en ingeniería industrial. Se detalla el funcionamiento y los componentes del elevador de cangilones, así como el método utilizado para realizar los cálculos y obtener los resultados. La discusión de los resultados permite evaluar las modificaciones realizadas en el equipo inicial. (3)

ORTIZ (4). Cataluña, España, para obtener el grado académico de Máster en Ingeniería Industrial, en su investigación titulada "Optimización de un elevador de cangilones", realizada en la Universidad de Lérida, Escuela Politécnica Superior. Este trabajo final del Máster en Ingeniería Industrial tiene como objetivo mejorar el rendimiento y la seguridad del equipo. A través de una metodología de cálculo rigurosa, se analizaron y evaluaron diversas soluciones para implementar mejoras en el equipo existente.

Los resultados obtenidos fueron discutidos exhaustivamente, identificando oportunidades para futuras investigaciones y proporcionando una evaluación económica de las mejoras propuestas. Este trabajo representa un paso significativo hacia la eficiencia y seguridad en la operación de elevadores de cangilones en la industria. (4)

ALARCON (5). Quito, Ecuador. En su investigación titulada "Diseño y Simulación de un Sistema de Elevación de Cangilón para Áridos con Capacidad de 0.5m<sup>3</sup>", mediante el mecanismo del polipasto, para la empresa Hormibloque ubicada en la provincia de Pichincha, Cantón.

Se centra en el diseño y simulación de un sistema de elevación de cangilones para áridos con una capacidad de 0.5m<sup>3</sup>, utilizando el mecanismo del polipasto. El objetivo principal es cumplir con las normas y requerimientos de ingeniería para satisfacer las necesidades de la empresa Hormibloque, ubicada en la provincia de Pichincha.

La metodología empleada incluye el uso del software Solidworks para el análisis y simulación del movimiento, validando así los resultados obtenidos en los cálculos de diseño. Este trabajo, desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana de Quito, representa un paso importante hacia la implementación de un sistema práctico y eficiente para el manejo de áridos en la industria. (5)

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

ZEA (6). Arequipa, Perú. En su investigación titulada "Propuesta de un Sistema de Transporte Helicoidal para Uva Tipo Móvil con una Capacidad de 1 Tonelada/hora", realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica.

Se enfoca en la propuesta de un sistema de transporte helicoidal para uva tipo móvil con una capacidad de 1 Tonelada/hora. Esta propuesta surge como una solución a los desafíos presentes en la cosecha y destilación del pisco en la sociedad. El estudio incluye la selección de componentes para el transportador helicoidal, como un reductor de tornillo sin fin y corona, así como el diseño estructural necesario para soportar estos componentes.

Se realizó un análisis de la producción de uva en las áreas circundantes y se evaluaron diferentes opciones de transportadores, así como el sistema de destilación de pisco. Además, se llevó a cabo un experimento tribológico para determinar la fuerza de fricción entre el acero inoxidable y la uva. El análisis estructural se realizó utilizando el programa SAP 2000 para simular las fuerzas a las que estará expuesto el equipo. (6)

YAMUNAKE (7). Trujillo, Perú. En su investigación titulada "Algoritmo de Diseño para un Transportador de Cangilones por Métodos Computacionales", realizada en la Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica.

En el presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de un algoritmo de diseño para un transportador de cangilones utilizando métodos computacionales. Este trabajo implica el diseño del transportador a través de un lenguaje de programación en un software comercial. Se sigue una metodología de diseño que comienza con las necesidades del cliente y evalúa diferentes opciones de diseño, incorporando el diseño paramétrico mediante herramientas computacionales.

Los resultados demuestran la utilidad de esta metodología junto con los medios computacionales para el diseño mecánico de cualquier tipo de transportador de material. Además, se generaron planos de fabricación para la máquina diseñada como resultado adicional del estudio. (7)

JUAREZ (8). Arequipa, Perú. En la investigación "Diseño de Sistema para Transporte de Carga de 3 Toneladas en Planta de Alimentos Gloria S.A. y Análisis de Resultados por Elementos Finitos".

La investigación liderada por Juárez en Arequipa, Perú, se enfoca en el diseño de un sistema para el transporte de carga de 3 toneladas en la planta de alimentos Gloria S.A., junto con el análisis de resultados mediante elementos finitos.

El objetivo es optimizar el manejo de la materia prima buttermilk en la planta. Se consideran las condiciones reales de la infraestructura y los requerimientos del cliente. La propuesta busca mejorar la eficiencia y seguridad del transporte, permitiendo que el personal realice tareas de mayor valor agregado y reduciendo su exposición a riesgos físicos. Además, se espera mejorar los tiempos de producción en la planta. (8)

## **2.2.Bases teóricas**

### **2.2.1. Elevadores de cangilones.**

Un sistema de transporte vertical o diagonal, conocido como elevador de cangilones, se utiliza principalmente en la industria agrícola para mover materiales a granel como trigo. Consiste en una cadena motora o una cinta que impulsa cucharas que están fijadas a ella. Los cangilones pueden ser de acero, aluminio, nylon, polietileno o plástico y están diseñados para recoger y soltar la carga en puntos específicos durante el recorrido. Este sistema funciona bien para transportar grandes cantidades de material verticalmente. (12)

Nuestro elevador de cangilones tendrá una altura de 10 metros y una capacidad de 15 toneladas por hora. Estará compuesto por 2 filas de cangilones, con un total de 172 cangilones. La estructura general estará fabricada con material ASTM A36 y constará de tres secciones de 3 metros para facilitar su fabricación, las cuales serán unidas con tornillos.

### **2.2.2. Descripción de los componentes principales.**

Los elementos esenciales que permiten el funcionamiento principal de un elevador vertical de cangilones son:

En la figura 2 se muestran los componentes principales. (13)

- 1) Bota o zona de acarreo de entrada de material.
- 2) Ensamble de bota.
- 3) Entrada o acceso de trigo.
- 4) Doble pierna inferior de protección de banda con cangilones.
- 5) Doble pierna media de protección de banda con cangilones.
- 6) Cangilones.
- 7) Banda de PVC.
- 8) Boca o tolva de descarga.
- 9) Polea de accionamiento motriz (vulcanizada).
- 10) Cabeza de elevador de cangilones (zona de descarga).

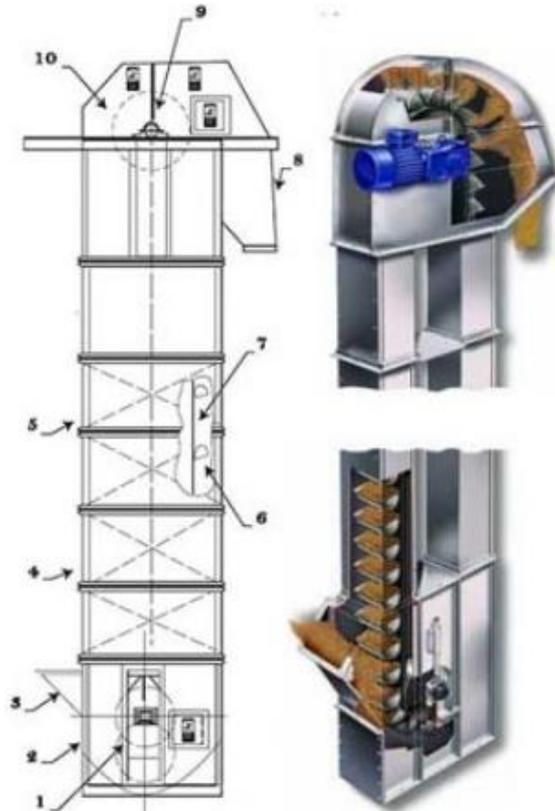


Figura 2. Componentes de un elevador de cangilones. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones”, por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### 2.2.3. Cabeza del elevador de cangilones.

La sección del cabezal, diseñada y construida para soportar el trabajo continuo del elevador, se muestra en la Figura 3.

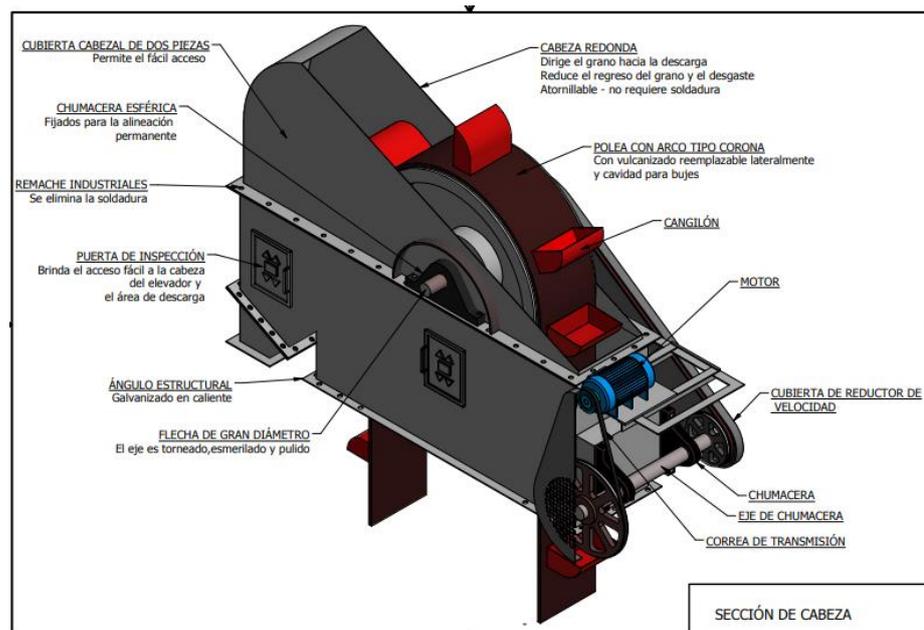


Figura 3. Cabeza del Elevador de cangilones. Diseño propio.

Unidad de accionamiento: En la parte superior del elevador de cangilones se encuentra la unidad de accionamiento, que es el componente principal. El motor y el reductor están conectados a través de un acople elástico o directamente al eje de la polea motriz. La energía necesaria para mover los cangilones a lo largo del circuito de transporte vertical se proporciona a través de este componente.

Tambor de accionamiento: Este elemento transmite el movimiento a la cadena o correa del elevador de cangilones. La mayoría de las veces está hecha de fundición o chapado de acero. Se recomienda cubrirlo con caucho para protegerlo del polvo del sistema.

El sistema de freno en un elevador de cangilones está conectado al eje de la polea motriz de accionamiento. Su objetivo es permitir el movimiento libre en el sentido de elevación. Pero cuando se detiene con los cangilones cargados, el freno evita que los cangilones retrocedan, lo que evita que el material se descargue en el fondo de la bota. Este mecanismo es fundamental para garantizar un funcionamiento seguro del elevador y evitar pérdidas de material.

#### 2.2.4. Selección de motor eléctrico para elevadores de cangilón.

El motor está compuesto por características y materiales seleccionados para garantizar un funcionamiento óptimo, confiabilidad, eficiencia y durabilidad. Esto incluye aislamiento superior, bobinado de cobre de alta calidad, cojinetes antifricción de alta capacidad y un rotor balanceado dinámicamente.

Al seleccionar un motor Siemens, obtendremos el respaldo necesario para elegir el accionamiento adecuado para la tarea que se necesita realizar.

La figura 4 muestra el motor trifásico de serie 1LE0141-IE2 siemens. (18)

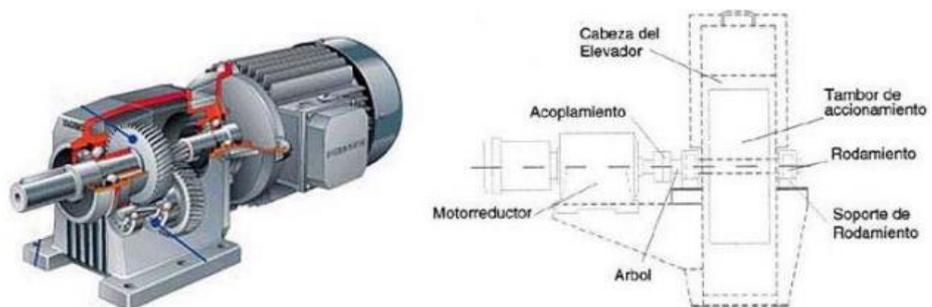


Figura 4. Motores Trifásicos Siemens 1LE0141-IE2. Tomada de “Motores eléctricos”, por SIMOTICS. 2019. (18)

Los valores y características de los motores trifásicos jaula de ardilla Siemens (tabla 2).

- Tipo: Totalmente cerrados con ventilación exterior.
- Montaje: Horizontal (F1)
- Aislamiento: Clase F.
- Diseño: NEMA B según norma MG-1.
- Temperatura ambiente: 33°C a una altitud de 2300 msnm.
- Temperatura ambiente: 40°C a una altitud de 1000 msnm.
- Motores a prueba de explosión para atmósferas de división 1.
- Clasificación de peligro: Clase 1, Grupo D - Clase 2, Grupos F&G.
- Factor de servicio:
  - 1.15 Motores RGZE y RGZESD, 1.25 Motores RGZE y RGZESD
- Armazones 143T a 256T en 2 y 4 polos.

Tabla 2. Valores eléctricos, motores serie 1LE0141 - IE2 de 2 polos

POTENCIA		REFERENCIA DEMOTOR	TAMAÑO CONST.	SPEED	EFICIENCIA 100%	FACTOR DE POTENC.
KW	HP			RPM	%	
<b>DATOS ELECTRICOS MOTORES SERIE 1LE0141 - IE2 - 2 POLOS - 3600 RPM</b>						
0.75	1	1LE0141-ODA26-4AA4	80M	3450	75.5	0.81
1.1	1.5	1LE0141-ODA36-4AA4	80M	3440	82.5	0.83
1.5	2	1LE0141-ODA86-4AA4	80M	3450	84.0	0.83
2.2	3	1LE0141-ODA46-4AA4	90L	3500	85.5	0.87
7.5	10	1LE0141-ICA16-4AA4	132S	3525	89.5	0.88
11	15	1LE0141-ICA16-4AA4	132S	3535	90.2	0.88
15	20	1LE0141-1DA36-4AA4	160M	3535	90.2	0.84
22	30	1LE0141-1DA86-4AA4	160L	3530	91.0	0.88
30	40	1LE0141-2AA36-4AA4	200L	3558	91.7	0.89
37	50	1LE0141-2AA56-4AA4	200L	3556	92.4	0.89
110	150	1LE0141-2DA83-3AA4	280M	3578	94.5	0.88
150	200	1LE0141-3AA23-3AA4	315M	3578	95.0	0.91
185	250	1LE0141-3AA63-3AA4	315L	3582	95.4	0.93

*Nota.*: Valores eléctricos, Motores serie 1LE0141 - IE2 Siemens. Tomada de “Características Generales de los Motores Eléctricos” (p. 9), por “SIEMENS ingenuity for life”, 2019, <https://assets.new.siemens.com>.(18)

### 2.2.5. Polea motriz de elevador de cangilones.

En un elevador de cangilones tipo correa, la polea motriz transmite el movimiento a la banda de cangilones, lo que permite el transporte vertical del material a granel hacia la salida en la parte superior del elevador. Esta polea conduce y estabiliza la banda o correa. La polea motriz se muestra en la Figura 5. (13)



*Figura 5.* Polea motriz. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones” por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### 2.2.6. Revestimiento de Poleas.

Su revestimiento reemplazable facilita el mantenimiento de las poleas motrices en terreno. La vulcanización en caliente bajo presión garantiza una adherencia ideal entre la goma y la plancha base.

La figura 6, se observa las tiras de caucho son reemplazables a medida que se desgastan.



*Figura 6.* Revestimiento de la polea motriz. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones” por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### 2.2.7. Eje motriz de material SAE 1045.

Aunque se fabrica de manera diferente, el acero SAE 1045 laminado en frío mantiene las mismas propiedades. Se pasa por rodillos a temperatura ambiente en lugar de laminarse en caliente. Esto resulta en un acero con una superficie más suave y una mayor precisión dimensional.

El acero 1045 laminado en frío se utiliza para crear ejes, engranajes, poleas y otras piezas de maquinaria que requieren una combinación excelente de resistencia y tenacidad.

El acero SAE 1045 laminado en frío se utiliza en una amplia gama de aplicaciones industriales que requieren una buena resistencia mecánica, facilidad de mecanizado y la capacidad de ser templado y revenido según sea necesario. El análisis químico de la colada se muestra en la tabla Nro. 3.

Tabla 3. Composición química del acero 1045.

COMPOSICIÓN QUIMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

*Nota:* Composición química del acero 1045. Tomada de Bandas cangilones y accesorios por MAXI-LIFT INC, 2010, p.17. (2)

En la Tabla Nro. 4, se presentan los valores de resistencia, límite elástico y alargamiento para el acero SAE 1045.

Tabla 4. Límite de fluencia y resistencia del acero 1045.

Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción (Pascales)	655000000	655	620
Punto de fluencia (Pascales)	413000000	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza BRINELL (3000 kg.)	190	190	180

*Nota:* Límite de elasticidad del acero 1045. Tomada de Bandas cangilones y accesorios por MAXI-LIFT INC, 2010, p.17. (2)

### 2.2.8. Banda transportadora.

En un elevador de cangilones, la banda transportadora es esencial para transportar los cangilones cargados de material desde la base hasta la parte superior, donde se descarga el material. Es un componente crucial que permite el movimiento vertical del material.

La elección de la faja transportadora es crucial para calcular la tensión y dimensionarla en función de su resistencia. Esto se hace para que la faja pueda soportar el arrancamiento de los cangilones y disipar la energía estática que siempre está presente en los sistemas de elevación.

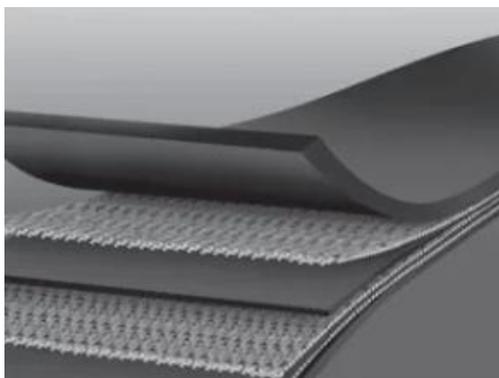


Figura 7. Correas de PVC. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.10. (2)

### 2.2.9. Fijaciones del cangilón a la banda.

Los cangilones se conectan a la banda a través de tornillos especiales con una cabeza plana y amplia. El diámetro del tornillo debe coincidir con el diámetro del agujero de la banda. La cabeza del tornillo se aloja en los cangilones gracias a una porción embutida. Esto evita que los tornillos se desajusten y que el tambor de accionamiento pierda su adherencia. Los componentes de los tornillos se muestran en la figura 8.

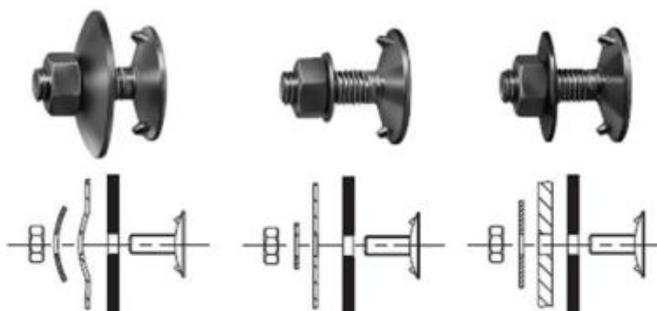


Figura 8. Pernos de fijación del cangilón. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### 2.2.10. Mordaza para sujeción de banda transportadora.

La mordaza está fabricada en acero al carbono galvanizado y está diseñada para bandas transportadoras.

Las dos piezas que sujetan la banda mediante pernos galvanizados de alta resistencia y tuercas de seguridad se muestran en la figura 9.

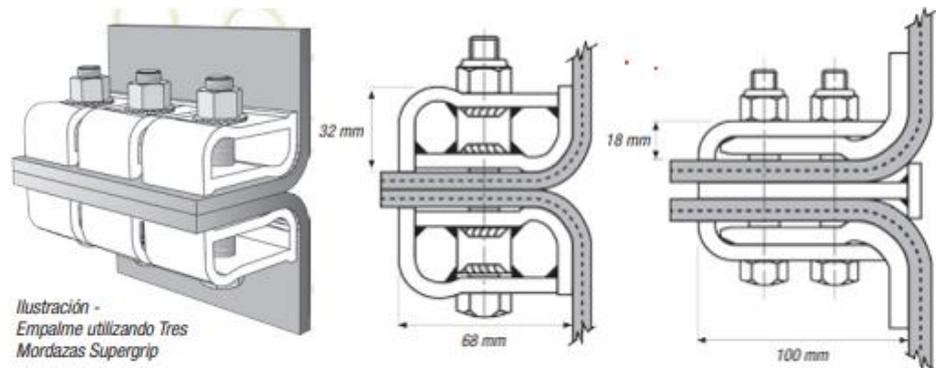


Figura 9. Mordazas para fijación de banda. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.17. (2)

### 2.2.11. Fijaciones de las bandas elevadoras.

Es posible realizar diversas formas de fijación de bandas. En bandas con bajas tensiones de servicio, se utiliza la unión superpuesta.

Para bandas que experimentan tensiones más altas y requieren una unión más resistente, la unión yuxtapuesta es la mejor opción.

La Figura 10 muestra cómo se unen las bandas utilizando los modelos superpuesto y yuxtapuesto.

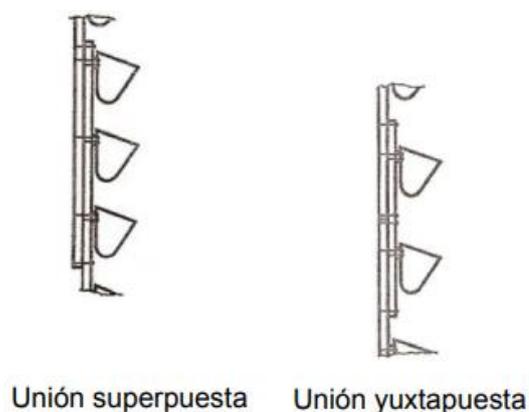


Figura 10. Fijaciones de las bandas, Superpuesta y yuxtapuesta. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

Es una unión muy práctica en cuanto al ángulo, porque el diseño del ángulo puede variar en dimensiones según la norma que se esté utilizando.

En el caso del cangilón, el mismo tornillo que sujeta el cangilón conecta los extremos de la banda.

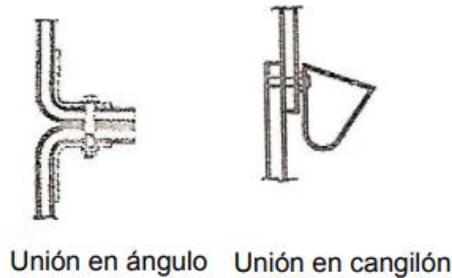


Figura 11. Fijaciones de las bandas, Unión en Ángulo y cangilón. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### 2.2.12. Parámetros de diseño del Cangilón.

Los parámetros para el diseño del cangilón constan de tres partes esenciales y son: el ángulo de espalda de cangilón, ángulo de apertura del cangilón y la altura de labios delanteros del cangilón.

La velocidad, paso y diámetro de la polea no forma parte del cangilón, pero son determinantes en su diseño.

Tiene un ángulo de descarga de 45 grados y puede estar más cerca de la correa o faja, lo que proporciona una descarga centrífuga superior, facilitando tanto el almacenamiento como la descarga.

La descarga del cangilón está determinada por la fuerza centrífuga, la fuerza de gravedad y el diseño del propio cangilón.

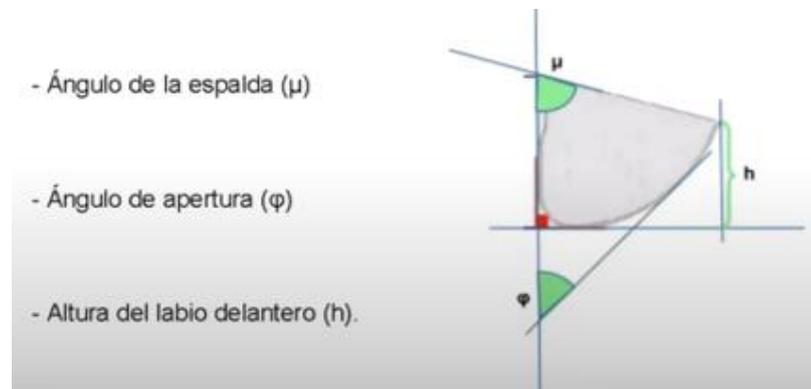


Figura 12. Diseño de cangilones. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### **2.2.13. Selección de material del cangilón para acarreo trigo.**

Comenzar el proceso de selección implica entender más sobre el producto con el que se trabajará. En este caso, el trigo, debido a sus características, es crucial para la elección de los cangilones. Los materiales más comunes para los cangilones son el polietileno (HDPE), el nylon y el uretano.

El tamaño del cangilón y sus características para transportar granos de trigo se selecciona de acuerdo a la tabla 5. La densidad del trigo es 720-770 kg/m<sup>3</sup>. El elevador será de descarga centrifuga y el material más adecuado para acarreo trigo, cuyo flujo granular es muy ligero. (2)

El cangilón HD-Max será de nylon, diseñado específicamente para superar las demandas de rendimiento del cangilón estándar. Este cangilón cuenta con paredes más gruesas y un labio delantero reforzado para aumentar su durabilidad y reducir el riesgo de roturas.

Los cangilones HD-Max puede ser muy beneficioso en términos de prolongar la vida útil y reducir la necesidad de reemplazos, y la especificación del espacio estándar proporciona una guía para una instalación adecuada que puede contribuir a un funcionamiento más eficiente.

La utilización del cangilón HD-Max se incluyen el transporte de granos, fertilizantes, gránulos, maíz, trigo, frijoles de soya y otros productos agrícolas.

En la figura 13 se muestra el cangilón HD-Max, caracterizado por su excelente durabilidad y grosor. (2)

#### 1) Características y ventajas del cangilón HD-Max:

- Labio delantero más pesado para excavar y pared gruesa.
- No produce chispas es anticorrosivo.
- Vida útil del cangilón prolongado.
- Aumenta la capacidad del elevador.
- Tiene una descarga más limpia.
- Minimiza el mantenimiento del elevador.
- Reduce el tiempo de inactividad.



Figura 13. Cangilón HD-MAX carga pesada. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

Tabla 5. Selección de dimensión del cangilón HD-Max. Carga pesada.

TAMAÑO DEL CANGILON , METROS				
Dimension	Longitudes	Proyección.	Prof.	Espesor de Pared
0.0762 X 0.0508	0.08255	0.05873	0.05715	0.0043
0.1016 X 0.0762	0.111125	0.08255	0.0762	0.0043
0.127 X 0.1016	0.13335	0.1143	0.1016	0.0076
0.1524 X 0.1016	0.15875	0.1143	0.1016	0.0076
0.1778 X 0.1016	0.18415	0.1143	0.1016	0.0076
0.1524 X 0.127	0.161925	0.1143	0.127	0.0076
0.1778 X 0.127	0.187325	0.1143	0.127	0.0076
0.2032 X 0.127	0.212725	0.1143	0.127	0.0076
0.2286 X 0.127	0.238125	0.1143	0.127	0.0076
0.254 X 0.127	0.26035	0.1143	0.127	0.0076
0.2794 X 0.127	0.28575	0.1143	0.127	0.0076
0.3048 X 0.127	0.31115	0.1143	0.127	0.0076
0.2032 X 0.1524	0.212725	0.16827	0.1524	0.0076
0.2286 X 0.1524	0.238125	0.16827	0.1524	0.0076
0.254 X 0.1524	0.263525	0.16827	0.1524	0.0076
0.2794 X 0.1524	0.288925	0.16827	0.1524	0.0076
0.3048 X 0.1524	0.314325	0.16827	0.1524	0.0076
0.254 X 0.1778	0.339725	0.16827	0.1524	0.0076
0.2794 X 0.1778	0.2667	0.19685	0.18097	0.00838
0.3048 X 0.1778	0.2921	0.19685	0.18097	0.00838

Nota. Tamaño, perforaciones, peso y capacidad de cangilón HD Max para uso agrícola. Tomado de “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado (p. 11), por “MAXI-LIFT INC: Bandas Cangilones y Accesorios”, 2016-17, disponible en [www.maxilift.com](http://www.maxilift.com). (2)

Método de selección del cangilón por capacidad volumétrica.

$$C_{\text{cangilón}} = \frac{Q \times P_c}{3.6 \times \varphi \times V_{\text{banda}} \times \rho} \quad (1.1)$$

Donde:

$C_{\text{cangilón}}$  : capacidad de cangilón, en  $\text{m}^3$ .

$Q$  : capacidad de transporte, en kilogramo/hora.

$P_c$  : paso de cangilón, en metros.

$\varphi$  : coeficiente de llenado, en valor adimensional.

$V_{\text{banda}}$  : velocidad de banda recomendada, en  $\text{m/s}$ .

$\rho$  : densidad de grano de trigo, en kilogramo/ metro  $^3$ .

#### 2.2.14. Pierna de protección de banda.

Este elemento, también conocido como "pantalón", lleva tanto la correa como los cangilones vacíos mientras se mueve descendente. La sección de inspección permite el acceso completo a la parte delantera y trasera de la correa, lo que facilita la realización de inspecciones y mantenimiento. (13)

En la figura 14 se muestra la doble pierna del elevador de cangilones.

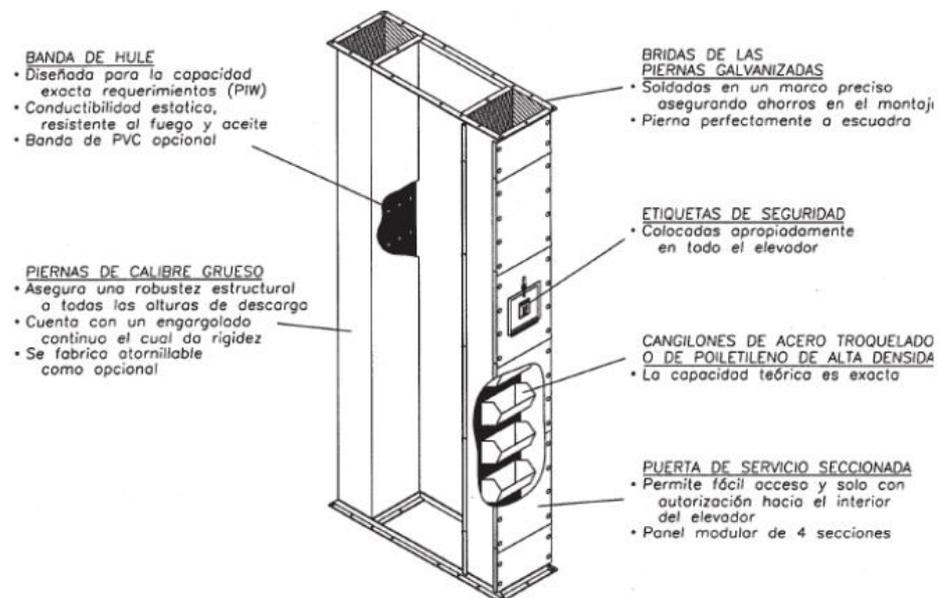


Figura 14. Piernas de protección para cangilones. Tomada de "Partes y componentes de elevadores de cangilones" por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### **2.2.15. Bota y tensor mecánico.**

La bota del elevador recibe y dirige el material de ingreso hacia los cangilones. Proporciona una base sólida, cuyo calibre se determina según el modelo y la aplicación específica, y está construida con acero y fijada con tornillos.

Su entrada lateral asegura que el material ingrese a los cangilones por encima del eje de la polea conducida, lo que contribuye a un correcto flujo de material uniforme y eficiente en el sistema.

En nuestro diseño, aseguramos que el flujo de trigo sea continuo y sin obstrucciones, y que se pueda acceder fácilmente para limpieza y mantenimiento.

En la figura 15 se muestra la bota del elevador. (13)

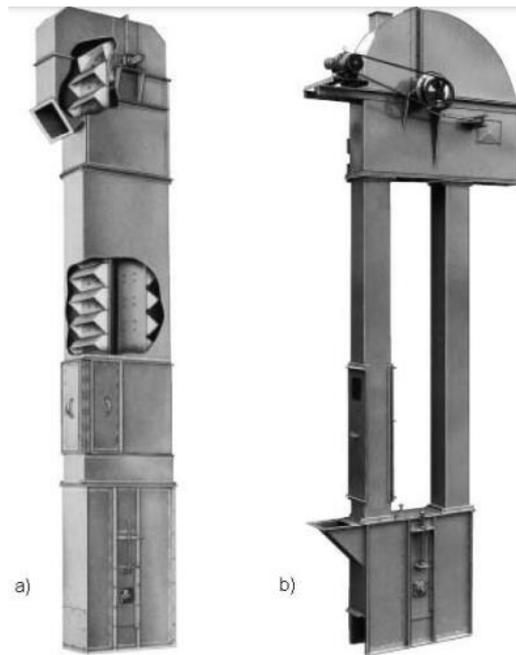


*Figura 15.* Bota y Tensor mecánico. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones” por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### **2.2.16. Caja o envoltura del elevador de cangilones.**

La envoltura o carcasa del elevador de cangilones está compuesta por perfiles metálicos intermedios para proteger y proporcionar estabilidad a los elementos que conforman el sistema de elevación, como los cangilones, la faja, la polea y el tambor de accionamiento.

La carcasa del elevador se muestra en la Figura 16.



*Figura 16.* Envoltura del elevador. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### **2.2.17. Elevadores de Cangilones por descarga centrífuga.**

El elevador centrífugo puede mover rápidamente una gran cantidad de material. Puede trabajar con una variedad de materiales que fluyen libremente, desde no abrasivos hasta abrasivos, como arena, grava y otros materiales a granel. El proceso en nuestro elevador de cangilones centrífugo comienza excavando trigo en la entrada del producto, también conocida como "bota". Debido a su alto trabajo continuo, esta acción requiere cangilones duraderos. Para impulsar eficientemente el material hacia arriba, el elevador genera fuerza centrífuga en la polea superior de la cabeza. (13)



*Figura 17.* Cangilones montados en Banda. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones” por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

Los cangilones están dispuestos en una o varias filas según su diseño cuando la correa gira sobre la polea motriz. La carga generalmente se realiza arrastrando el material depositado en la base del elevador. La velocidad de la correa suele ser alta, oscilando entre 1.2 a 4 m/s, y el espacio entre los cangilones generalmente es de 2 a 3 veces su proyección.

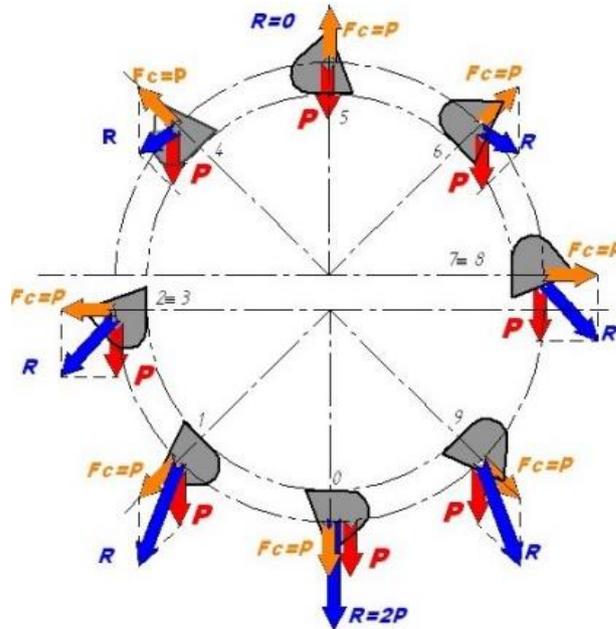


Figura 18. Cangilones por descarga centrifuga. Tomada de “Partes y componentes de elevadores de cangilones” por BEGAMAQUINARIA, 2022, p.2. (13)

### 2.2.18. Tipo de carga del elevador de los cangilones.

El dragado es el tipo de carga utilizado para transportar materiales que no ofrecen resistencia a la extracción, como los polvorientos y los de granulación fina. La carga por dragado se muestra en la Figura 19.

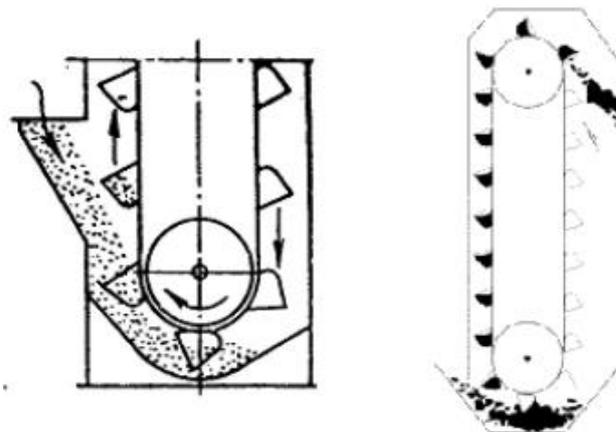


Figura 19. Sistema de carga por dragado. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### 2.2.19. Características y Parámetros de elevadores de cangilones.

a) El peso de la carga en un cangilón es:

$$G = i \times \gamma \times j \quad (1.2)$$

Donde:

G : peso de la carga en el cangilón, en kg.

i : volumen del cangilón, en metros<sup>3</sup>.

$\gamma$  : densidad de la carga a granel, en kg/m<sup>3</sup>.

j : coeficiente de relleno del cangilón, el cual depende del tipo de material.  
Este valor varía entre 0.6 a 0.9.

b) El flujo de material transportado:

La siguiente ecuación determina el flujo de material que fluye a través de un elevador de cangilones a una velocidad  $v$  en (metros/segundo) y con un paso  $t$  en (metros) entre cangilones consecutivos:

$$Q = 3.6 \frac{G}{t} v \quad (1.3)$$

Donde:

Q: flujo del material transportado, en Kg/seg.

G: peso de la carga en el cangilón, en kg.

t: paso entre cangilones consecutivos, en m.

v: velocidad del transportador o cangilón, en m/s.

c) Fuerza de accionamiento en el tambor motriz

$$F_a = Q \frac{(H + H_b)}{3.6v} \quad (1.4)$$

Donde:

F<sub>a</sub>: fuerza de accionamiento en tambor motriz, en kg-fuerza.

Q: flujo del material transportado, en kg/seg.

H: longitud de elevación, en m.

H<sub>0</sub>: altura falsa agregada por el sistema de carga (ver Tabla 6).

v: velocidad de transmisión, en metros/segundo.

Tabla 6. Valores de “H<sub>0</sub>” según sistema de carga.

Valores de H <sub>0</sub>		
Sistema de carga	Tamaño del material	Valor de H <sub>0</sub> (metros)
Por Tolva	Ninguno	3.20
Por Inmersión	Pequeño	1.64
	Mediano	1.73
	Grande	1.49

Nota: Valores H<sub>0</sub> según el sistema de carga. Elaboración propia.

d) Potencia de accionamiento del motor:

$$N_a = \frac{F_a \cdot V}{75 \cdot \eta} \quad (1.5)$$

Donde:

N<sub>a</sub>: Potencia de accionamiento, en Watt.

η: Rendimiento del motor eléctrico.

F<sub>a</sub>: fuerza de accionamiento en tambor motriz, en kilogramos-fuerza.

v: velocidad de transmisión, en m/s.

e) Tensión máxima de la banda

$$T_m = F_a \cdot k \quad (1.6)$$

Donde:

T<sub>m</sub>: Tensión máxima de banda, en kg-fuerza.

F<sub>a</sub>: fuerza de accionamiento en tambor motriz, en kg-fuerza.

k: coeficiente, según condiciones del tambor motriz (ver Tabla 7).

Tabla 7. Valores de K según condiciones de tambor motriz.

Valores de “k”	
Condiciones del tambor	Valor de “k”
Liso húmedo	3.20
Liso seco	1.64
Recubierto húmedo	1.73
Recubierto seco	1.49

*Nota:* Valores de K según condiciones de tambor motriz.

Para evitar el deslizamiento entre la banda transportadora y el tambor accionado en un sistema de transporte, se debe cumplir la relación de Euler:

$$\frac{T_1}{T_2} > e^{\mu \cdot \theta} \quad (1.7)$$

Hasta que se cumpla la relación de Euler, se debe agregar tensión al tambor tensor del elevador si se tienen los pesos de los cangilones llenos de subida y los cangilones vacíos de bajada. El arco de contacto en los elevadores es de 180 grados y el coeficiente de fricción depende de la relación T1/T2, si los tambores están desnudos o forrados en goma, etc.

Tabla 8. Valores de coeficiente de fricción.

Condiciones del tambor	Coeficiente de fricción ( $\mu$ )	Relación T <sub>1</sub> /T <sub>2</sub>
Banda sobre tambor de hierro	0.25	2.194
Banda sobre tambor de forrado	0.35	3
Banda sobre tambor de hierro ( en condiciones polvorientas )	0.2	1.857
Banda sobre tambor forrado ( en condiciones polvorientas )	0.27	2.33
Banda sobre tambor de hierro ( en condiciones húmedas )	0.21	1.9
Banda sobre tambor forrado ( en condiciones húmedas )	0.21	1.9

*Nota:* Datos de valores de coeficiente de fricción. Tomada de Cangilones para Elevadores (92), por TAPCO INC. (17)

Tabla 9. Densidades de materiales a granel-TAPCO INC

Descripción del Material	Densidad suelta a granel lb/pie <sup>3</sup>	Densidad suelta a granel kg / m <sup>3</sup>
Pellets	116 - 130	1858 - 2082
Talco, en polvo	50 - 60	800 - 961
Talco, hasta 1/2"	80 - 90	1281 - 1441
Talco, solido	165	2643
Titanio, esponja	60 - 70	961 - 1121
Tiza, pulverizada	67 - 75	1073 - 1201
Tiza, triturada	75 - 95	1201 - 1521
Trébol en semilla	48	769
<b>Trigo</b>	<b>45 - 48</b>	<b>720 - 770</b>
Trigo sarraceno	37 - 42	593 - 673
Trigo, germen	18 - 28	288 - 448
Trigo, grano quebrado	40 - 45	640 - 720

*Nota:* Datos de densidades de trigo como material a granel. Tomada de Cangilones para Elevadores (92), por TAPCO INC. (17)

### 2.2.20. Características técnicas del elevador.

a) Con respecto a los elevadores:

- Se compone de una red de cangilones destinada al transporte de materiales.
- La polea motriz tiene que tener una guía para dirigir el movimiento.
- La velocidad en la carga del trigo del cangilón y descarga centrifuga se logran con una eficiente selección de componentes.
- El acero inoxidable utilizado en las poleas motriz o conducidas facilita su instalación y mantenimiento, y aumenta su resistencia al desgaste y la corrosión.
- Los tambores de polea motriz y conducida se colocan sobre los ejes de acero gracias a su magnitud cónica y al tensor por tornillo para asegurar el tiraje de la banda y evitar el desplazamiento de las partes.

b) En caso de transporte vertical:

- Cuando se produce una falla en un lugar con cangilones llenos, es necesario contar con un freno de retroceso.
- Se basan en velocidades un poco altas o fuerza centrífuga.

c) Tipos de cargas del elevador de cangilones:

- Se realizan directamente desde la tolva  
Para transportar materiales grandes y abrasivos, con una baja velocidad de desplazamiento del órgano de tracción, para garantizar un transporte seguro y eficiente.
- Se realizan por dragado  
Para transportar materiales que no muestran resistencia a la extracción, pulverulentos y de granulación fina.

d) Tipos de descarga del elevador de cangilones:

- Descarga centrífuga  
La velocidad de desplazamiento del transportador oscila entre 1.2 y 4 m/s, y la carga generalmente se realiza dragando el material depositado en la parte inferior. La distancia entre los cangilones es entre 2 y 3 veces la altura del cangilón.
- Descarga por gravedad o continúa  
Aprovecha el peso del material para la descarga y tiene una velocidad de desplazamiento de 0.5 a 1.0 m/s.
- Descarga positiva  
Es similar a la descarga centrífuga, pero los cangilones están montados en los extremos y la velocidad es lenta.

e) Selección del material del cangilón:

- Tipo A  
Los materiales como cereales, carbón, pulpa y otros se elevan a través de la fuerza centrífuga utilizando el cangilón diseñado para descarga centrífuga.
- Tipo A-A  
Ideal para piedra, grava y materiales de alta agresividad porque está diseñado para condiciones de desgaste más severas y generalmente para materiales más pesados.
- Tipo AA-RB  
diseñado para aumentar la concentración de fertilizantes y cemento.

- Tipo B  
Diseñado para cangilones del tipo inclinado y materiales altamente quebrados, como piedras minerales y otros materiales.
- Tipo SC  
Sus cangilones son lisos, sin fisuras y emitidos uniformemente para resistir la abrasión, la corrosión y el óxido cuando se utilizan materiales secos o húmedos.
- Tipo HF  
Para descargas continuas, tienen frentes de ala y proporcionadas, y su interior liso facilita el transporte fácil y la descarga rápida.

### **2.2.21. Acero estructural para la protección de elevadores de cangilones.**

#### 1) Material y diseño

El elevador de cangilones ha sido diseñado para mantener la integridad estructural de sus componentes y prolongar su vida útil aún en los ambientes más severos. Estas son algunas características probadas de la integridad estructural:

El acero inoxidable es un material que resiste la corrosión y es ideal para procesamiento de alimentos, productos químicos, para usarse en exteriores y en aplicaciones en donde se requiere estar lavando.

#### 2) Acero resistente a la abrasión / Anti-desgaste AR

El material mencionado es adecuado para aplicaciones que requieran resistencia a la flexión en frío, impacto y abrasión. Además, tiene excelentes características de soldadura. La dureza de Brinell se mide por grado.

Las planchas de acero mencionadas son aleadas y tienen altas propiedades mecánicas y una alta resistencia al desgaste por abrasión. Se someten a un proceso de bonificación, que implica temple y revenido, para aumentar su dureza. La dureza promedio es de 400 o 500 HB.

El acero AR400, AR450 y AR500 se utiliza para fabricar equipos y componentes expuestos a la abrasión severa, como cucharones de excavadoras, revestimientos de trituradoras, tambores de cribado y piezas de maquinaria agrícola.

Tabla 10. Características mecánicas de placas resistentes a la abrasión

Norma técnica	Límite a la fluencia ( F ) Kg / m <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción ( R ) Kg / m <sup>2</sup>	Elongación ( A ) %	Dureza HB
ANTIABRASIVA 400	102000000	132000000	12.0	400
ANTIABRASIVA 450	108000000	136000000	11.0	450
ANTIABRASIVA 500	132000000	168000000	8.0	500
JFE EH - SP	112000000	138000000	10.7	455

*Nota:* Planchas resistentes a la abrasión (AR400-AR450-AR500) – T21. Tomado de ficha técnica categoría: planchas, por BLESOLA IMPORT EXPORT S.A.C. (19)

Tabla 11. Dimensiones estándar de planchas resistentes a la abrasión

Espesor (mm)	Espesor (m)	Formato (metros)		
		1.5 x 6	2.4 x 6	2.4 x 7
3.18	0.00318	231.55	370.48	444.57
4.78	0.00478	347.32	555.72	666.86
6.35	0.00635	463.1	740.96	889.15
7.95	0.00795	583.43	926.20	1111.44
9.53	0.00953	694.65	1111.44	1333.72
12.7	0.0127	926.20	1481.91	1778.30
15.88	0.0158	1157.75	1852.39	2222.87
19.05	0.0190	1389.30	2222.87	2667.48
25.4	0.0254	1852.39	2963.83	3556.60

*Nota:* Dimensiones estándar de planchas resistentes a la abrasión (AR400-AR450-AR500) – T21. Tomado de ficha técnica categoría: planchas, por BLESOLA IMPORT EXPORT S.A.C. (19)

### 2.2.22. Selección de acople para el eje motriz del elevador de cangilones.

- a) Al seleccionar un acoplamiento para conectar el eje motriz con el eje del motor en un elevador de cangilones, es importante tener en cuenta varios factores, incluido el torque y la carga, el factor de servicio, el tipo de acoplamiento, la capacidad de desalineación, el mantenimiento y la vida útil esperada del equipo.

El diseño del acoplamiento brinda la flexibilidad torsional necesaria para amortiguar cargas de vibración e impulsivas, mejorar la transmisión de potencia y prolongar su vida útil, como se muestra en la Figura 20.

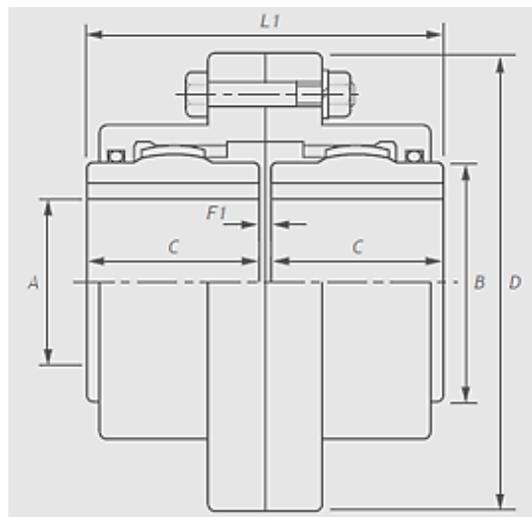


Figura 20. Acople GEARFLEX. Tomada de “Acoplamientos GEARFLEX”, por RENOLD. 2012. (20)

- b) Tipo de carga por tipología de los elevadores

Tabla 12. Tipología de los elevadores

Elevadores	
Cangilones – carga uniforme	S
Cangilones – carga pesada	M
Cangilones – continuo	S
Descarga centrífuga	S
Escalera mecánica	S
Carga	M
Descarga por gravedad	S
Plataformas elevadoras	*

Nota: Tipos de carga para elevadores de cangilón. Tomada de Acoplamientos GEARFLEX. Por RENOLD. 2012, p.5. (20)

Dónde:

S: Estable

M: Impulsividad media Velocidad

H: Impulsividad alta

Tabla 13. Diferentes tamaños de acoplamiento

Tamaño de Acoplamiento	Referencia	Potencia / 100 rpm KW	Par nominal	Velocidad Max rpm
GF10DA	6901108	14.9	1423	7100
GF15DA	6901158	28.2	2693	5400
GF20DA	6901208	48	4584	4800
GF25DA	6901258	77.6	7411	4250
GF30DA	6901308	128	12224	4000
GF35DA	6901358	196	18718	3600
GF40DA	6901408	312	29796	3290
GF45DA	6901458	431	41161	2920
GF50DA	6901508	578	55199	2630
GF55DA	6901558	857	81844	2320
GF60DA	6901608	1096	104668	2120
GF70DA	6901708	1640	156620	1830

Nota: Tabla de tamaños de “Acoplamientos para Elevadores de Cangilón”. Tomado de “Acoplamientos GEARFLEX RENOLD” (p. 9), 2012, disponible en [www.renold.com](http://www.renold.com). (20)

c) Factor de arranque (F.a) (tabla 14)

Tabla 14. Factor de arranque (F.a)

N° de arranques por hora	0-1	1 - 30	30 - 60	60 -
Factor	1.0	1.2	1.3	1.5

Nota: factor de arranque. Tomada de acoplamientos Befarles Renold, 2012, p.4. (20)

d) Factor de seguridad (F.s) (tabla 15)

Tabla 15. Factor de seguridad según el accionamiento de la maquinaria (F.S)

Accionamiento principal entrada de accionamiento	Características de la maquina accionada			
	Duración de servicio hora/día	Carga Estable	Impulsividad media	Impulsividad Alta
Motores eléctricos, neumáticos e hidráulicos o turbina a vapor, entrada estable	Intermitente- 3h/ día	0.90	1.00	1.5
	Max 3-10	1.00	1.25	1.75
	y más de 10	1.25	1.5	2.00
Motor de C.I multicilindrico, entrada con impulsividad media	Intermitente- 3h/ día	1.00	1.25	1.75
	Max 3-10	1.25	1.50	2.00
	y más de 10	1.50	1.75	2.25
Single- cylinder I.C engine ( Highly impulsive input)	Intermitente- 3h/ día	1.25	1.50	2.00
	Max 3-10	1.50	1.75	2.25
	y más de 10	1.75	2.00	2.50

Nota: Factor de seguridad. Tomada de Acoplamiento GEARFLEX por RENOLD 2012, p, 4.  
(20)

e) Selección de acoplamiento

Seleccionar un acoplamiento adecuado para transmitir la potencia de un motor eléctrico a una caja reductora que acciona un transportador de cadena con arranques frecuentes implica considerar diversos factores, como la potencia requerida. Posteriormente, es necesario establecer un diámetro de árbol específico.

K: Potencia a transmitir por el acople.

Según la Tabla 12, determina el tipo de carga.

Según la Tabla 14, contiene los factores de arranque (F.a).

Según la Tabla 15, contiene los factores de seguridad (F.s).

Por tanto, para hallar los Watts de selección del acoplamiento es necesario la formula siguiente:

$$K_s = K \times (F.a) \times (F.s) \quad (1.8)$$

Potencia equivalente ( $P_e$ ) a 100 rpm

$$P_e = K_s \times \frac{100}{RPM} \quad (1.9)$$

### **2.2.23. Rodamientos.**

Para garantizar el mejor rendimiento y una vida útil prolongada del equipo, es esencial seleccionar los rodamientos adecuados para una aplicación específica. La capacidad de carga, la duración y la confiabilidad son factores comunes a tener en cuenta al seleccionar rodamientos. La siguiente es una descripción más detallada:

#### a) Capacidad de carga

Al seleccionar un rodamiento, la capacidad de carga es uno de los factores más importantes a tener en cuenta. Esta capacidad se refiere a la capacidad del rodamiento para soportar las cargas que actúan sobre él durante la operación, ya sean radiales, axiales o combinadas. Seleccionar un rodamiento con la capacidad de carga correcta para las condiciones de carga esperadas de la aplicación es fundamental. Esto implica tener en cuenta tanto las cargas dinámicas como las estáticas.

Cuando los rodamientos están sometidos a esfuerzos dinámicos, se usa la capacidad de carga dinámica que expresa la carga que puede soportar el rodamiento alcanzando una duración nominal de 100,000 revoluciones.

#### b) Duración

La duración del rodamiento es la capacidad de un rodamiento para funcionar durante un período de tiempo bajo condiciones de carga específicas antes de que ocurra una falla. Se debe elegir un rodamiento con la duración adecuada para el uso, considerando la velocidad, la carga, la lubricación y las condiciones ambientales.

Seleccionar rodamientos para una aplicación específica, es crucial considerar factores como la capacidad de carga, la duración y la fiabilidad

para garantizar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada del equipo.

- 1) La relación entre la duración nominal, la capacidad de carga dinámica y la carga aplicada al rodamiento, viene expresada por la ecuación.

$$\frac{C}{P} = L^{1/p} \quad (1.10)$$

Siendo:

L = duración nominal, en millones de revoluciones.

C = capacidad de carga dinámica.

P = carga dinámica equivalente sobre el rodamiento.

p = exponente.

p = 3, para rodamientos de bolas.

p = 10/3, para rodamientos de rodillos.

- 2) La duración puede ser expresada, también, en horas de servicio mediante la expresión:

$$L_h = \frac{100000L}{60n} \quad (1.11)$$

Donde:

L<sub>h</sub> = duración nominal en horas de servicio.

L = duración nominal, en millones de revoluciones.

n = velocidad de rotación, en RPM.

Para hallar la dimensión del rodamiento, es primordial conocer la duración requerida. Tal duración depende generalmente del tipo de máquina, de las exigencias del servicio y de la confiabilidad.

- c) Cálculo de la carga dinámica equivalente del rodamiento

Para calcular la carga dinámica equivalente del rodamiento (P), que es necesaria para determinar la vida nominal del rodamiento. Los factores de carga radial (X) y axial (Y) son valores que dependen del tipo de

rodamiento, su geometría y su diseño, y se proporcionan en las especificaciones del fabricante del rodamiento. Estos factores se utilizan para tomar en cuenta la relación entre las cargas radiales y axiales y cómo afectan la vida del rodamiento.

$$P = XF_r + YF_a \quad (1.12)$$

Donde:

$F_r$  = carga radial real del rodamiento, en KN.

$F_a$  = carga axial real del rodamiento, en KN.

$X$  = factor de carga radial del rodamiento.

$Y$  = factor de carga axial del rodamiento.

En los rodamientos radiales de una hilera, una carga axial solo influye en la carga dinámica equivalente  $P$  si la relación  $F_a/F_r$  excede un factor límite "e" específico.

La ecuación para estos rodamientos se simplifica de la siguiente manera siempre que la carga esté centrada.

En la figura 21 se observa la carga dinámica equivalente del rodamiento.

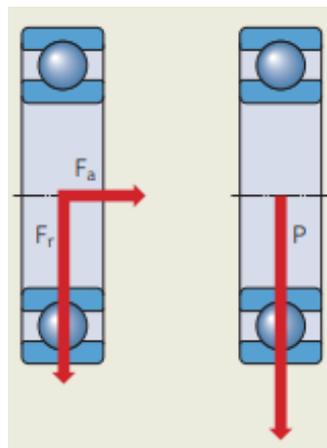


Figura 21. Diagrama de carga dinámica del rodamiento. Tomada de "Carga dinámica equivalente del rodamiento", por SKF, 2019. (22)

$$P = F_a \quad (2.12)$$

#### **2.2.24. Tipos de soporte para rodamientos.**

Los apoyos con rodamientos montados son económicos y fáciles de mantener.

Los soportes para rodamientos son componentes esenciales que brindan un alojamiento muy seguro y estable para los rodamientos en sistemas de máquinas y equipos. La selección del tipo de soporte adecuado depende de las características y requerimientos específicos de la aplicación, así como de las condiciones de operación y las cargas a las que estará sometido el rodamiento.

Los soportes con rodamiento montado son:

- Son económicos y de fácil mantenimiento.
- Fabricados de hierro fundido nodular.
- Permiten un ajuste flojo del rodamiento y desplazamiento axial.
- Se pueden utilizar con obturaciones de anillos en V, de fieltro o de laberinto, según las velocidades periféricas y las temperaturas de funcionamiento.

Los soportes de pie son:

- Diseñados para rodamientos de bolas a rótula o de rodillos a rótula.
- Disponibles en tres tipos comunes: SNA, SN y SD.
- Se adaptan a rodamientos con agujero cónico o cilíndrico montados sobre manguitos de fijación.

En la figura 22 se aprecia soporte de pie partido SD 3100



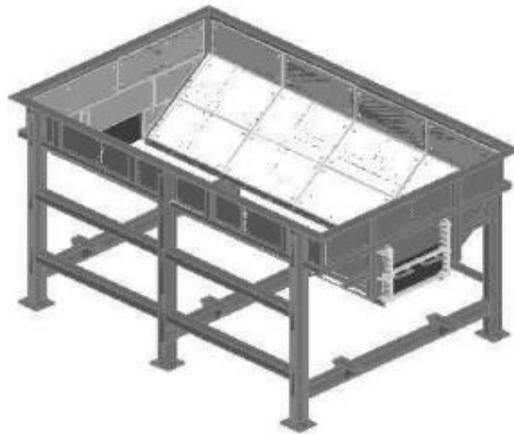
*Figura 22. Soportes de pie partido. Tomada de PLUMMER BLOCKS. (21)*

### 2.2.25. Tolva de almacenamiento.

Una parte importante de las instalaciones de almacenamiento agrícola es una tolva de almacenamiento de grano de trigo, que se construye para contener y proteger una gran cantidad de trigo antes de su procesamiento o distribución.

- Su alimentación es constante para la siguiente etapa.
- Para evitar obstrucciones del material, no se debe llenar la tolva por completo.

Para garantizar un flujo eficiente de grano durante todo el proceso de producción, una tolva de almacenamiento de grano de trigo requiere carga inicial, almacenamiento seguro, descarga controlada y mantenimiento regular. Un modelo de tolva de almacenamiento se muestra en la Figura 23.



*Figura 23.* Almacenamiento de granos de trigo. Tomada de “Bandas cangilones y accesorios”, por MAXI-LIFT INC, 2010, p.15. (2)

### 2.2.26. Elementos finitos.

Debido a su capacidad para analizar estructuras complejas de manera eficiente y precisa, el método de los elementos finitos es una herramienta útil en ingeniería estructural. Permite a los ingenieros resolver problemas que serían difíciles o imposibles de calcular con métodos analíticos tradicionales.

Para resolver problemas con geometrías complejas o condiciones de carga no lineales, donde las soluciones analíticas pueden ser difíciles o imposibles de obtener, el MEF es extremadamente útil. (9)

En nuestro diseño, se aplicará el método de elementos finitos a una parte esencial, como es el eje de transmisión, fabricado con acero 1045 laminado en frío, cuyo límite de elasticidad es de 531 MPa. Todas estas simulaciones serán

validadas con su momento de inercia. En la figura 24 se muestra el diagrama de colores del resultado del MEF.

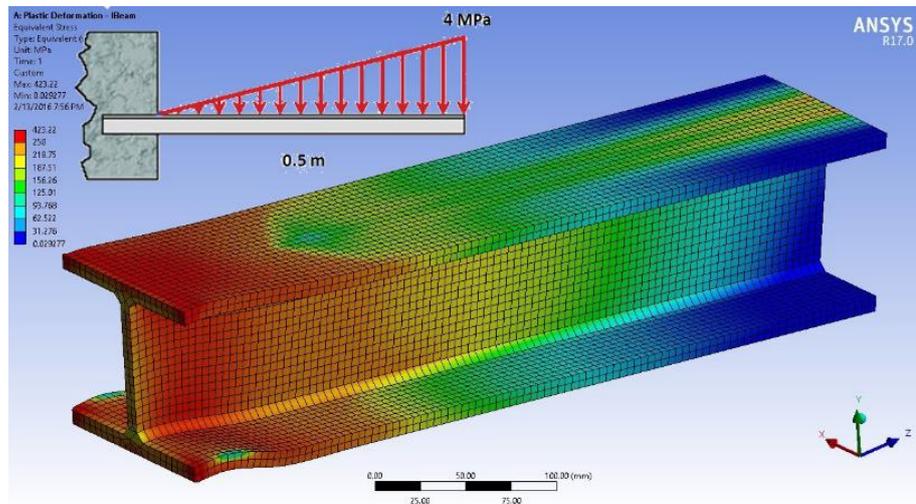


Figura 24. Método de elementos finitos. Tomada de “Análisis estructural”, por [www.academia.edu/38827344](http://www.academia.edu/38827344), 2022. (9)

### 2.2.27. Método de elementos discretos.

El método de elementos discretos (DEM) es una técnica computacional muy eficaz para resolver problemas que involucran materiales granulares de diferentes tamaños. También es una herramienta versátil y eficaz para simular y analizar procesos que involucran materiales granulares en una variedad de industrias, como la minería y el campo industrial. Es especialmente útil para resolver problemas complejos en los que las interacciones entre las partículas son críticas, porque puede modelar el comportamiento de cada partícula.

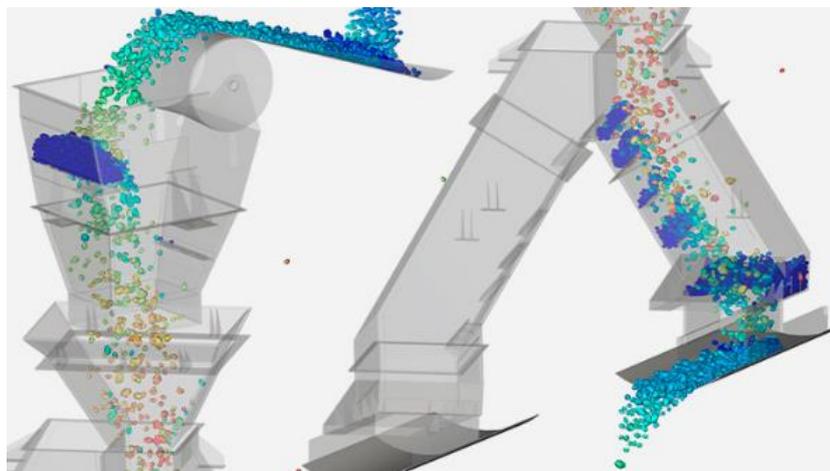


Figura 25. Método de elementos discretos. Tomada de “Simulación de elementos discretos”, por ESSS, 2021. (10)

### **2.2.28. Descripción del proceso de molienda de harina de trigo en ALICORP.**

Recepción: Los carros se pesan al llegar y al finalizar su descarga. Se controla la temperatura, humedad y calor del trigo, entre 23-25°C y 12,5-14%. Se toman pruebas y muestras para su respectivo análisis.

Almacenamiento: Durante su almacenamiento, se controla la temperatura del trigo para determinar el tratamiento. Se reduce la temperatura a 18°C y luego se baja a 12-13%.

Limpieza: En la etapa de limpieza del trigo, se llevan a cabo los siguientes procedimientos para garantizar la pureza del grano:

1. El trigo se transporta hacia los silos de almacenamiento a través de un sistema de transporte.
2. Se calibra el sistema de transporte para asegurar un correcto funcionamiento.
3. El trigo se mezcla para homogeneizarlo.
4. Posteriormente, pasa por un sistema de diferentes niveles de zarandas para separar las impurezas.
5. Las impurezas son eliminadas mediante un sistema de aspiración.
6. Los granos de diferentes tamaños se transportan a través de cribas.
7. Se recogen las impurezas, que pueden procesarse como cascarilla.
8. Se considera la humedad adecuada según el tipo de harina a fabricar.
9. Se recupera el grano de trigo que está apto para la molienda.

Molienda: En la etapa de molienda, se realizan los siguientes procesos.

1. Se activa el sensor detector de partículas metálicas u otros para prevenir su presencia en la harina.
2. Pasa por una balanza automática para medir la cantidad de materia a procesar.
3. Se eliminan y raspan las barbillas del trigo para limpiarlo.
4. Se sacude para expulsar el polvo y eliminar posibles huevecillos de plagas.
5. El grano se fractura y es raspado por cilindros de rotura.
6. Se separa las partes principales del trigo como pericarpio del endospermo utilizando cuchillos longitudinales o estrías con un ángulo específico, diseñado para el tipo de trigo a moler.

Cernido: La etapa de cernido, el trigo se separa utilizando una serie de telares específicos en el PLANCHISTERS Senior según el diámetro de la partícula.

Purificación: Consiste en eliminar cualquier partícula de pericarpio que se haya adherido a la sémola como resultado de las primeras roturas y reducciones. Esto se hace para evitar que el pericarpio se transforme en harina y se dirija al afrecho. Las válvulas de acción neumática se ajustan para garantizar una harina más pura.

Dosificación de aditivos y vitaminas: Durante este proceso, se agregan ingredientes que mejoran las propiedades plásticas y fermentativas de la harina. La selección de estos aditivos se basa en el tipo de trigo que se cultiva.

Cepillado de cascarilla: Se centrifuga la cascarilla obtenida del cernido de los PLANCHISTERS para eliminar la harina excesiva.

Filtrado de aire: En esta etapa, los filtros de mangas se utilizan para extraer todas las partículas de polvo de harina del aire.

La vía neumática se utiliza en un sistema de sopladores para transportar el trigo hacia las envasadoras.

El producto terminado se almacena en silos antes de ser empacado en sacos de polipropileno. Se cuentan y registran las unidades producidas. El producto se envasa, etiqueta y prueba después.

La Figura 26 muestra un diagrama de flujo detallado del proceso de molienda de harina de trigo.

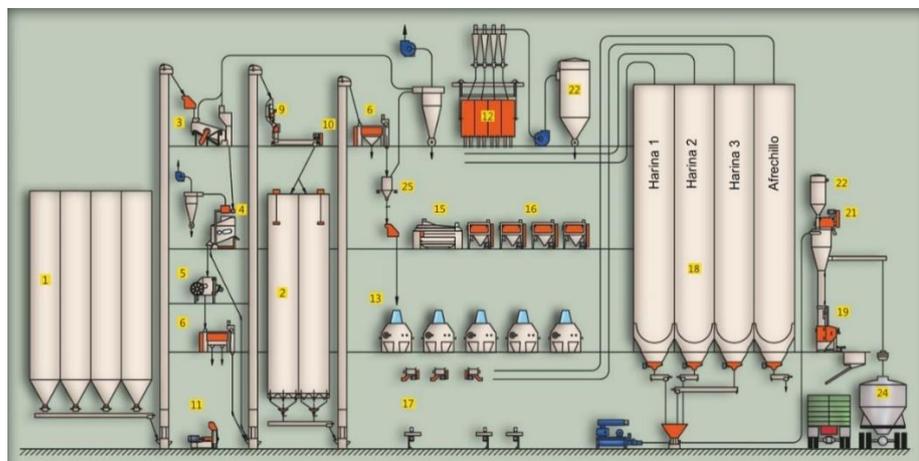
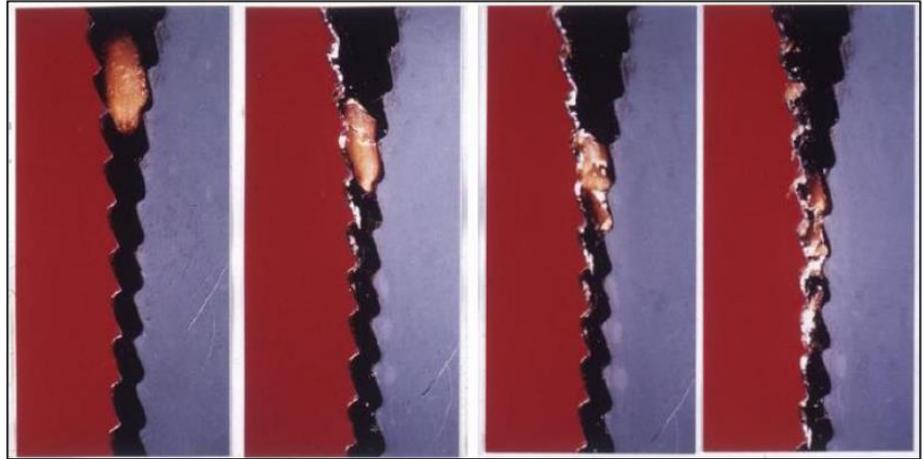


Figura 26. Flujo al detalle del proceso de molienda. Tomada de “Documentos de Calidad, planta Molino Victoria”, por ALICORP S.A.A. 2018. (16)

Los molinos de cilindros se utilizan para moler el grano de trigo. Estos cilindros funcionan juntos y giran en sentidos opuestos.

Cuando una partícula pasa entre ellos, los rodillos se comprimen y se cortan. El rodillo más rápido gira hasta dos veces y media más rápido que el otro.

La Figura 27 muestra cómo se tritura el grano de trigo utilizando rodillos de superficie estriada.



*Figura 27.* Trituración del grano de trigo. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (15)

La Figura 28 muestra el producto de la molienda después del proceso de trituración del grano de trigo.



*Figura 28.* Resultados de la trituración del grano de trigo. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (15)

Después de la separación, el siguiente objetivo es reducir el endospermo a la finura requerida en la harina. Esto se logra mediante el sistema de reducción, que utiliza un sistema de separación para cada par de rodillos, como en la fragmentación.

Las piezas grandes de salvado con endospermo se reenvían a los rodillos fragmentados. Los purificadores y los rodillos de reducción pueden usar partículas de otros tamaños. Cada par de rodillos produce harina. Se purifican las partículas de endospermo medianas con salvado.

El purificador es un tamiz inclinado que vibra para transportar el producto de cabeza a cola, separando el endospermo del salvado ligero con una corriente de aire ascendente. Los rodillos de reducción reciben endospermo separado.

Los rodillos de reducción, que son lisos en lugar de estriados, reducen las partículas a finura de harina y eliminan el salvado y el germen restante. Después de cada paso de molienda, el producto se tamiza para separar la harina. Los rodillos devuelven las partículas más gruesas para más procesamiento. Además, los productos se clasifican por tamaño utilizando terminadoras.

Treinta y nueve bancos de cilindros, dieciocho bancos de trituradores, doce bancos de reductores y nueve bancos de compresores están disponibles en la planta de molino ALICORP. Cada uno de estos bancos tiene dos pares de rodillos.

El interior de los pares de rodillos de un banco de reducción para endospermo con superficie lisa se muestra en la Figura 29.

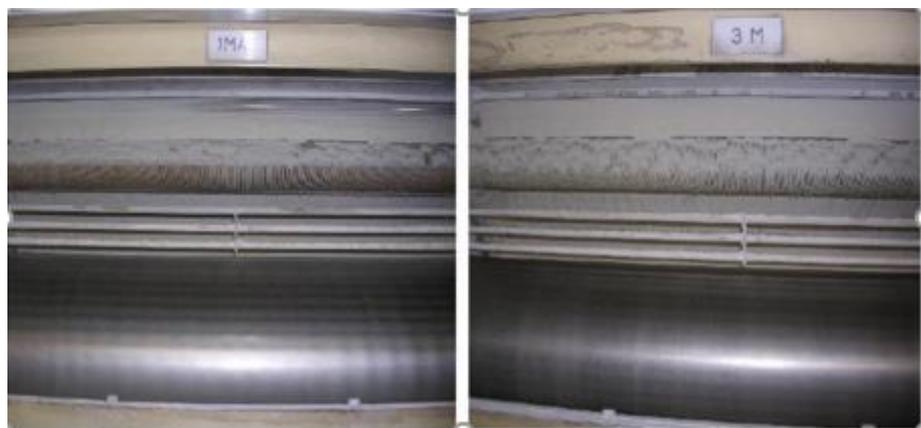


Figura 29. Reducción del endospermo. Tomada de “Revista de equipos”, por BÜHLER. 2018. (15).

## 2.2.29. Descripción del proceso productivo.

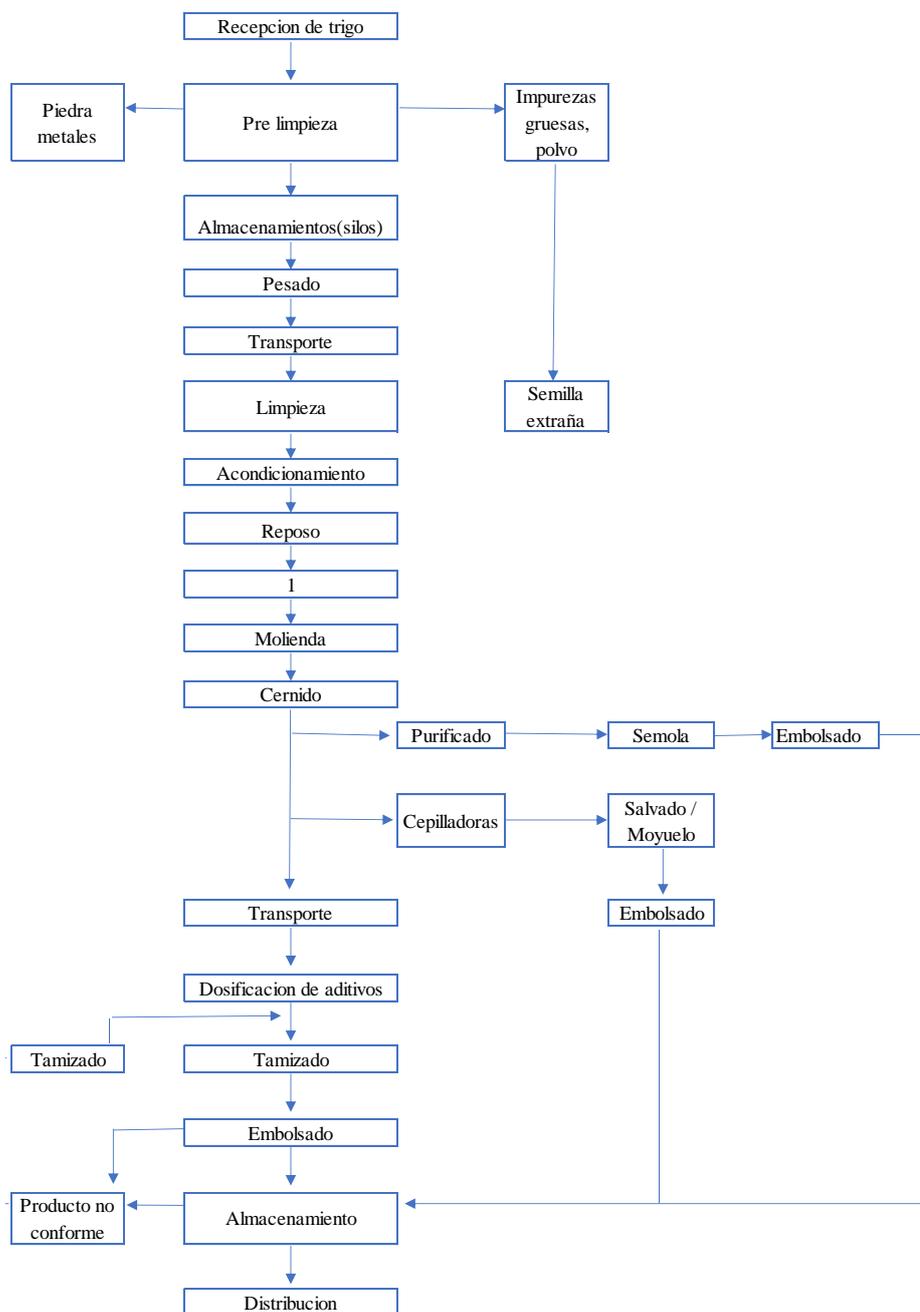


Figura 30. Diagrama de flujos de sémolas, harinas y subproductos. Tomada de “Planta Molino Arequipa”, por ALICORP S.A.A. 2018. (16)

Recepción de trigo: El trigo llega en camiones de 30 toneladas y se descarga en una zona exclusiva, se usa una rejilla metálica para separar las impurezas grandes.

Pre limpieza: En la etapa se extraen las impurezas como polvo, paja, alambres y piedras, que se embolsan para su eliminación.

Para evitar su contaminación y alteración en su almacenamiento pasa por el siguiente proceso:

- a) Balanza CHRONOS: Este equipo controla la recepción del trigo mediante un peso de 500 kg.
- b) ESCAPELATOR: Este equipo se encarga de extraer las impurezas como paja, cinta de papel, alambre hojas etc. (16)

En la figura 31 se aprecia el equipo ESCAPELATOR BUHLER, mostrando su vista exterior e interior de equipo utilizado en planta molino ALICORP. (16)



Figura 31. ESCAPELATOR BUHLER. Tomada de “Equipos, planta Molino Victoria”, por ALICORP S.A.A. 2018. (16)

El elevador de cangilones es un dispositivo que permite que las cargas de trigo se transporten de forma vertical a través de cucharas, también conocidas como cangilones, durante todo el circuito de transporte.

La figura 32 muestra un elevador de transporte en funcionamiento. Equipo que se utiliza en la planta de molienda de ALICORP.



Figura 32. Elevador de transporte en operación. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

El filtro de mangas utiliza aire comprimido para separar el polvo del aire contenido en la carga de trigo transportada. La eficiencia es esencial para reducir la contaminación del aire.

El filtro de mangas BUHLER, que se utiliza en la planta Molino ALICORP, se muestra en la Figura 33.

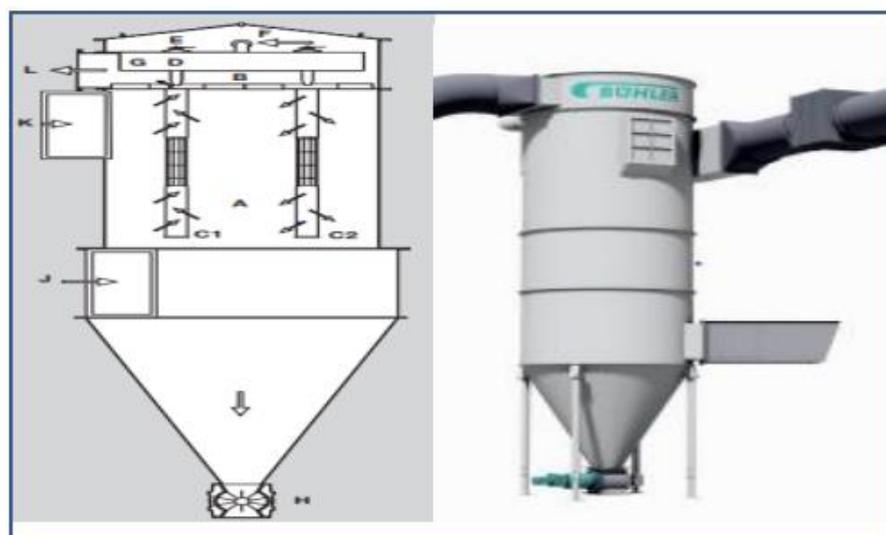


Figura 33. Filtro de mangas BUHLER Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

Características de almacenamiento de granos de trigo.

- Trece silos de concreto cerrado con una capacidad de mil toneladas cada uno.
- El clima seco mantiene la temperatura ideal para el trigo entre 23 y 28° C.
- El sistema de alimentación recibe una cantidad de 60 TM/h de trigo previamente limpiado.
- Extracción en serie utilizando dispositivos de medición de flujo para graduar y combinar flujos.
- Siete equipos de caudal automático BUHLER.
- Proporcionan una alimentación constante de 11.5 – 12 toneladas por limpieza.
- Dosificar el flujo para mezclar hasta tres variedades de trigo al mismo tiempo.

a) Equilibrador de flujo

- Siete equipos de caudal automático BUHLER.
- Durante la etapa de limpieza, proporcionan una alimentación constante de 11.5 – 12 toneladas.
- Permite la dosificación de los flujos de salida para utilizar hasta tres tipos diferentes de trigos al mismo tiempo.
- Garantiza una mezcla uniforme.

El equipo de flujo BUHLER y el equipo de la planta de molienda ALICORP se muestran en la Figura 34. (16)

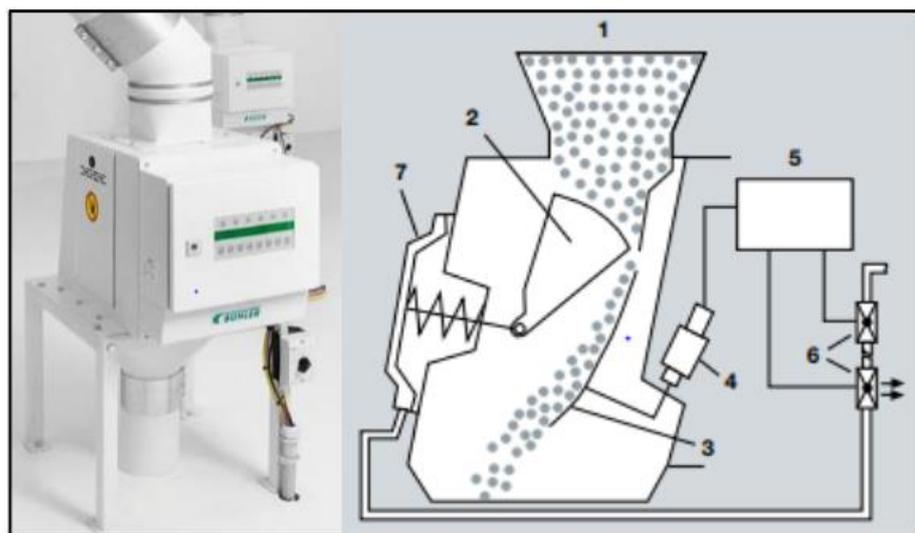


Figura 34. Flujo de equilibrio BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

Características de limpieza de grano de trigo.

- La eliminación de impurezas del trigo previamente limpiado y almacenado es un paso crucial.
- Elimina los granos ajenos, pajillas, cascaras, metales y trigo deteriorado.
- Flujo de entrada oscila entre 11.5 – 12 TM/h.
- Control crucial para proteger el medio ambiente de la posible polución de polvo.
- Se considera un Aspecto Ambiental Significativo (AAS) debido al riesgo de accidentes graves, como explosiones, como resultado polución excesiva.

La limpieza cuenta con los siguientes equipos en el circuito de operación:

b) Balanza de trigo sucio.

- Vigila la cantidad de trigo seco que entra en la etapa de limpieza.
- Realiza pesadas de 50 kg con una margen de error de 0.5 kg y 6-7 pesadas por minuto.
- Alta confiabilidad y precisión.
- La planta posee cinco balanzas BUHLER, que son conocidas mundialmente por su calidad.
- Utiliza la dosificación gravimétrica para determinar la diferencia de peso entre los puntos de extracción superior e inferior.

La vista de la balanza de trigo sucio BUHLER se muestra en la Figura 35.

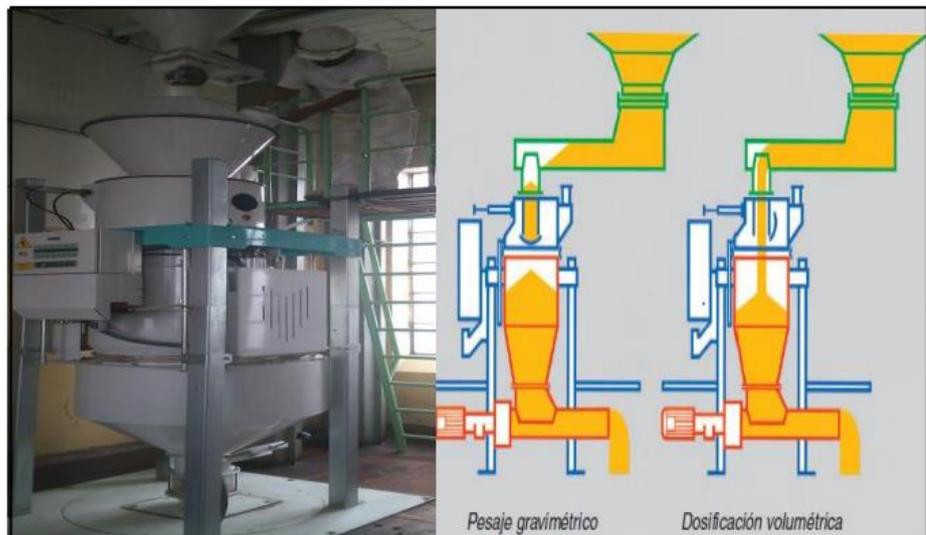


Figura 35. Balanza de trigo sucio BUHLER. flujo de ingreso y salida en operación secuencial en su funcionamiento. Tomada de “Equipos, planta Molino Victoria”, por ALICORP S.A.A. 2018. (16)

c) Zaranda

- Maquina para separar granos e impurezas que son más grandes que el grano de trigo.
- Se emplea una malla metálica de doble capa con un ángulo de inclinación de 45°.
- Equipado con un motor vibratorio que permite que el trigo se mueva continuamente por la malla.
- La salida tiene una columna de aspiración.
- El trigo se separa por un ducto inferior debido a su diferencia de peso, mientras que las partículas livianas como pajillas y cascaras flotan hacia la parte superior de la columna.

La zaranda BUHLER se muestra en la figura 36.

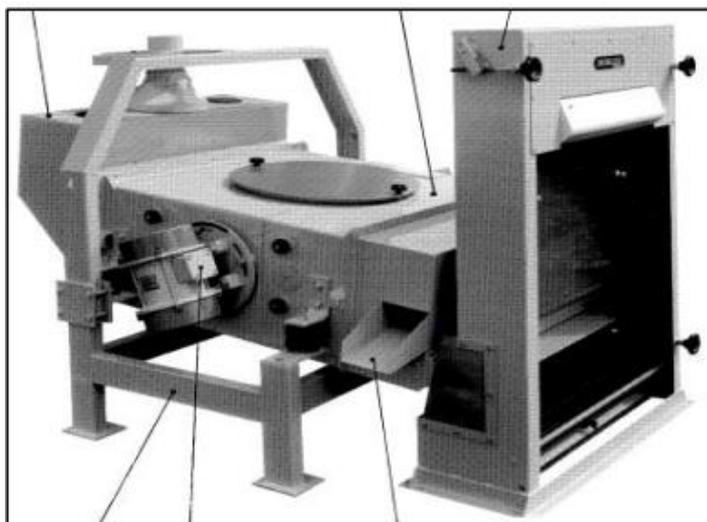


Figura 36. Zaranda BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

La figura 37 muestra el aspecto interno de la zaranda BUHLER.

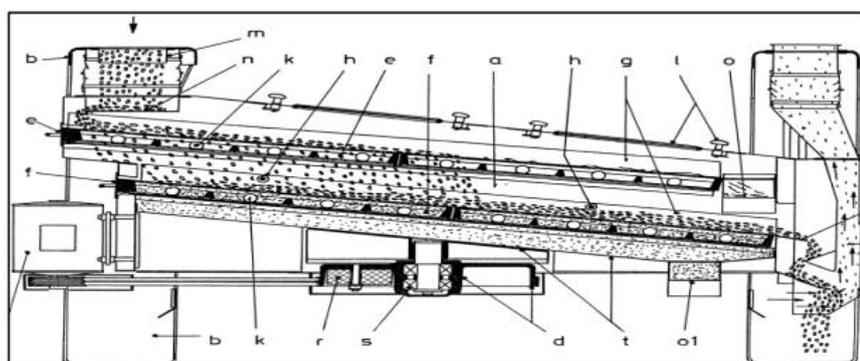


Figura 37. Interior de la zaranda de la marca BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

d) Mesa de densidad

- Independientemente de su forma y tamaño, separa los granos según su densidad.
- Elimina piedras que puedan estar mezcladas con el trigo.
- Tiene un tamiz inclinado a 45 grados, donde el trigo avanza hacia adelante y las piedras retroceden debido a diferencias de peso específicas.
- El centro tiene una columna de aspiración circular que absorbe las cascaras o pajillas.

La figura 38 muestra el aspecto interno de la mesa de densidad.

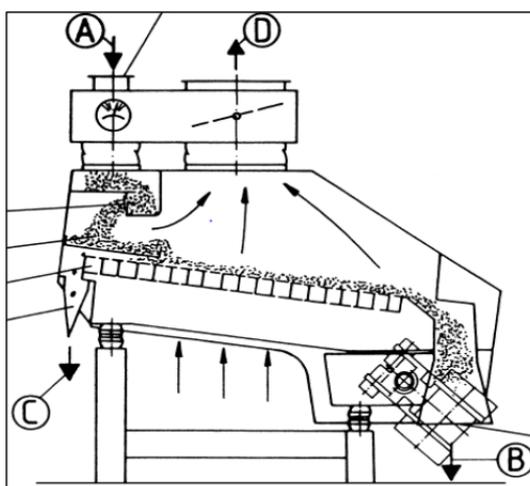


Figura 38. Interior de la mesa DENSIMETRICA de la marca ALAPALA. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

La figura 39 muestra la imagen exterior de la mesa densidad.



Figura 39. Exterior de la mesa DENSIMETRICA de la marca ALAPALA. Tomada de “Revista de equipos”, por ALAPALA, 2018. (16)

e) Separadora de trigo por rango de color

- Se utilizan cuatro cámaras de detección, una por pasaje, para identificar los granos que no se encuentran dentro del rango de color típico del trigo.
- Tecnología avanzada que lee más de 5000 granos por minuto y permite un flujo de alimentación de hasta 20 TM/h.
- Tiene un sistema de eyección por aire para eliminar los granos que no son adecuados.

La SORTEX (izquierda) y la forma de detección del lente (derecha) separan los tipos de grano de trigo defectuoso en la figura 40.



Figura 40. Trigo defectuoso separado por la SORTEX. Tomado de “Revista de equipos”, por SEA, 2018. (16)

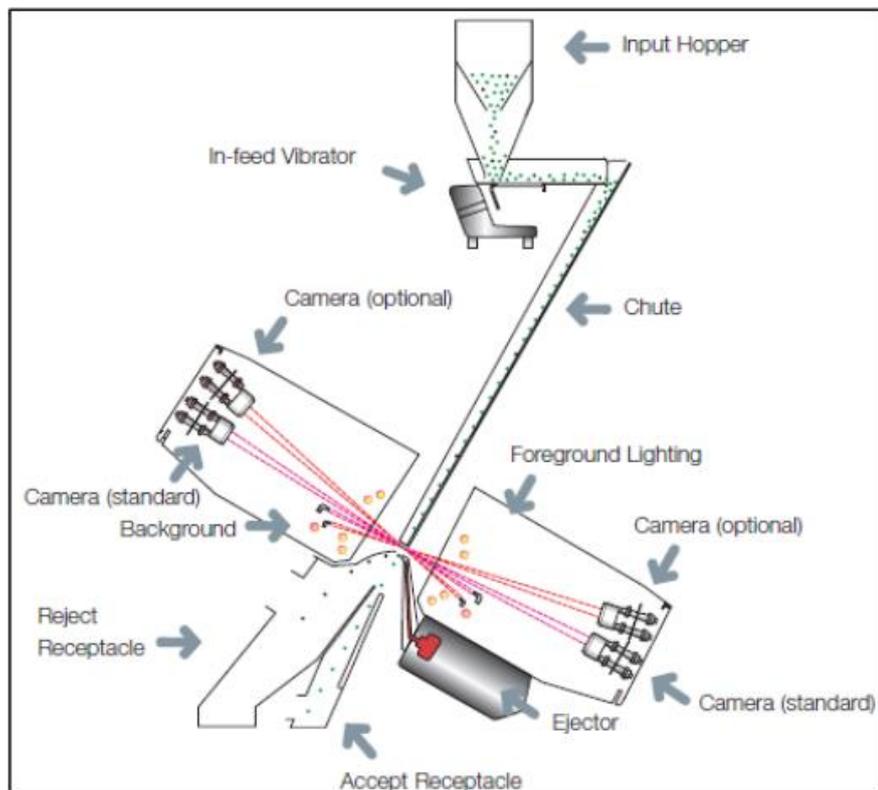


Figura 41. Esquema de componentes de la maquina SORTEX. Tomado de “Revista de equipos”, por SEA, 2018. (16)

f) Clasificador óptico de granos

- Un dispositivo para medir la humedad del producto en línea que responde a las oscilaciones fuera del rango.
- Se comunica con el equipo controlador de dosificación de agua mediante señales de microondas.
- Ajusta la cantidad de agua necesaria para la humificación del trigo durante el proceso de acondicionado.
- Requiere una receta previa que incluya la humedad del grano seco y la humedad que se desea.
- Después de la calibración precisa, tiene un margen de error de 2.5% para un flujo de 18.5 TM/h.

La vista exterior de los equipos MYF-C BUHLER y MOZ-F BUHLER se muestra en la figura 42.



Figura 42. Vista externa de los equipos MYF-C y MOZ-F BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

g) Acondicionamiento

- La última etapa previa a la molienda del grano de trigo.
- Se combina el trigo con agua mediante un rociador intensivo.
- Se busca alcanzar rangos de humedad necesarios de 14.5 – 15% en el producto terminado.
- El promedio de la cantidad de agua utilizada es del 17%.
- Para evitar que el salvado se rompa en pequeñas partes durante la molturación, se debe poner el salvado en forma de correa.

- Ablandar o suavizar el endospermo para que sea más fácil molturarlo.

El tiempo que toma el agua para penetrar en el grano varía según su dureza. El trigo blando necesita menos tiempo que el trigo duro para cosechar. Para que el grano blando y el grano duro alcancen el equilibrio de humedad, generalmente se requieren 16 horas para el grano blando y 24 horas para el grano duro. El salvado con alto contenido de humedad tiende a quedarse en trozos grandes durante este proceso, lo que facilita su separación durante la molturación.

Por otro lado, el agua ablanda el endospermo, lo que facilita su trituración.

La figura 43 muestra la vista exterior a la izquierda y la vista interior a la derecha.



Figura 43. Perspectiva exterior e interior del rociador intensivo BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. 2018. (16)

La molienda es un proceso continuo que implica el uso de varios molinos de cilindros para triturar, raspar y comprimir el grano de trigo. Los cilindros de estos molinos son lisos para la compresión y estriados para la trituración. En este proceso, los granos se reducen a partículas de diferentes tamaños, que se separan mecánicamente en las capas externas (salvado) y la almendra harinosa (endospermo).

Para pasar a la siguiente etapa, las partículas resultantes se clasifican y redirigen mediante cernidores y sasores. El producto en proceso se transporta a través de tuberías entre las máquinas mediante caída libre o transporte neumático. Finalmente, la harina o las sémolas resultantes se recolectan en una rosca colectora para su destino posterior.

- Paso directo a envasado / expedición.

- Almacenamiento de producto terminado.

El proceso continuo de trituración, raspado y compresión del grano de trigo se muestra en la Figura 44.



*Figura 44.* Proceso constante de trituración, desgaste y compresión. Tomada de “Revista de equipos”, por BUEHLER. (16)

Mientras extrae la harina producida, el cernido separa y clasifica los productos, divide y limpia las sémolas.

En la producción de harina, el cernido es fundamental para separar las partículas según su tamaño. Las más gruesas se separan primero, mientras que las más finas se incorporan directamente a la harina. Esto garantiza la textura correcta para alimentos como pan y repostería.

En la planta hay siete cernidores, también conocidos como PLANSIFTERS; dos de ellos tienen seis cuerpos, mientras que los otros cinco tienen cuatro cuerpos. Cada cuerpo de cernidor contiene 22 a 24 tamices diferentes.

- Cuatro cuerpos para el pasaje T-1
- Cuatro cuerpos para el pasaje T-2
- Cuatro cuerpos para el pasaje T-3
- Cuatro cuerpos para el pasaje T-4
- Dos cuerpos para el pasaje T-5
- Cuatro cuerpos para el pasaje R-1
- Tres cuerpos para el pasaje R-2
- Un solo cuerpo para el pasaje R-3, R-4, R-5, REPASO, DIV1-2, y Aspiración
- Todos los pasajes provenientes de los cilindros compresores C-1 al C-7.

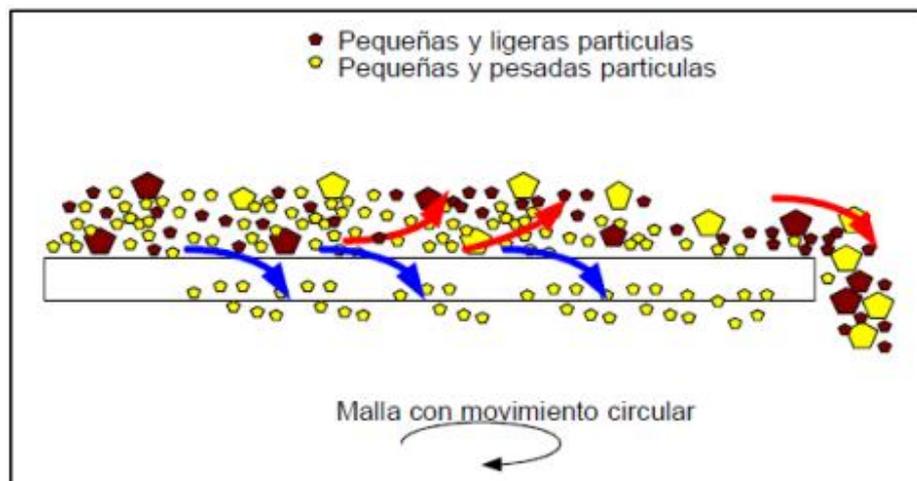


Figura 45. Clasificación de cargas mediante un tamiz. Tomada de “Revista de equipos”, por BUEHLER. (15)

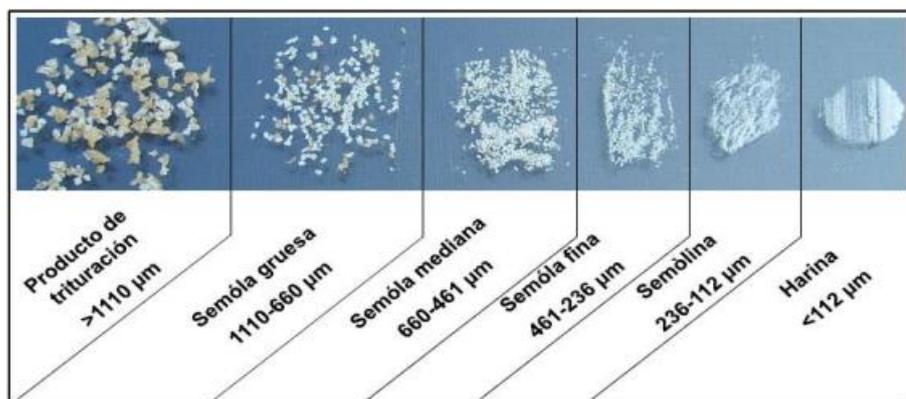


Figura 46. Seis salidas en un tamizador. Tomada de “Revista de equipos”, por BUEHLER. (15)

La Figura 47 muestra un diagrama de pasajes de seis salidas en un cernedor, que muestra la distribución de tamices y la clasificación de los pasajes.

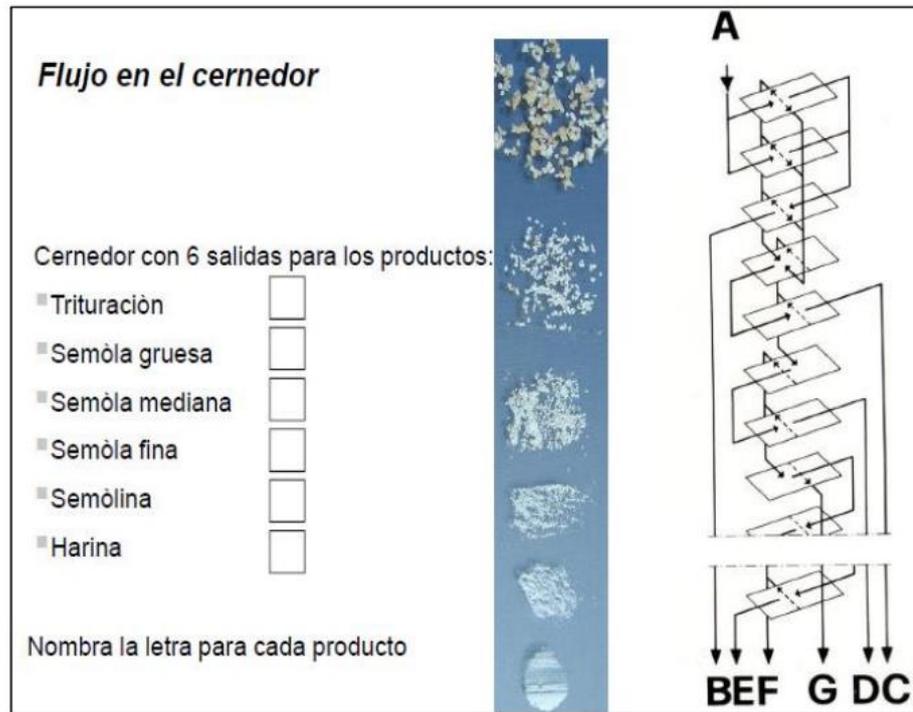


Figura 47. Esquema de seis salidas en un tamizador. Tomada de “Revista de equipos”, por BUEHLER. (15)

La etapa de purificación en el proceso de molinería es crucial para obtener sémola comercial de alta calidad. Se emplean equipos tamizadores llamados sasores o purificadores, que separan las sémolas de los fragmentos de cáscara fibrosa que aún pueden estar presentes después de la trituración inicial.

Estos fragmentos, de tamaño similar al de las sémolas, no se pueden separar mediante tamizado tradicional, por lo que se utiliza una corriente de aire basada en su peso específico. En la planta molino, hay cuatro sasores de la marca BUEHLER en línea, que contribuyen directamente a ajustar el porcentaje adecuado de cenizas en la harina, ya sea para harinas especiales o extras.

La sémola producida tiene un micronaje fino, oscilando entre 300 y 500 micrómetros, libre de impurezas, con una producción diaria de 2 a 4 TM /h.

La figura 48 muestra el diagrama de clasificación de la sémola, desde granulometría gruesa hasta fina, observado de derecha a izquierda. En el centro del equipo, se puede ver una columna de aspiración que facilita la separación de las partículas de cáscara liviana hasta obtener una sémola limpia. (16)

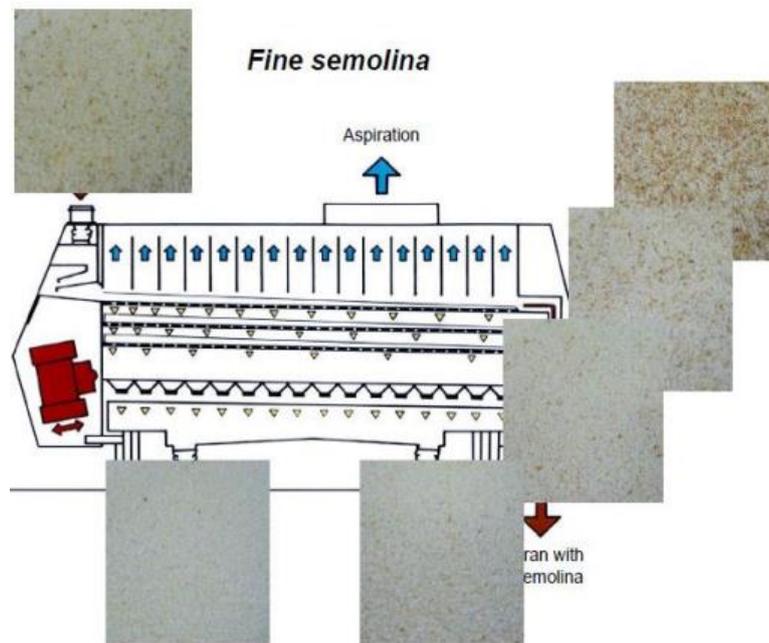


Figura 48. Clasificación de la sémola de granulometría gruesa a fina. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. (16)

Para fortalecer la harina de trigo, la dosificación de aditivos es crucial. Debe cumplir con las regulaciones del Ministerio de Salud. Cada marca de harina tiene un núcleo único que agrega características distintivas al producto final. La planta ha establecido una dosificación de un gramo de aditivo por cada kilogramo de harina producida.

La planta tiene cuatro dosificadores automáticos distintos de la marca BUHLER.

En la última etapa del proceso de molinería, el equipo TWINROTOSTAR, que tiene un diseño de doble cuerpo, procesa la harina a través de doce tamices.

La malla más fina del proceso es de 130 a 132 micrómetros, donde la harina atraviesa. Esta etapa garantiza que la harina lista para envasar y vender esté libre de impurezas y que no contenga materiales extraños con granulometría superior que puedan afectar su calidad.

El esquema de distribución de tamices y cargas en un TWINROTOSTAR BUHLER se muestra en la Figura 49. El rojo representa los pasajes de harina a través de los tamices, mientras que el azul representa las impurezas potenciales.

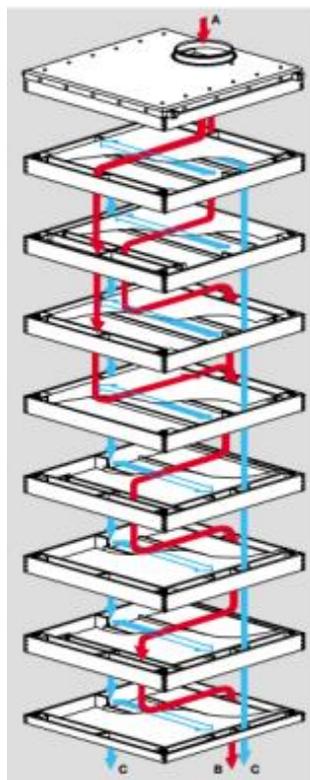


Figura 49. Esquema de distribución de un TWINROTOSTAR BUHLER. Tomada de “Revista de equipos”, por BUHLER. (16)

La harina se envasa después de cumplir con todas las especificaciones de calidad requeridas, sin excepción.

Tres balanzas BUHLER dispuestas en serie en la planta de molino ALICORP entregan pesadas secuenciales de 50 kg. El embolsado de la harina se lleva a cabo en línea directa y no se almacena como producto terminado.

En promedio, se envasan 2000 sacos, lo que equivale a 100 toneladas, en ocho horas. Después del envasado, el producto pasa al proceso de paletización y se envía al almacén para su almacenamiento y posterior distribución en varios mercados.

### 2.2.30. Definición de conceptos básicos

Elevador de cangilones: sistema vertical utilizando cangilones que se mueven sobre una correa o cadena para transportar materiales a granel. Se usa ampliamente en industrias para transportar materiales como granos y polvos de manera eficiente.

Acarreo: El acarreo es el transporte de materiales o bienes de una ubicación a otra mediante vehículos como camiones, trenes o barcos.

Molienda: La molienda es el proceso de reducir el tamaño de las partículas de un material sólido, generalmente mediante la trituración o pulverización, para obtener un producto más fino o en polvo.

El trigo es un tipo de cereal lleno de proteínas vegetales y lleno de hidratos de carbono complejos.

ALICORP S.A.A: Es una empresa dedicada a la elaboración de productos industriales, de consumo masivo y de nutrición animal. Para ello, cumple con estándares internacionales de calidad y competitividad en todos sus procesos de producción.

Inventor Profesional: Software CAD 3D que brinda herramientas de diseño mecánico, documentación y simulación de productos de calidad profesional.

Rocky DEM: ANSYS Rocky es el software de método de elementos discretos (DEM) líder en la industria que se utiliza para simular el movimiento de material granular y discontinuo.

Diseño mecánico: consiste en la aplicación de la ingeniería mecánica para dimensionar y dar forma a productos antes de ser fabricados, con el objetivo principal de cumplir con requisitos puramente mecánicos y satisfacer las necesidades para las que han sido concebidos.

VDI: Asociación Alemana de Ingenieros

ISO: Organización Internacional de Normalización

DIN: Instituto de Normalización Alemán

SI: Sistema internacional

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales

AISI: Instituto Americano del hierro y Acero

SAE: Sociedad de Ingenieros Automotores

FS: Factor de Seguridad

CAD: Diseño Asistido por Computadora

FEM: Análisis por Elementos Finitos

DEM: Método de elementos discretos

V: Velocidad (m/s)

$V_0$ : Velocidad constante (m/s)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

D: Diámetro (m)

A: Área (m<sup>2</sup>)

P: Potencia (Watts)

M: Momento (N.m)

W: Velocidad angular (radianes/segundos)

$\rho$ : Densidad de partícula (kg/m<sup>3</sup>)

W: Ancho de la partícula (m)

L: Largo de la partícula (m)

Se: Límite a la fluencia

$M_a$ : Momento flector máximo

E: Modulo de elasticidad

V: Razón de POISSON

$L_h$ : Ley de Hooke

$F_T$  : Fuerza tangencial (N)

$F_N$  : Fuerza normal (N)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque, Tipo, Nivel y Diseño de la investigación**

En el presente estudio se utilizó un proceso metodológico el más adecuado para resolver la hipótesis planteada: “Diseño de un transportador de cangilones para acarreo de trigo con una capacidad de 15 toneladas/hora aplicada en la empresa ALICORP Molino Arequipa”. Este proceso incluyó los siguientes pasos.

##### **3.1.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque mixto de la investigación implica la combinación de métodos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o serie de investigaciones. Este enfoque se utiliza para abordar de manera más completa y holística los planteamientos de investigación, permitiendo una comprensión más profunda y amplia del problema en cuestión.

LINCOLN (37). Durante muchas décadas, prevaleció la creencia de que los enfoques cuantitativos y cualitativos eran irreconciliables y opuestos entre sí, lo que llevó a la idea de que mezclarlos era imposible. Esta percepción se fundamentaba en la noción de que un enfoque podría anular al otro, lo que generaba un divorcio entre ambas metodologías. Sin embargo, en las últimas décadas, un número creciente de autores en el campo de la metodología y de investigadores han propuesto la unión de ambos procesos en un mismo estudio, metafóricamente denominado "el matrimonio cuantitativo-cualitativo".

Esta concepción reconoce que tanto el enfoque cuantitativo como cualitativo son opciones válidas para abordar problemas de investigación. Se consideran como herramientas complementarias que, al combinarse, ofrecen una comprensión más completa de los fenómenos estudiados, en lugar de ser vistos como paradigmas opuestos. Esto permite a los investigadores seleccionar y combinar métodos según las necesidades específicas de su estudio, maximizando así la validez y la profundidad de los resultados obtenidos. (37)

1) Aspecto cuantitativo

- a) Análisis y cálculo dinámico de los componentes del sistema de transporte vertical.
- b) Simulación del sistema transportador en base a softwares ANSYS 18.2 y el módulo ESS Rocky DEM

2) Aspecto cualitativo

- a) Presentación de resultados.
- b) Conclusiones.

### **3.1.2. Tipo de investigación**

GARCIA (38). La investigación tecnológica se centra en transformar la realidad existente mediante la adquisición de conocimientos prácticos en lugar de explicaciones teóricas. Su objetivo principal es obtener conocimiento para modificar la realidad en estudio, estableciendo así una conexión directa entre la investigación y la transformación. En lugar de simplemente buscar comprender fenómenos, la investigación tecnológica busca aplicar ese conocimiento para crear cambios tangibles y mejorar aspectos específicos de la realidad, ya sea en términos de desarrollo de productos, procesos o sistemas.

La tecnología se define como el conjunto de conocimientos y técnicas que se emplean para aprovechar prácticamente el conocimiento científico, con el fin de lograr objetivos específicos según las necesidades particulares. (38)

El diseño y modelado del transportador de cangilones de cangilones se llevará a cabo utilizando el software inventor profesional 2023. Posteriormente, se validará el correcto funcionamiento del elevador utilizando el software Rocky DEM, el cual demostrará el comportamiento del trigo durante la carga y descarga limpia dentro del elevador.

ALMERCOS.LM (36). La metodología de investigación tecnológica proporciona directrices para abordar problemas del mundo real mediante un enfoque empírico que aplica los conocimientos teóricos de la ciencia en la práctica. Adopta el método experimental de manera sistemática para resolver problemas. Estos avances en la metodología de investigación tecnológica tienen el potencial de transformar la comprensión de los fenómenos en el ámbito de las carreras de ingeniería. (36)

Por lo tanto, a través de la investigación, se observará y analizará mediante cálculos, lo que permitirá demostrar la teoría mediante el modelado y la simulación computacional aplicados al transportador de cangilones.

### **3.1.3. Nivel de Investigación**

La investigación aplicada, también conocida como diseño o innovación, utiliza los resultados de la investigación para desarrollar tecnologías que aborden problemas sociales, con un enfoque en mejorar la eficiencia y la productividad.

CASTILLO (45). En la era de la innovación, la investigación en diseño despliega un papel crucial al ofrecer soluciones integrales que abarcan desde la

investigación en laboratorios hasta la implementación práctica de tecnologías por parte de los usuarios finales. Este enfoque coordinado y multidisciplinario se vuelve aún más relevante en países en vías de desarrollo, donde los cambios demográficos y tecnológicos demandan soluciones innovadoras adaptadas a las necesidades locales, impulsando así el crecimiento y la expansión de la investigación en diseño orientada al desarrollo de la innovación. (45)

Las ciencias del diseño se distinguen por su enfoque en los "objetos artificiales", los cuales deben cumplir con objetivos específicos, en contraste con las ciencias naturales que estudian las leyes de los objetos naturales. El diseño, como disciplina, implica una actividad creativa que involucra procesos de pensamiento complejos, los cuales facilitan la innovación. (45)

El desarrollo de un elevador de cangilones implicaría un nivel de investigación aplicada o de diseño, ya que se busca aplicar conocimientos existentes para desarrollar una solución práctica y concreta para un problema específico. En este caso, se estaría innovando en el diseño la tecnología de simulación del comportamiento del trigo en el elevador de cangilones para mejorar su eficiencia, en el proceso de carga y descarga limpia. Este proceso requeriría la integración de principios de ingeniería, diseño industrial y posiblemente otras disciplinas para desarrollar una solución que sea funcional y óptima.

#### **3.1.4. Diseño de investigación**

Diseño en campo: Consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna. (45)

El investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes, por medio de la observación directa, la entrevista u otras técnicas, también se puede realizar a nivel exploratorio, descriptivo y explicativo. (45)

El diseño de la investigación es el plan, la estructura, la estrategia general, de carácter flexible, que orienta y guía al investigador para responder o resolver el presente problema mediante el diseño. (45)

El diseño de investigación del presente trabajo está constituido por cinco fases:

Fase I: Decisión y definición de un método de estudio para realizar el diseño de un transportador de cangilones, y para ello escogimos la norma alemana "VDI 2221".

Fase II: Conceptos de solución.

Fase III: Cálculo y selección de componentes por análisis dinámico y cálculo, éste relaciona las fuerzas del sistema de transporte con el movimiento de los cuerpos rígidos, en función del equilibrio.

Fase IV: Simulación del diseño mecánico del transportador por software Inventor y la interacción de las partículas de trigo con software Rocky – DEM.

Fase V: Evaluación económica del proyecto de investigación.

### **3.2 Métodos y Materiales**

Un ciclo de diseño básico es una unidad fundamental, se aplica de forma iterativa en todo el proceso de diseño, su secuencia es de forma de espiral convergente, donde las soluciones y resultados obtenidos se aproximan más a los objetivos y requerimientos del enunciado del problema.

La norma “VDI 2221”, describe la secuencia del proceso de diseño. Establece las etapas primordiales de la secuencia de diseño de un producto. Continuando con esta filosofía de diseño, se empieza con la explicación de la tarea, que es la especificación de las necesidades del cliente, hasta llegar a la etapa de diseño del producto.

La selección de materiales es un punto muy importante del avance del producto y debe estar en cada ciclo de decisión. Con la planificación simultánea, el ingeniero o especialista ya sabe al inicio de la planificación si hay problemas con la disponibilidad, los costes o el manejo de los materiales.

Está claro que los materiales a utilizar deben decidirse con suficiente antelación, porque esto puede afectar a la planificación detallada y, sobre todo, al coste final del producto. Existen varios factores al seleccionar elementos de un transportador vertical de cangilones.

Estos factores de investigación se agrupan de la siguiente forma.

- a) Factores físicos y mecánicos.
- b) Análisis dinámico y cálculo de los componentes.
- c) Selección de los componentes.
- d) Factores de vida útil de los componentes.
- e) Costos, disponibilidad y factibilidad.

### 3.2.1. Fases de la metodología

Los periodos del diseño que tiene el método VDI 2221, son las siguientes:

- Percepción de la solicitud

Establece el punto de inicio en la fabricación de un mecanismo, en esta secuencia del proyecto se establece la magnitud del problema y se plantea como objetivos una lista de exigencias en la cual se refleja las características primordiales con las que debe cumplir el diseño.

El conjunto de pasos secuenciales que el diseñador lleva a cabo en ésta etapa del diseño son los siguientes.

- Admitir el problema en forma crítica
- Explorar el estado de la tecnología
- Estudiar la postura del problema
- Demostrar las probabilidades de ejecución
- Concluir las exigencias, clasificarlas y cuantificarlas. Colocar prioridades
- Especificar absolutamente la lista de exigencias.
- Organizar, programar el desarrollo del problema

- Concepto de la solución

Se logra el desarrollo del concepto de solución al formular una estructura de funciones e investigar los principios de solución adecuados para cada una, lo que nos lleva a alcanzar un concepto de solución óptimo.

Se subdivide en dos etapas:

- Estructura de funciones
- Concepto de solución

- Elaboración del proyecto

Esta fase tiene como objetivo desarrollar un proyecto definitivo a partir de la estructura de construcción óptima, encontrada en la fase anterior. Esta fase tiene dos etapas:

- Proyecto Preliminar
- Proyecto Definitivo

El proyecto es próspero y tiene que seguir las siguientes reglas básicas.

- Claridad
- Simpleza
- Seguridad

• Elaboración de detalles

Se trata del proceso de elaboración minuciosa de un conjunto de documentos detallados que servirán como guía para la construcción de una máquina, abarcando desde planos hasta especificaciones técnicas y procedimientos de montaje.

La documentación a presentar en ésta etapa es:

- Entregar el fundamento teórico
- Creación de las formas, dimensionado definitivo y completo
- Definir completa y definitivamente el material, clases de procesos de fabricación, tolerancias
- Interpretar las piezas. Se debe dimensionar e indicar el material.
- Detallar planos de conjuntos, listas de piezas y otros documentos

a) Lista de exigencias.

La primera etapa define la determinación y las características del transportador de cangilones a diseñar y modelar, se estudia el estado de la tecnología. Su resultado final es una lista de las demandas y deseos. (39)

- Asumir el problema como algo crítico.
- Estado de la tecnología y estudio de la situación problemática.
- Definir las exigencias con claridad y orden de forma cuantificable.
- Planeamiento y organización.

Tabla 16. Formulario de lista exigencias. (39)

Lista de exigencias		Edición	Pág. de
Proyecto		Cientes	Fecha
Deseo o Exigencia		Descripción	Autor:
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable

Nota: Tomada de Métodos de diseño de Ingeniería Mecánica Barriga.

b) Determinación de la estructura de funciones.

Esta etapa realiza una estructura de funciones la cual detalla el ingreso y salida de datos seleccionados, se plasma también la señal y materia en una secuencia lógica, donde la caja negra tiene bastante valor.

En la figura 50 se muestra la estructura de funciones (39).

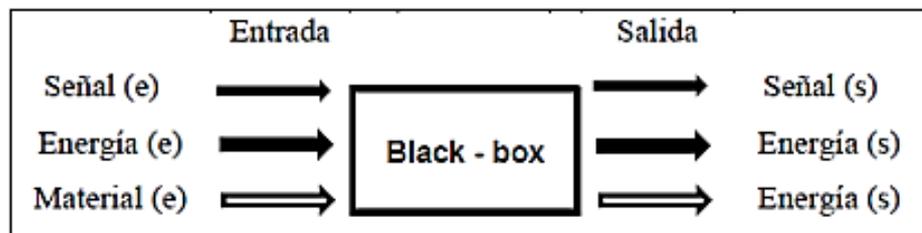


Figura 50. Caja negra "Black box". Tomada de "Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica". (39)

- Especificación de principios tecnológicos y secuencia de operaciones.
- Procedimiento técnico PT-PT: Es indispensable un proceso técnico (preparación, ejecución, control y la fase final).
- Aplicación y determinación de los sistemas técnicos y sus delimitaciones: Se precisa la ejecución de forma mecánica o automatizada.
- Las funciones agrupadas determinan y representan la estructura de funciones.

c) Matriz morfológica.

Es la conversión de la estructura de funciones en una estructura construida (tabla 17).

- Entrada y tipo de acción: En un proceso técnico donde interviene la energía, señales y materiales. Para la conversión aparecerán otras magnitudes.
- Matriz morfológica: Al término de analizar las funciones se investigan los conductores de solución para cada función individual o parcial, el cual tiene que representar de forma esquemática en una matriz (en las filas se coloca las funciones y en las columnas los conductores de cada solución).

Tabla 17. Matriz morfológica. (39)

Funciones parciales (o elementos)	Alternativas de efecto de portadores de principios de solución, de forma, de grupos funcionales, de bloques funcionales				
	1	2	3	4	n
1	S11	S12	S13	S14	S1 n
2	S21	S22	S23	S24	S2 n
3	S31	S32	S33	S34	S3 n
4	S41	S42	S43	S44	
.					
.					
.					
n	Solución 1		Solución 3	Solución 2	

Nota: Tomada de Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica. (39)

- Incorporar conductores de funciones: Elaborar uniones con el propósito de disminuir la solución y el proceso de evaluación. Se deben monitorear las uniones obtenidas, buscando que estas sean compatibles con cada elemento y otros parámetros técnicos.
- Definir la disposición básica: Los conceptos tienen que reflejar una idea con el propósito que tenga familiaridad y parentesco con los elementos.
- Especificar el concepto óptimo para mejorar y verificar

d) Concepto de solución.

Para encontrar el concepto de solución hay distintos caminos, unos comunes, otros intuitivos y los expresivos. Lo que aquí se presenta, es una manera expresiva para llegar a las soluciones con un esquema ordenado y clasificado mediante la matriz morfológica. De esta manera se pretende elaborar un sistema de soluciones completo para el diseño de un transportador de cangilones para el acarreo de trigo con una capacidad de 15 Toneladas/hora planteado.

e) Concepto de solución óptima

Se toma como referencia la solución óptima seleccionada y se estudia la solución, se define las principales geometrías basándose en los requerimientos, los esfuerzos y deformaciones. Además, se establecen un estudio técnico-económicos.

Los métodos para efectuar la evaluación pueden ser las siguientes recomendaciones VDI.

- VDI 2802: Análisis de valores y cálculo de comparación
- VDI 2225: Diseño técnico-económico
- VDI 2212: Búsqueda sistemática y optimización de Soluciones constructivas

f) Elaboración de detalles (cálculo y selección de componentes).

La etapa final implica la definición de la configuración definitiva de la máquina. Durante esta fase, se llevan a cabo los cálculos de todos los componentes del sistema de la máquina, lo que resulta en una lista detallada de todas las piezas mecánicas necesarias, así como la cantidad de materiales requeridos para el diseño de la máquina. El resultado de esta fase incluye las simulaciones mecánicas aplicando las normas respectivas, así como simulaciones del comportamiento del material dentro de la máquina. Además, se generan los planos de fabricación, montaje e isométricos correspondientes.

### 3.2.2. Desarrollo de aplicación de método.

En la figura 51, se observa la secuencia de pasos tomados aplicando las directrices de la metodología VDI 2221.

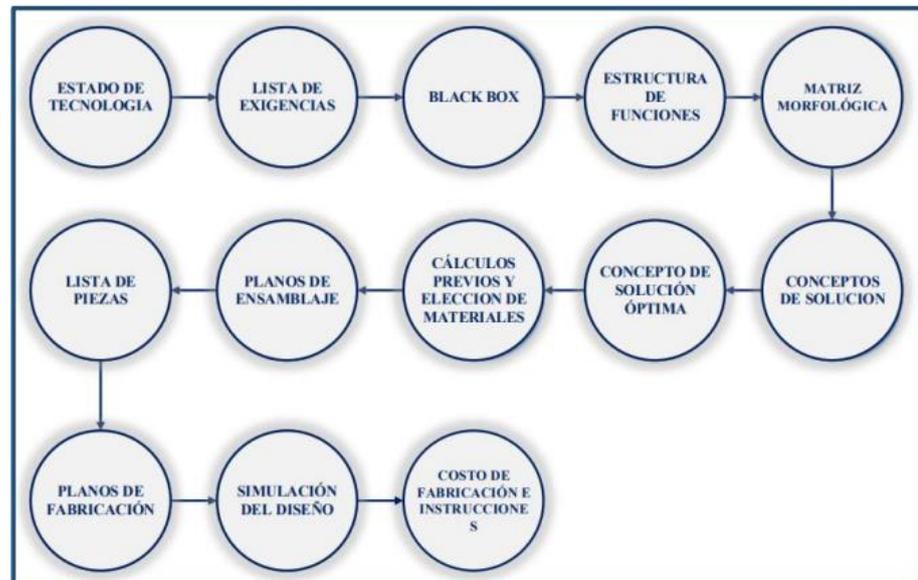


Figura 51. Configuración de diseño de acuerdo con la normativa VDI 2221. Diseño propio.

### 3.2.3. Estado de tecnología

Esta etapa informa sobre la búsqueda de información sobre el diseño de un transportador de cangilones, posteriormente, para crear y realizar una actividad, una función o un proceso que sean capaces de asumir esta tarea, sabiendo que la máquina a diseñar será utilizada en un campo industrial-comercial, de tal forma que sea accesible en cuanto al costo para su adquisición por las empresas del rubro o a fines conexos, para el efecto, se informan las diferentes fichas técnicas de fabricantes y mecanismos de diferentes autores basado en elevadores de cangilones.

#### a) MAXI-LIFT INC.

Es una empresa norteamericana, asentada en Dallas, Texas. Sus productos se fabrican en instalaciones centrales de más de 200,000 pies cuadrados. Fabrica y vende cangilones en más de 70 países, con distribuidores en todo el mundo.

Los accesorios de MAXI-LIFT INC. se utilizan en campos de arroz en Guyana, modernización de cangilones en Rumania, plantas nuevas de alimentos en China, grandes proyectos fluviales y puertos marítimos en América del Norte, fábricas de cemento en México y las más grandes instalaciones procesadoras de frijoles de soya en Argentina.

El cangilón SS o SUPER STRENGTH DURA-BUKET está fabricado con material plástico, dicho cangilón fue diseñado con un ángulo de descarga de 45 grados, y se pueden colocar en espacios más reducidos que proporciona una descarga óptima y más limpia. El cangilón es de peso ligero y de forma cónica.



Figura 52. Cangilón SS o SUPER STRENGTH DURA-BUKET. Tomada de "MAXI-LIFT INC" 2010. (2)

## b) Elevadores a cangilones M42

GLOBAL INDUSTRIES INC es un reconocido fabricante a nivel internacional de sistemas de almacenamiento de granos, manipulación y acondicionamiento de productos. La compañía ha informado sobre el lanzamiento del elevador de cangilones York M42-200.

Este modelo de última generación permitirá a los Productos York contar con un elevador de 20.000 bushels por hora con las siguientes características.

- Cangilones de una sola fila (20 "x 8" LP con un espaciado de 7 ")
- Polea de 42"
- Canalización (26 "x 14") para acompañar la nueva capacidad.

Esta empresa opera una serie de divisiones y sub divisiones que producen productos muy relacionados con la agricultura. Estas divisiones pueden trabajar de forma independiente o en conjunto con otras líneas de productos dentro de la división global.

MFS/York es un líder fabricante de silos de grano que ofrece una línea completa de tanques, tolvas, elevadores de cangilones y sistemas de transporte.

GLOBAL INDUSTRIES INC fabrica los elevadores de cangilones M42, cuya planta de fabricación está ubicada en el estado norteamericano de Nueva Jersey. La normativa estatal y local puede requerir que los elevadores de cangilones estén equipados con salidas de aire para evitar explosiones.

Es importante asegurarse de que los paneles para alivio de explosiones cumplan con las normativas y estándares de seguridad pertinentes. Si se trata de una regulación específica para elevadores de granos a granel en exteriores, entonces la redacción parece clara y adecuada. Es fundamental cumplir con estas normativas para garantizar la seguridad durante el manejo y transporte de granos.

Este elevador está diseñado para soportar su propio peso de manera segura y tolerar vientos de hasta 100 kilómetros por hora, especialmente a la altura especificada, siempre y cuando esté equipado con los cables de sujeción apropiados para garantizar su estabilidad.

No ha sido diseñado para soportar o sostener otros equipos.

El elevador debe estar correctamente ubicado para recibir el material entrante y descargarlo en la ubicación deseada. Esto requiere una colocación precisa del pie del elevador.

En la figura 53 se muestra el elevador de cangilones M42. (23)

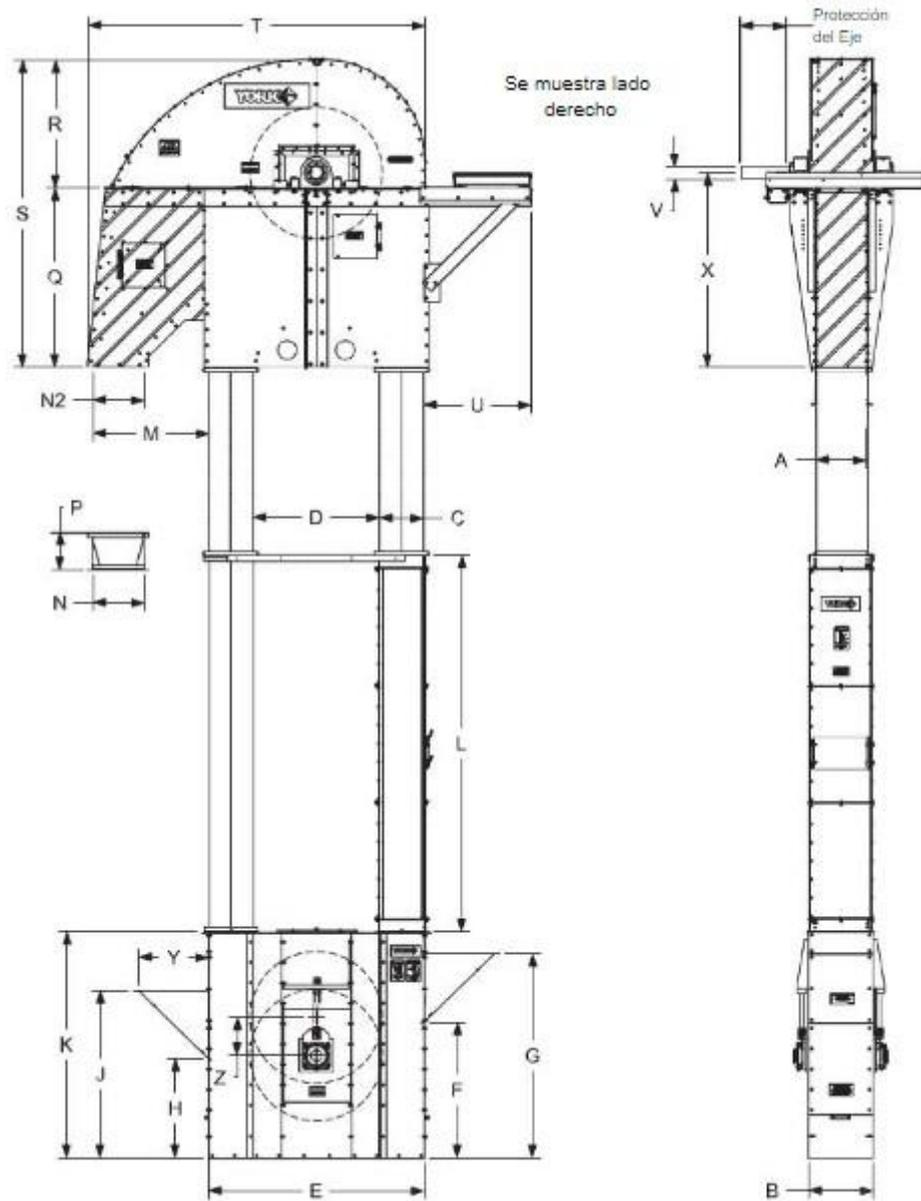


Figura 53. Elevador Descarga Centrifuga M 42. Tomada de “Características y dimensiones de Elevadores”, por M42 Elevadores de cangilones, 2017. (23)

Tabla 18. Elevador SC42

Modelo	Capacidad en kilogramos / hora	Diámetro de la Polea	RPM	Tamaño del Cangilón	Espaciado entre Cangilones	Diámetro mínimo del eje motriz
SC42-80	8000	42 " / 1.067 m	52	12" x 8" / 0.305 x 0.203m	10" / 0.254 m	0.087 m
SC42-100	10000	42 " / 1.067 m	56	12" x 8" / 0.305 x 0.203m	8" / 0.203 m	0.087 m
SC42-120	12000	42 " / 1.067 m	58	12" x 8" / 0.305 x 0.203m	7" / 0.178 m	0.087 m
SC42-150	15000	42 " / 1.067 m	58	12" x 8" / 0.305 x 0.203m	8" / 0.203 m	0.1 m

*Nota:* Elevadores a cangilones M42. Tomado de "Global Industries Inc." (p. 17), 2016, disponible en [www.manualslib.es](http://www.manualslib.es). (23)

c) Elevadores de cangilones Martin

La empresa MARTIN en Arlington, Texas, EE. UU., diseña y fabrica elevadores de cangilones por más de 75 años.

Ofrece una línea completa de elevadores de cangilones industriales diseñados para manejar eficientemente una amplia gama de materiales secos de fluidez libre en un espacio relativamente reducido, con un consumo mínimo de energía.

Estos elevadores industriales están equipados con sistemas de descarga centrífuga y continua, con los cangilones montados ya sea mediante transmisión de cadena o banda.

Para aplicaciones exigentes y de alto rendimiento, ofrecemos elevadores de descarga centrífuga de trabajo pesado. Este tipo de elevador está diseñado y construido específicamente para satisfacer las demandas severas de empresas cementeras, así como también de aquellas que trabajan con carbón, minerales finos, piedra caliza, fertilizantes, agregados y yeso.

Sus elevadores de trabajo Pesado utilizan cangilones tipo AC o ACS.

La figura 54 detalla el elevador de cangilones MARTIN.

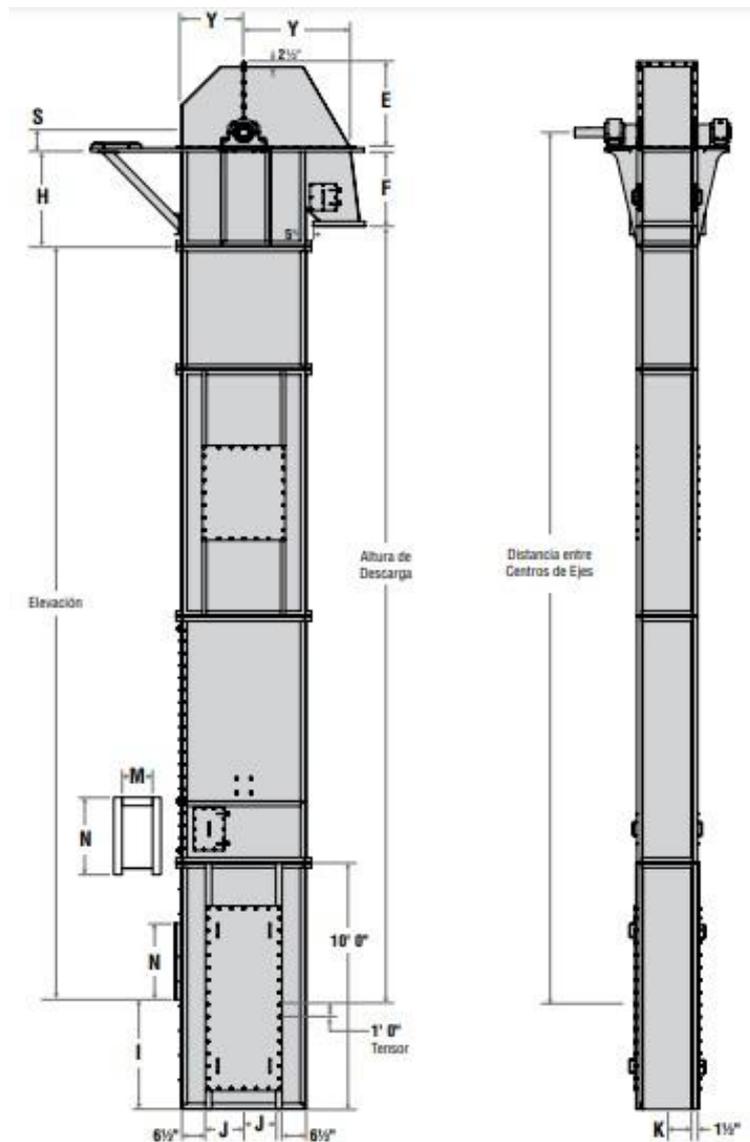


Figura 54. Elevador Descarga Centrifuga Martin. Tomada de “Características y Configuraciones de Elevadores”, por Martin Elevadores de cangilones, 2017. (24)

#### d) Elevadores de cangilones LINK-BELT

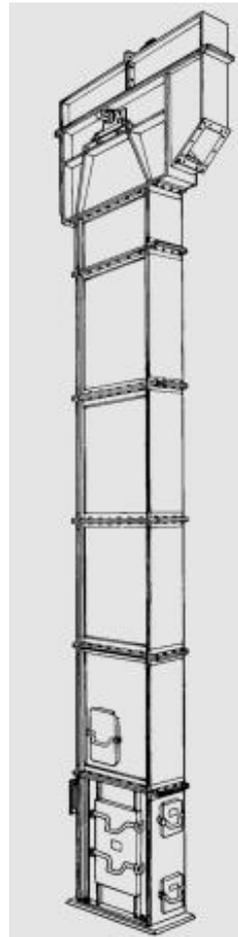
Los elevadores de descarga centrífuga LINK-BELT son altamente eficientes en la manipulación de materiales a granel sueltos y finos, que fluyen fácilmente y pueden contener partículas de tamaño pequeño a mediano.

Su descarga del material la realiza por fuerza centrífuga.

El espacio y la velocidad de los cangilones son aspectos importantes a considerar en los elevadores de cangilones de descarga centrífuga.

El elevador de cangilones LINK-BELT Tipo 1 son confiables para elevar y descargar materiales a capacidades nominales.

En la figura 55 se detalla el elevador de cangilones LINK BELT.



*Figura 55.* Elevador de cangilones Tipo 1. Tomada de “Material HANDLING”, por SYNTRON 2019. (25)

#### e) Elevadores de cangilones y transportadores SCAFCO

Los elevadores de cangilones de SCAFCO están diseñados para ser resistentes y confiables, permitiendo rapidez y eficiencia en todas las etapas del manejo del material.

SCAFCO se asegura que cada sistema sea diseñado y fabricado cumpliendo con las normas agrícolas, comerciales e industriales.

Los elevadores de cangilones SCAFCO cuentan con galvanizado G-115, lo que los hace muy resistentes a la corrosión y tiene un acabado duradero y de alta calidad.

La figura 56 detalla el elevador de cangilones SCAFCO.

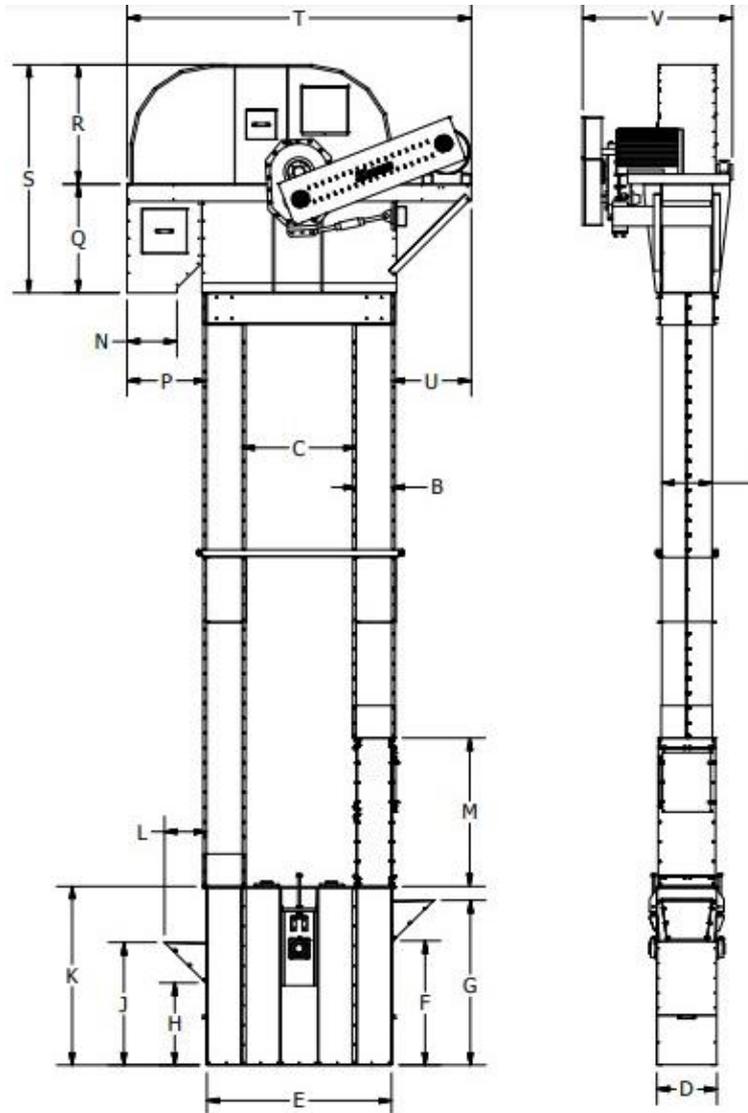


Figura 56. Elevador de cangilones SCAFCO. Tomada de “Elevadores de cangilones y transportadores”, (26).

Sus características y beneficios son:

- Su construcción es de acero galvanizado, con uniones empernadas que evitan la corrosión debido a la alta acumulación de humedad y polvo.
- Son de fácil mantenimiento con piernas desmontables, tanto en la parte delantera como en la trasera.

- Los soportes de cable son estándar y proporcionan estabilidad y mantienen la alineación de las piernas.

Tabla 19. Características técnicas de elevador de cangilones SCAFCO SB8

Especificaciones							
Capacidad	BHP	MTPH	Velocidad de polea			Cangilón	
			RPM	Ft/pulg	m/s	Tamaño	Espacio
SBB-2	200	5	120	251	1.3	0.160 X 0.120 m	0.343 m
SBB-4	400	10	120	251	1.3	0.160 X 0.120 m	0.228 m
SBB-6	600	15	120	251	1.3	0.160 X 0.120 m	0.152 m
SBB-8	800	20	120	251	1.3	0.160 X 0.120 m	0.114 m
Cabezal		Bota		Brida	Polea	Correa	
Polea		Polea		Brida Empernada	Radio 0.102 m	Resistencia 200 PIW	
Eje 0.037 m		Eje 0.037 m					
Cojinete - Pillow Block		Cojinete - Brida					

Nota. Elevadores de Cangilones SCAFCO. Tomado de “Elevadores de Cangilones y Transportadores” (p. 7), 2022, disponible en [www.SCAFCO.com/grain](http://www.SCAFCO.com/grain). (26)

### 3.2.4. Lista de exigencias

El desarrollo de la lista de exigencias va de la mano con los antecedentes de los problemas encontrados. Se consideran las necesidades y exigencias de los probables clientes solicitantes para lograr un diseño óptimo del transportador de cangilones, el cual está destinado al acarreo de trigo con una capacidad de 15 toneladas y una altura de 10 metros.

En la Tabla 20 se muestra la lista de exigencias.

Tabla 20. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	PÁGINA...
Proyecto: Diseño de un elevador de cangilones para el acarreo de trigo con una capacidad de 15 Tonelada/hora.		Facultad de Ingeniería	Fecha: 01/06/2023
		Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica	
		Área de Diseño	Autor: Diego H. Jiménez Alvarado
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Función	E	Acarreo de trigo para proceso de molienda.	Diego H. Jiménez Alvarado

Geometría	E	Las dimensiones del diseño del transportador a cangilón son: la altura de descarga $H = 10$ metros, cabezal de motriz:0.5m, cabezal conducido:0.5m, y otras medidas requeridas por el cliente.	Diego H. Jiménez Alvarado
Geometría	E	El espaciamiento de la doble fila de cangilones modelo HD-Max 6×5 será de 0.250m tomado desde el eje del cangilón el cual tendrá la descarga limpia sin retornos de trigo.	Diego H. Jiménez Alvarado
Geometría	E	El cangilón seleccionado modelo HD-Max 6×5, tiene las siguientes dimensiones. - Longitud 6.375” o 0.161 m - proyección 5.625” o 0.142 m - profundidad 5” o 0.127 m	Diego H. Jiménez Alvarado
Cantidad	E	El número de cangilones para el siguiente sistema de elevación tiene 172 cucharas, distribuido en dos filas simétricas.	Diego H. Jiménez Alvarado

Geometría	E	La carcasa de protección de la línea de cangilones será de 3 cuerpos unidos verticalmente uno sobre otro, cada cuerpo medirá 3 metros y la dimensión final será 9 metros.	Diego H. Jiménez Alvarado
Geometría	E	Respecto al eje motriz será de acero 1045 laminado en frío, su longitud será de 1 metro y su diámetro 38 mm	Diego H. Jiménez Alvarado
Cinemática	E	La velocidad de transporte debe ser continuo de 61 RPM.	Diego H. Jiménez Alvarado
Cinemática	E	La velocidad de traslación requerida para ir desde el eje de la polea conducida hasta la polea motriz es de 6.25 m/s, mientras que la velocidad angular de la polea es de 0.625 m/s, considerando que la velocidad total es de 1.6 m/s.	Diego H. Jiménez Alvarado
Energía	E	El sistema de elevación debe trabajar con motor trifásico de 4 polos y 1500 rpm.	Diego H. Jiménez Alvarado

Fabricación	E	Los componentes y características del equipo deben ser comerciales para su fácil adquisición, lo que garantiza un ensamblaje y fabricación rápidos.	Diego H. Jiménez Alvarado
Seguridad	E	El equipo debe tener estabilidad y contar con guardas de seguridad en el eje motriz y el motor que son las principales partes móviles.	Diego H. Jiménez Alvarado
Montaje	E	Para realizar el montaje se recomienda el uso del catálogo de ANSI/AISC para tomar referencias de tolerancias y normas.	Diego H. Jiménez Alvarado
Capacidad	E	El diseño del elevador de cangilones de 10 metros de altura tiene una capacidad de 15000kg/h.	Diego H. Jiménez Alvarado
Mantenimiento	D	Debe haber puertas de acceso fácil en la cabeza, doble pierna y bota del elevador de cangilones para su fácil acceso y mantenimiento del equipo.	Diego H. Jiménez Alvarado
Medio Ambiente	D	El equipo no debe generar residuos ni chispas de ignición que contaminen el medio ambiente.	Diego H. Jiménez Alvarado

Material	D	El elevador de doble fila de cangilones debe ser construido con materiales resistentes y de buena calidad, que sean comerciales y fáciles de adquirir. La carcasa del elevador debe ser de material A36, los cangilones de nylon, el eje motriz de SAE 1045 y la banda de transmisión del tipo E90 CC.	Diego H. Jiménez Alvarado
----------	---	--	---------------------------

Nota. Elaboración propia.

### 3.2.5. Determinación de la estructura de funciones

La primera etapa se especifica los propósitos a desarrollar y las características de la maquina diseñar, además de realizarse el estudio del estado de tecnología.

El objetivo final de esta etapa es elaborar una lista de demandas y deseos del usuario, conocida como lista de requisitos.

#### a) Caja negra

La función total del diseño de elevadores a cangilones para el acarreo de trigo con una capacidad de 15,000 kg/hora puede representarse en forma de una caja negra.

En donde hay magnitudes de entrada y salida, y se tienen en cuenta los datos ya trabajados de la lista de exigencias del sistema técnico.

La figura 57 detalla la caja negra del elevador de cangilones.

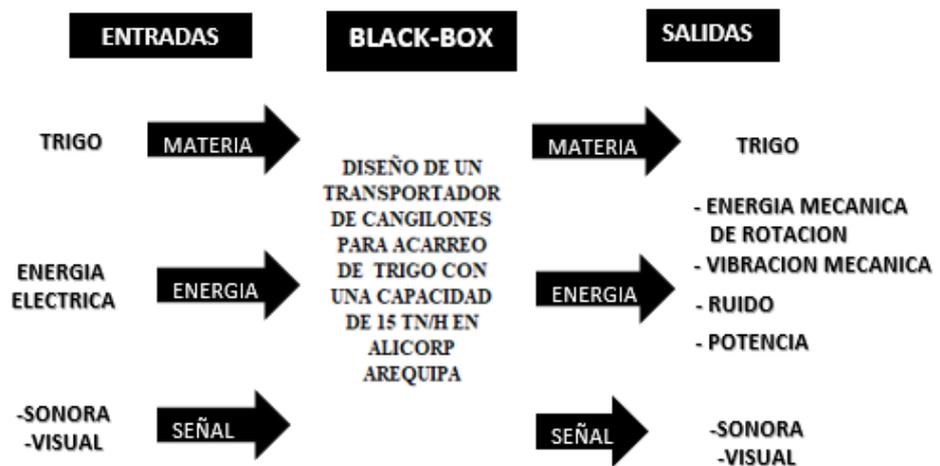


Figura 57. Caja negra. Diseño propio.

### Entradas

- Materia: Alimentación del trigo hacia la bota o pie del elevador, donde se produce el contacto con el cangilón para realizar la carga por dragado.
- Energía: La energía eléctrica es la principal fuente de alimentación para el funcionamiento de los elevadores de cangilones.
- Señal: Se consideran las señales visuales y sonoras del trigo.

### Salidas

- Materia: El trigo que sale con una fuerza centrífuga debido a la acción del diseño del cangilón y por ende la potencia mecánica.
- Energía: La energía mecánica de traslación y la velocidad angular de la polea conducen el movimiento desde la polea motriz cargada de cangilones, generando así la descarga de trigo.
- Señal: El sonido generado por el trigo al golpear la estructura debido a la fuerza centrífuga.

### 3.2.6. Estructura funcional

Se investigó y analizó exhaustivamente el desarrollo de la estructura funcional mediante la determinación de secuencias y procesos.

En la figura 58 se muestra la caja blanca, la cual actúa como un elemento transparente para aclarar las funciones secundarias y sus interacciones en el diagrama de bloques, revelando así las relaciones subyacentes entre ellas. (40)

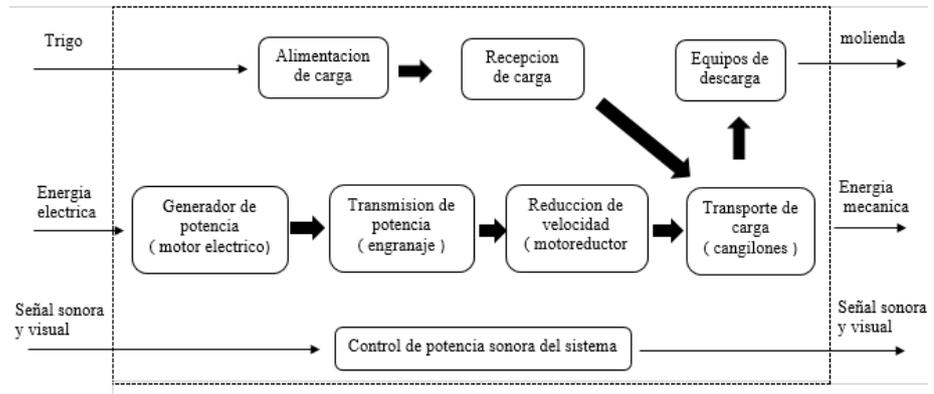


Figura 58. Caja blanca. Diseño propio.

La consideración anterior detalla una estructura de funciones global junto con estructuras de funciones parciales, como la mecánica y el control de proceso, que explican en detalle los principios tecnológicos en los que se basa la transformación.

### 3.2.7. Estructura de funciones electro-mecánica

El diseño de la estructura de funciones electro-mecánica se basa en el proceso técnico, estableciendo una estructura general que refleja las operaciones del proceso.

- a. Preparación: Colocar el trigo a granel en la tolva de carga.
- b. Ejecución: Transportar el trigo a granel con la limpieza exigida.
- c. Control: Dar marcha a la máquina para su operación diaria. Controlar la velocidad del reductor y procesador.
- d. Proceso final: Colocar el trigo a granel en la tolva de descarga para molienda.

Se elaboró la lista de requisitos para el diseño de un elevador de cangilones destinado al acarreo de trigo, con una capacidad de 15,000 kilogramos por hora. Esta lista de requisitos proporciona varias opciones de solución, las cuales fueron desarrolladas utilizando una matriz morfológica, que se presentará más adelante.

En la figura 59 se desarrolla la estructura de funciones electro-mecánico.

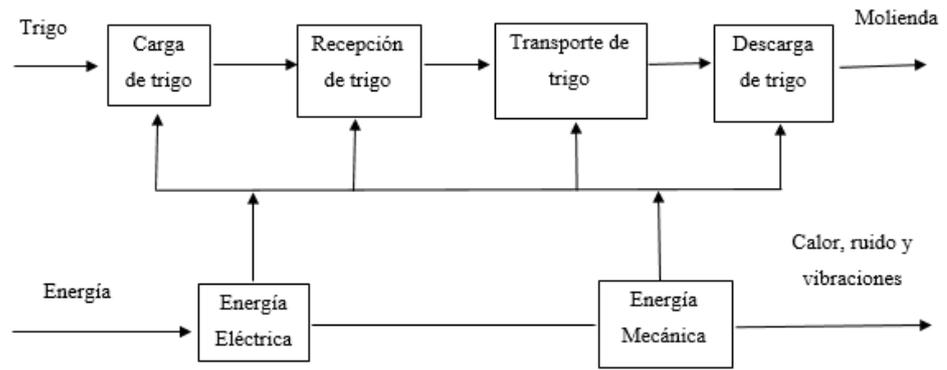


Figura 59. Estructura de funciones electro-mecánico. Diseño propio

### 3.2.8. Estructura de funciones de control de proceso

Se establecieron las siguientes principales fases del proceso

- 1) Preparación: Realizar pruebas exhaustivas para garantizar su correcto funcionamiento al sistema de control electrónico.
- 2) Ejecución: Para adquirir la señal de velocidad del transporte de trigo, se pueden emplear los sensores de velocidad y proximidad.
- 3) Control: Comparar los datos recibidos con los valores de velocidad de transporte esperados y verificar la coherencia de los dispositivos que monitorean el proceso. Realizar calibración y ajustes periódicos en los sensores y dispositivos.
- 4) Fase final: Convertir la señal de códigos a impulsos electrónicos y enviar señal hacia el tablero de mando del operador.

La figura 60 desarrolla la estructura de funciones electro-mecánico.

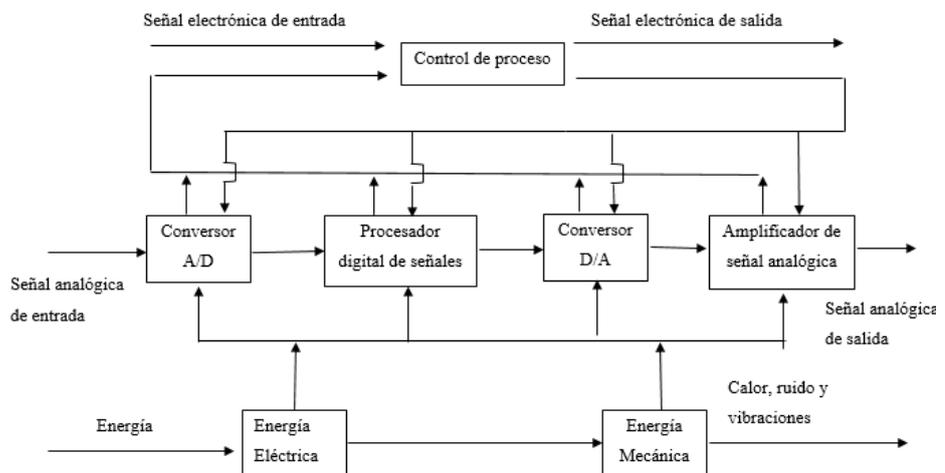


Figura 60. Estructura de funciones de control de proceso. Diseño propio.

### 3.2.9. Conceptos de solución

La búsqueda de conceptos de solución puede adoptar diferentes enfoques, incluyendo los tradicionales, intuitivos y discursivos. En este caso, se presenta un enfoque discursivo que utiliza una matriz morfológica como esquema ordenado para generar soluciones completas en el diseño de un elevador de cangilones para el acarreo de trigo con capacidad de 15 toneladas y una altura de 10 metros.

Este método busca proporcionar un marco estructurado para explorar y seleccionar las mejores opciones de diseño.

### 3.2.10. Matriz morfológica

La elaboración de la matriz morfológica sigue un proceso sencillo. En la primera columna se listan las funciones parciales requeridas. Para cada función parcial, se identifican los portadores de función, que son los principios o métodos que logran los efectos deseados. Estos portadores representan las posibles soluciones alternativas que cumplen con cada función.

En la figura 61 se aprecia la matriz morfológica.

MATRIZ MORFOLÓGICA				
DISEÑO DE UN ELEVADOR A CANGILONES PARA ACARREO DE TRIGO, CON CAPACIDAD DE 15 TN/H.				
N°	Función	Alternativas de Solución		
1	Alimentación	 Tolva de recepción	 Pala cargadora manual e hidráulica	 Obrero con pala 

MATRIZ MORFOLÓGICA

DISEÑO DE UN ELEVADOR A CANGILONES PARA ACARREO DE TRIGO, CON CAPACIDAD DE 15 TN/H.

2	Recepción de carga	 <p>Tolva receptora</p>	 <p>Bota elevador cangilón</p>	 <p>Embudo grano elevador</p>
3	Transporte de carga	 <p>Elevador a cangilones</p>	 <p>Elevador vertical</p>	 <p>Elevador de tijeras</p>
4	Transmisión de potencia	 <p>Poleas</p>	 <p>Faja Plana con pliegues</p>	 <p>Cadena</p>
5	Reducción de velocidad	 <p>Motor reductor</p>		

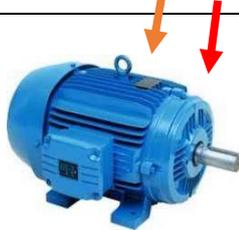
MATRIZ MORFOLÓGICA				
DISEÑO DE UN ELEVADOR A CANGILONES PARA ACARREO DE TRIGO, CON CAPACIDAD DE 15 TN/H.				
6	Generador de potencia		 <p>Motor eléctrico trifásico</p>	
7	Equipos de descarga	 <p>Tolvas para molino</p>	 <p>Molienda o molturación</p>	 <p>Molino para granos secos</p>

Figura 61. Matriz Morfológica. Diseño propio

Con el contexto de la ingeniería de diseño según la norma VDI 2221, se seleccionaron tres posibles soluciones para abordar un problema específico. Estas soluciones fueron evaluadas en base a cuatro parámetros clave: compatibilidad, cumplimiento de requisitos, costo permisible y facilidad de fabricación.

### 3.2.11. Evaluación de concepto de soluciones

La figura 62 muestra un elevador de carga hidráulico de tipo carril, utilizado para transportar mercancías y vehículos entre diferentes niveles de trabajo. Cuenta con un sistema hidráulico que incluye enclavamiento interactivo para evitar caídas y dispositivo de protección contra sobrecargas, garantizando un funcionamiento seguro y eficiente.

- Opción 1: Primer concepto de solución: Elevador de carga vertical PKL LIFT. (27)



Figura 62. Elevador de carga vertical “PKL LIFT”. Tomado de “TUHE LIFT”. (27)

- Opción 2: Segundo concepto de solución: Descarga centrifuga de cadena Serie 500 Martín.

Diseñada para manejar eficientemente granos y otros materiales de fluidez libre con un peso inferior a 60 libras por bushel. (24)

La figura 63 se observa el elevador de cangilones Martín.



Figura 63. Descarga centrifuga de alta velocidad para granos, serie 500 Martín. Tomada de “Características y Configuraciones de Elevadores”, por Martín Elevadores de cangilones, 2017. (24)

- Opción 3: Tercer concepto de solución: Elevador de tijera Motorizado JLG 430LRT.

Este modelo pertenece a la potente Serie RT, como el modelo MRT, diseñado para mejorar la eficiencia en una variedad de aplicaciones. Estos elevadores de tijera resistentes ofrecen mayor potencia y estabilidad, lo que permite levantar y transportar más personas y objetos. Con capacidades y plataformas más grandes, proporcionan un amplio espacio de trabajo. Además, están diseñados para desplazarse por terrenos irregulares y realizar trabajos industriales con facilidad. (28)

La figura 64 se observa el elevador de tijera.



*Figura 64.* Elevador de tijera Motorizado de JLG 430 LRT. Tomada de “Aplicaciones que requieren grandes espacios de trabajo”, por MAQCEN. (28)

### **3.2.12. Conceptos de solución óptima**

Se evalúa un rango tomando valores de 0 al 4, donde:

0: Insuficiente;

1: Apenas aceptable

2: Aceptable

3: Suficiente

4: Bueno ideal

Tabla 21. Evaluación de proyectos según valor técnico.

DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS										
PROYECTO DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR DE CANGILONES PARA ACARREO DE TRIGO CON UNA CAPACIDAD DE 15 TN/H DE LA EMPRESA ALICORP MOLINO AREQUIPA. – VALOR TÉCNICO (X <sub>i</sub> )										
Variantes de Concepto			Solución (S1)		Solución (S2)		Solución (S3)		Solución Ideal	
Nº	Crterios de Evaluación	G	P	P*g	P	P*g	P	P*g	P	P*g
1	Función	4	3	12	3	12	2	8	4	16
2	Geometría	4	2	8	3	12	3	12	4	16
3	Cinemática	4	3	12	3	12	2	8	4	16
4	Energía	4	3	12	3	12	3	12	4	16
5	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12	4	16
6	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
7	Montaje	4	3	12	3	12	3	12	4	16
8	Capacidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
9	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16
10	Medio Ambiente	4	3	12	3	12	3	12	4	16
11	Material	4	3	12	3	12	3	12	4	16
Puntaje máximo		48	35	140	36	144	33	132	48	192
Valor Técnico (X <sub>i</sub> )				0.73		0.75		0.69		1.00

Nota: Diseño propio.

Tabla 22. Evaluación de proyectos según valor económico.

<b>DISEÑO MECÁNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS</b>											
<b>PROYECTO</b> <b>DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR DE CANGILONES PARA</b> <b>ACARREO DE TRIGO CON UNA CAPACIDAD DE 15 TN/H DE LA</b> <b>EMPRESA ALICORP MOLINO AREQUIPA. – VALOR ECONÓMICO</b> <b>(Y<sub>i</sub>)</b>											
Variantes de Concepto			Solución (S1)			Solución (S2)		Solución (S3)		Solución Ideal	
Nº	Criterios de Evaluación	G	P	P*g	P	P*g	P	P*g	P	P*g	
1	Función	4	3	12	3	12	2	8	4	16	
2	Geometría	4	2	8	3	12	3	12	4	16	
3	Cinemática	4	3	12	3	12	2	8	4	16	
4	Energía	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
5	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
6	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
7	Montaje	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
8	Capacidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
9	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
10	Medio Ambiente	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
11	Material	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
Puntaje máximo		48	30	120	35	140	29	116	48	192	
Valor Económico (Y <sub>i</sub> )				0.63		0.73		0.60		1.00	

Nota: Diseño propio.

En la figura 65 se muestra la evaluación técnico-económica.

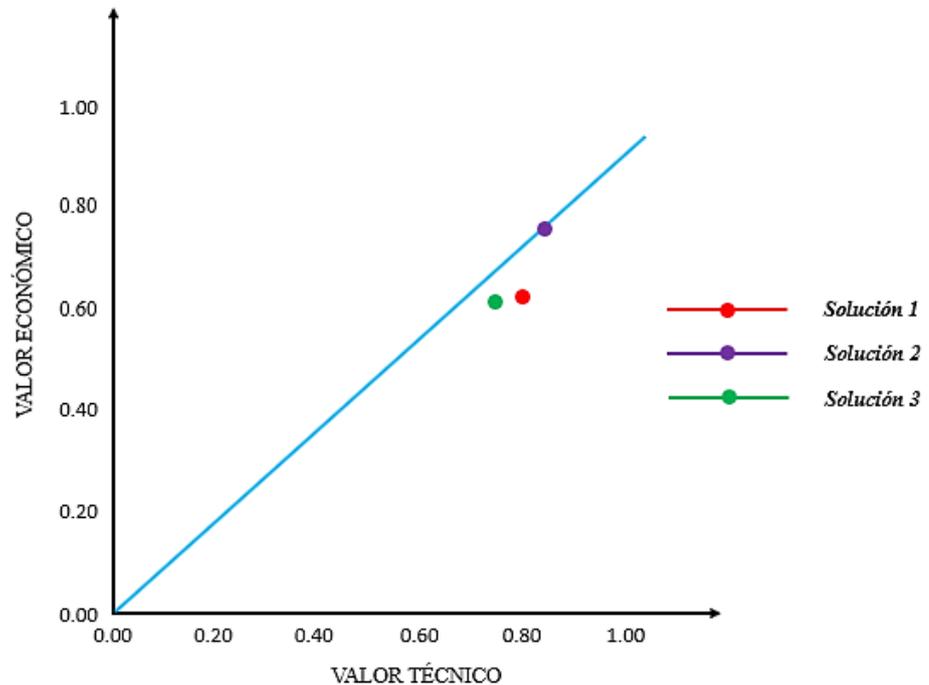


Figura 65. Evaluación técnico-económica. Diseño propio.

La figura 65 muestra el diagrama técnico-económico desarrollado según los principios establecidos en la VDI 2221. En este diagrama, se identifica que la solución óptima es el número 2, la cual se encuentra cerca del vértice (1.1) del gráfico. Esta solución destaca por tener el mayor valor tanto técnico como económico, posicionándola como la opción ideal que cumple con todos los requisitos del diseño del elevador de cangilones según los criterios establecidos en el estudio.

### 3.2.13. Cálculo y selección de componentes

Para el material seleccionado, es necesario establecer un proceso de almacenamiento o producción que garantice su preservación y disponibilidad para su uso futuro. Esto se basa en datos estadísticos sobre el consumo, producción, importación y exportación del material, adaptándose a sus características y necesidades específicas.

Para almacenar el material, se utilizarán silos equipados con un elevador de cangilones estratégicamente ubicado para elevar el material hacia ellos. El elevador descargará el material a través de un chute hacia una campana o válvula distribuidora, desde donde se dirigirá hacia cada silo de manera independiente, permitiendo el llenado individual de cada uno.

Para elevar el material hacia el silo, se utilizará un chute de carga conectado al elevador de cangilones. Este chute recibe el material desde la salida de las tolvas, que a su vez recibe el material transportado por camiones especializados. Las tolvas están equipadas con compuertas controladas para regular el flujo de material, que puede variar con el tiempo según las necesidades de producción.

La figura 66 se muestra la recepción del trigo.



*Figura 66.* Recepción de trigo. Tomada de molino victoria.

El material almacenado en los silos será evacuado mediante tornillos sin fin, que lo transportarán hacia el punto de salida para su carga. Este punto de salida alimentará un proceso realizado en una caja negra, donde el material experimentará modificaciones en sus propiedades, como cambios en la granulometría o la presencia o ausencia de cáscara.

Posteriormente, el material saldrá de la caja negra y será transportado por una faja transportadora hacia el inicio de un proceso posterior, que puede incluir envasado, secado, molienda u otras operaciones.

#### **3.2.14. Cálculo de la tolva de recepción de trigo**

Para justificar la dimensión de la tolva que debe recibir 15 toneladas por hora (15 ton/h) de trigo, podemos calcular el volumen necesario en función de la densidad del trigo y la tasa de flujo. Dado que la densidad del trigo puede variar entre 750 y 840 kg/m<sup>3</sup>, y BENTALL ROWLANDS considera una densidad de 795 kg/m<sup>3</sup>, podemos usar este valor para el cálculo.

- a) El camión transporta 30,000 kg y la densidad del trigo siendo 795 kg/m<sup>3</sup>, calculamos el volumen que transporta cada camión:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (1.14)$$

Donde:

V = volumen de trigo acarreado, en m<sup>3</sup>.

M = masa de trigo, en kg.

$\rho$  = densidad del trigo según BENTALL ROWLANDS 795 Kg/m<sup>3</sup>

$$V = \frac{30,000 \text{ kg}}{795 \text{ kg/m}^3} = 37.735 \text{ m}^3$$

- b) Para cada proceso necesitaremos 15 toneladas por hora por lo que definiremos que el material de un camión nos dará 2 horas.

$$\frac{30,000 \text{ kg}}{15,000 \text{ kg}} = 2 \text{ horas}$$

- c) Si la empresa tiene 2 turnos de 8 horas, el consumo diario debe ser:

$$\frac{15,000 \text{ kg}}{h} * 8h = 120,000 \text{ kg}$$

- d) Los camiones necesarios al día serán:

$$\frac{120,000 \text{ kg}}{30,000 \text{ kg}} = 4 \text{ camiones}$$

- 1) El volumen necesario para almacenar en un día de trabajo es:

$$V = \frac{120,000 \text{ kg}}{795 \text{ kg/m}^3}$$

$$V=150.94 \text{ m}^3$$

- 2) Cálculo de volumen de la tolva de recepción para granos de trigo:

Para el diseño de la tolva de recepción, se considera que la misma debe poseer una capacidad de 60 toneladas (con el fin de tener capacidad libre para el ingreso del próximo camión), asegurando de esta manera una

descarga continua. Esto equivale a lo que transportan 2 camiones aproximadamente.

La figura 67 detalla la tolva, cuyas dimensiones se determinan con los cálculos que se presentan a continuación:

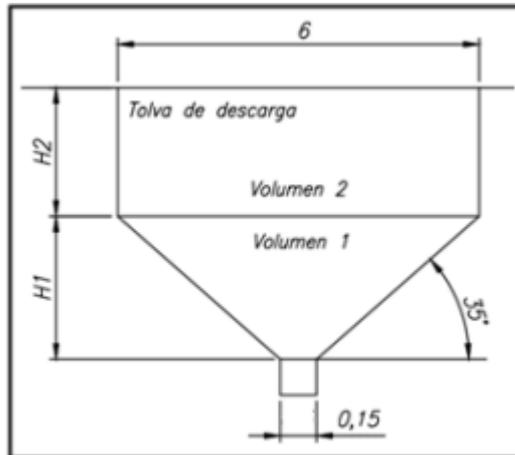


Figura 67. Dimensión de la tolva de recepción. Diseño propio.

3) El volumen de la tolva de descarga V se calcula con esta fórmula.

$$V = \frac{M}{\rho}$$

m = Masa a almacenar en la Tolva (kg)

P = Peso Específico del Cereal kg/m<sup>3</sup>

4) Por lo tanto, se obtiene que:

$$V = \frac{60,000 \text{ kg}}{795 \text{ kg/m}^3} = 75.47 \text{ m}^3$$

5) El ángulo de inclinación de descarga en la parte inferior de la tolva debe ser mayor al ángulo de talud de descarga del material (para el trigo se considera 30° como ángulo de talud). Se adopta un ángulo  $\alpha = 35^\circ$ , para el lateral de menos inclinación (correspondiente al largo de la tolva, así se asegura que los dos ángulos sean mayores a 35°). Con dicho ángulo se calcula (por trigonometría) la altura de la parte inferior H<sub>1</sub> como:

$$\text{tangente}(\alpha) = \frac{H_1}{\left(\frac{6 - 0.15}{2}\right)} \quad (1.15)$$

$$H_1 = \text{tangente}(35) \left( \frac{6 - 0.15}{2} \right) = 2.05 \text{ m}$$

$$H_1 = 2.05 \text{ m}$$

6) Con el valor de  $H_1$ , se obtiene el volumen de la parte inferior de la tolva  $V_1$  según:

$$V_1 = \left( \frac{A \times L \times H_1}{3} \right) = \left( \frac{5 \times 6 \times 2.05}{3} \right)$$

$$V_1 = 20.5 \text{ m}^3$$

7) Sabiendo que el volumen total de la tolva  $V$ , se calcula el volumen de la parte superior  $V_2$  como:

$$V = V_1 + V_2$$

$$V_2 = V - V_1$$

$$V = 75.47 - 20.5$$

$$V_2 = 54.97 \text{ m}^3$$

8) Luego, se obtiene la altura de la parte superior de la tolva  $H_2$ , de la siguiente forma:

$$V_2 = A \times L \times H_2$$

$$H_2 = \left( \frac{V_2}{A \times L} \right)$$

$$H_2 = \left( \frac{54.97}{5 \times 6} \right) = 1.83$$

$$H_2 = 1.83 \text{ m}$$

En resumen, las dimensiones para la tolva se expresan en la tabla 23.

Tabla 23. Resumen de Dimensiones de la Tolva de Descarga. Diseño propio

Parte	Geometría	Ancho	Largo	Altura	Volumen
Superior	Rectangular	5 m	6 m	1.83 m	54.97 m <sup>3</sup>
Inferior	Piramidal	5 m	6 m	2.05 m	20.5 m <sup>3</sup>

Nota: Dimensiones de la Tolva de Descarga calculadas según a su geometría.

La figura 68 detalla la geometría y el volumen de la tolva, que es de 75.47 m<sup>3</sup> y fue modelada utilizando el software Inventor. Se ha verificado que los cálculos teóricos son correctos.

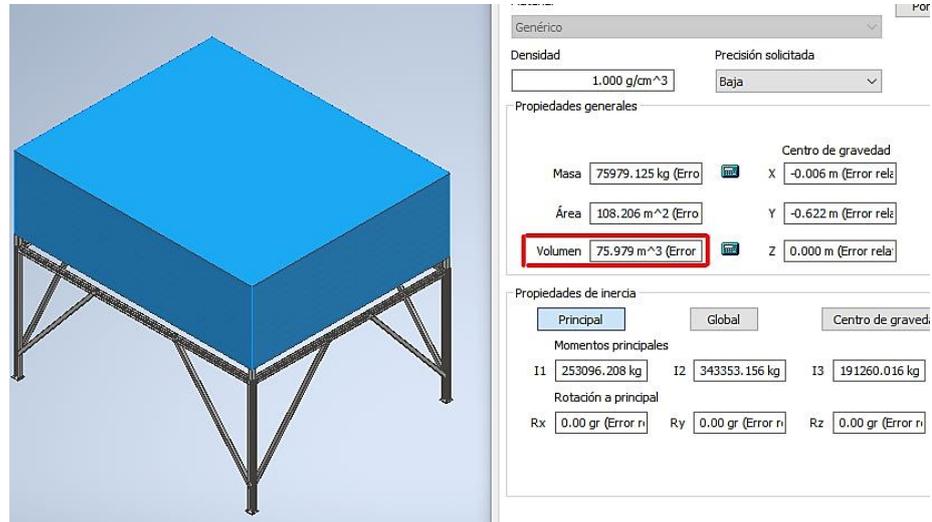


Figura 68. Geometría y volumen de tolva con software Inventor. Diseño propio.

### 3.2.15. Diseño de elevador de cangilones

Para el diseño señalado el sistema presenta las siguientes características del material y la tecnología a utilizar, que consiste en:

- a) Capacidad de carga nominal = 15,000 kg/hora. = 4.166 kg/s
- b) Altura de elevación = 10 metros = 10 metros
- c) Densidad del grano de trigo = 46 libras/pie<sup>3</sup> = 736.85 kg/m<sup>3</sup>
- d) Flujo libre.
- e) Abrasión media.
- f) Explosivo.

### 3.2.16. Selección del sistema a utilizar

Los elevadores de alta velocidad de descarga centrífuga están especialmente diseñados para manejar eficientemente materiales secos de fluidez libre, como granos, con una densidad de hasta 48 libras por pie cúbico. Estos materiales suelen ser medianamente abrasivos y tener partículas de tamaño reducido.

Los elevadores de alta velocidad de descarga centrífuga están equipados con una banda de PVC que cuenta con una carcasa de poliéster 100%, o bien, con una cubierta de hule especialmente desarrollada para este tipo de servicio.

Para efectos de selección es el sistema más adecuado a utilizar en el presente proyecto como hace referencia a la matriz morfológica elaborada. En la figura 69 muestra un elevador de banda de descarga centrifuga para granos de la Serie 500 de Martin.

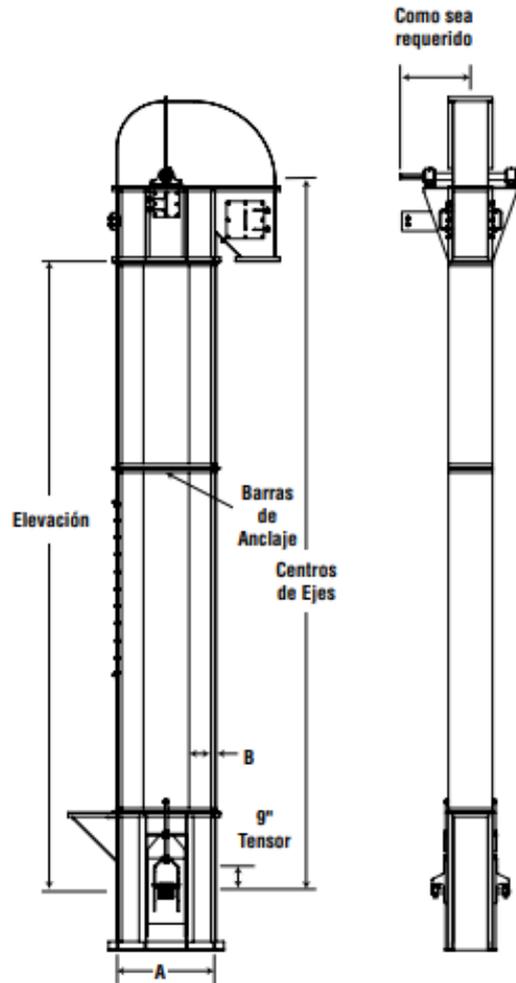


Figura 69. Elevadores centrifugos para granos de alta velocidad. Tomada de “Martin gran catálogo 4000”, 2022. (24)

Tabla 24. Material y series de elevadores recomendados.

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Código del material	Serie de Elevadores Recomendados
Trigo	720 - 769	C1/2-25N	E
Trigo, Sarraceno	593 - 673	B6-25N	E
Trigo, germen	288 - 449	B6-25	A, C
Trigo, quebrado	640 - 720	B6-25N	A, C

Nota: Materiales y designación de series de elevadores E: banda 500. Tomada de Martin gran catálogo 4000, 2013. (24)

### 3.2.17. Tipología de carga y cangilón

#### a) Carga de material

La carga se realizará por dragado, ya que el material no ofrece resistencia a la extracción.

#### b) Tipo de cangilón

La potencia y capacidad mencionada son con cangilones HD-Max. Sin embargo, es posible suministrar otros estilos de cangilones en diferentes materiales de construcción según sea requerido.

El cangilón HD-Max ha sido cuidadosamente diseñado para superar los requisitos de rendimiento del cangilón estándar. Presenta paredes más gruesas y un labio frontal reforzado para prolongar su vida útil y prevenir roturas u otro tipo de fallas, el cual es muy necesario para prevenir reemplazos frecuentes y minimiza las interrupciones en los periodos de trabajo.

El cangilón HD-Max es ideal para una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo cebada, frijoles, café, maíz, semillas, harina, fertilizantes, productos alimenticios, granos, malta, carne chatarra, minerales, nueces, avena, potasio, arroz, sal, azúcar, trigo y otros materiales agrícolas e industriales livianos. Se destaca especialmente en aplicaciones que requieren altos volúmenes de producción.

La figura 70 detalla el cangilón estilo HD Max.

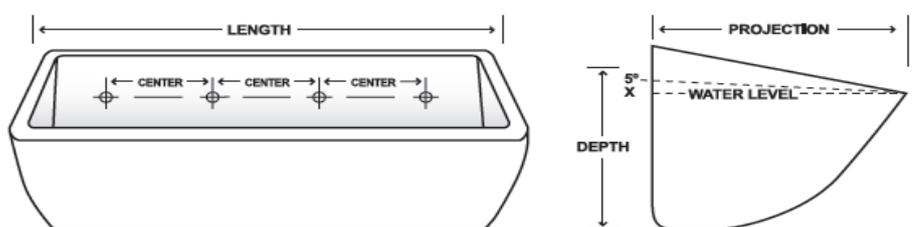


Figura 70. Cangilón HD Max. Tomada de “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado”, por “MAXI-LIFT INC. (2)

El cangilón seleccionado será de Nylon, el cual es el más adecuado para el manejo de materiales calientes, abrasivos y/o compactos, como arenas, minerales no ferrosos, pellets, sal, fertilizantes, entre otros. Está diseñado para soportar temperaturas extremas, con un rango de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $+100^{\circ}\text{C}$ , y ofrece alta

resistencia a la abrasión en el manejo de materiales como arcillas, granos, arena y fertilizantes. (2)

Tabla 25. Dimensión del cangilón elevador HD-Max.

TAMAÑO DEL CANGILON (PULGADAS)				PESO (LIBRAS)			CAPACIDAD (PULGADAS <sup>3</sup> )	
DIMENSIONES	LONGITUD	PROYECCION	PROFUNDIDAD	HDPE	NYLON	URETANO	NIVEL DE AGUA	UTILIZABLE 5°
3 X 2	3- 1/4	2- 5/16	2 - 1/4	0.12	0.15	0.17	6.71	7.93
4 X 3	4- 3/8	3- 1/4	3	0.22	0.25	0.3	15.26	17.7
5 X 4	5- 1/4	4- 1/2	4	0.47	0.54	0.63	36.2	39.82
6 X 4	6- 1/4	4- 1/2	4	0.56	0.64	0.77	44.2	49.58
7 X 4	7- 1/4	4- 1/2	4	0.66	0.71	0.88	51.31	57.01
6 X 5	6- 3/8	5- 5/8	5	0.88	0.99	1.19	67.2	73.98
7 X 5	7- 3/8	6- 5/8	5	0.98	1.14	1.31	79.72	89.24

Nota: Carácter de cangilón HD Max. Tomada de guía de productos agrícolas e industriales condensado por MAXI-LIFT INC. Bandas cangilones y accesorios, 2016. (2)

### 3.2.18. Coeficiente de llenado ( $\phi$ )

El factor o coeficiente de llenado se entiende como el volumen de material contenido en el cangilón y el volumen total del mismo. Este factor depende del tipo de material, la forma del cangilón y la velocidad de la cinta transportadora.

El coeficiente de llenado cuando el cangilón este estático será 0.85

El coeficiente de llenado cuando el cangilón este en movimiento será 0.80

La tabla 26 muestra las características del material y el tipo de elevador a utilizar, como la velocidad de la banda y por ultimo su coeficiente de llenado del cangilón.

Tabla 26. Coeficiente de llenado.

Características del Material	Material	Tipo de Elevador	Coeficiente de llenado ( $\varphi$ )	Velocidad (m/s.)
Granos y con pequeños trozos (inferior a 60 mm), medianamente abrasivos.	Serrín, arcilla seca en trozos, carbón, cereales.	Alta velocidad, descarga centrifuga.	0.75 – 0.85	1.20 – 4.00

Nota: Coeficiente de llenado para granos. Diseño propio.

### 3.2.19. Selección del cangilón adecuado

#### 1) Criterios de selección

- Ahora se selecciona el modelo de cucharón con la mayor capacidad de elevación. Para eso recurrimos a la información del catálogo “MAXI-LIFT INC. Bandas, Cangilones y Accesorios”.
- La velocidad manejada en este tipo de elevadores de banda (descarga centrifuga) varían entre 1.2 y 4 m/s. Para nuestro caso consideramos una velocidad de banda recomendada 1.6 m/s.
- El espaciamiento manejado entre cangilones usualmente es de 3 a 4 veces su proyección.
- El cangilón adecuado, corresponde al 6x5” cuya capacidad volumétrica es 67.20 pulgadas cubicas a nivel de agua, elegimos este cangilón porque la profundidad del mismo se va repitiendo en 5 pulgadas para los cangilones HD-Max inmediatamente superiores de la Tabla 25 con la diferencia de que los anchos o longitudes de los cangilones progresivamente van en aumento.

Parámetros predeterminados para el diseño:

- $\varphi = 0.8$
- $V_{\text{banda}} = 1.60$  m/s.
- $C_{\text{cangilón}} = 67.20$  pulg.<sup>3</sup> o  $0.0011$  m<sup>3</sup> a nivel de agua.

### 3.2.20. Cálculo y diseño del cangilón HD-Max

Para calcular el nivel de agua del cangilón seleccionado de la tabla 25, basándose en su capacidad en decímetros cúbicos, se emplea la siguiente fórmula:

$$C_{\text{cangilón}} = \frac{Q \times T_c}{3.6 \times \varphi \times V_{\text{banda}} \times \rho} \quad (1.16)$$

Donde:

$C_{\text{cangilón}}$  : capacidad de cangilón,  $\text{m}^3$ .

$Q$  : capacidad de transporte, 15 toneladas/hora o 4.1666 kilogramo/segundo.

$T_c$  : paso de cangilón, 0.25 metros.

$\varphi$  : coeficiente de llenado, 0.80.

$V_{\text{banda}}$  : velocidad de banda recomendada, 1.6 m/s.

$\rho$  : densidad de grano de trigo, (46 libras/pie<sup>3</sup>) o 736.85  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$$C_{\text{cangilón}} = \frac{(15,000 \text{ kg/hora}) \times (0.25 \text{ m})}{3.6 \times (0.8) \times (1.6 \text{ m/seg.}) \times (736.85 \text{ Kg}/\text{m}^3)}$$

$$C_{\text{cangilón}} = 1.1045 \text{ m}^3 = 67.40 \text{ pulgadas}^3$$

El cangilón adecuado, corresponde al 6×5 pulgada cuya capacidad volumétrica es 67.20 pies<sup>3</sup> a nivel de agua como indica la tabla 25.

Como se predeterminó, la velocidad de la banda es:

$$V_{\text{banda}} = 1.60 \text{ m/s}$$

En la figura 71 se verifica con el software Inventor el cangilón adecuado, que según la Tabla 25 corresponde al 6×5” y tiene una capacidad volumétrica de 67.20 pies cúbicos a nivel de agua.

$$112289.743 \text{ mm}^3 = 1.122 \text{ m}^3 = 67.80 \text{ pie}^3 \text{ igual a nivel de agua.}$$

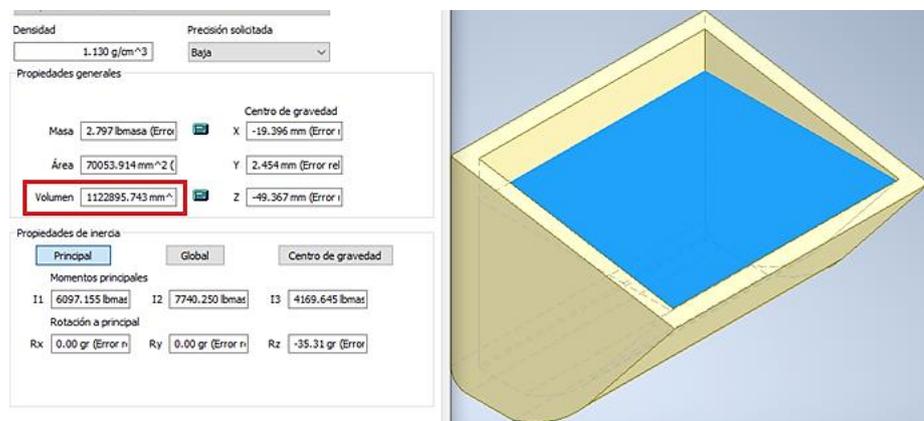


Figura 71. Capacidad volumétrica del cangilón HD MAX con software inventor. Diseño propio

### 3.2.21. Cálculo de paso entre cangilones ( $P_c$ )

Para determinar el paso entre cangilones recurrimos a la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{3.6 \times C_{\text{cangilón}} \times \varphi \times V_{\text{banda}} \times \rho}{Q} \quad (1.17)$$

Donde:

$P_c$  : paso de cangilón, en metros.

$C_{\text{cangilón}}$  : capacidad de cangilón, 67.20 pulg.<sup>3</sup> o 0.0011 m<sup>3</sup>.

$Q$  : capacidad de transporte, 15,000 kg /hora o 4.166 kg/s.

$\varphi$  : coeficiente de llenado, 0.80.

$V_{\text{banda}}$  : velocidad de banda recomendada, 1.6 m/s.

$\rho$  : densidad de grano de trigo, en 736.85 kg/m<sup>3</sup>.

$$P_c = \frac{3.6 \times 1.101211 \text{ m}^3 \times (0.8) \times (1.6 \text{ m/seg.}) \times (736.85 \text{ kg/m}^3)}{(15000 \text{ kg/hora})}$$

$$P_c = 0.2493 \text{ m} \approx 250 \text{ mm} \approx 0.250 \text{ m}$$

En la figura 72 se observa la dimensión del paso entre nuestros cangilones.

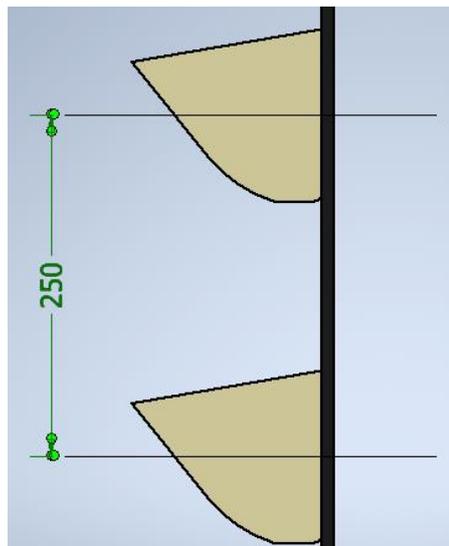


Figura 72. Paso entre cangilones HD-MAX con software inventor. Diseño propio

Como ya se determinó el cangilón HD-Max 6×5”, el cual, tiene las siguientes dimensiones:

- Longitud de 6.375 pulgadas o 0.1619 metros.
- Proyección de 5.625 pulgadas o 0.1428 metros.
- Profundidad de 5 pulgadas o 0.127 metros.

El volumen de carga del cangilón seleccionado es de 67.20 pulgadas cúbicas o 0.0011 metros cúbicos a nivel de agua. Asumiendo que el 80% del volumen del cangilón será llenado durante el trabajo de equipamiento, la capacidad de descarga será de:

$$0.8 \times 0.0011 = 0.00088 \text{ metros}^3.$$

Entonces, la masa de granos por cangilón es:

$$736.85 \text{ kilogramo/metro}^3 \times 0.00088 \text{ metro}^3 = 0.6468 \text{ kilogramos.}$$

El número total de cangilones requeridos para descargar 15 toneladas de trigo por hora en unidades de tiempo es:

$$\frac{15000 \text{ Kg/hora}}{0.6468 \text{ Kg}} \times \frac{1}{3600} = 6.44 \frac{\text{cangilones}}{\text{segundo}}$$

Para prevenir la deformación del cangilón mientras pasa por alrededor de las poleas de cabezal y bota, y evitar el sobre esfuerzo de los cangilones; las bandas se deben espaciar de la siguiente manera:

El número de cangilones se redondea a 172 cangilones, el cual, produce una variación de 250 milímetros por paso, por ende, el valor del ajuste se presenta líneas abajo. (Elaboración Propia).

En la figura 73 se presenta espaciamiento vertical entre cangilones continuos para un sistema de 2 filas.

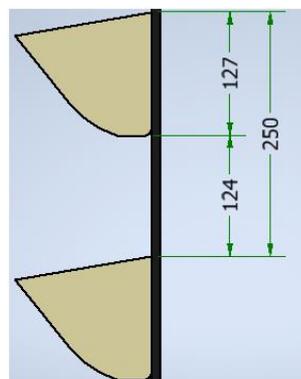


Figura 73. Espaciamiento vertical entre cangilones. Diseño propio.

Donde:

P<sub>c</sub>: paso del cangilón, 250 milímetros o 0.250 metros.

h: altura o profundidad del cangilón, 127 milímetros o 0.127 metros.

e: espaciamiento entre cangilones, 124 milímetros o 0.124 metros.

### 3.2.22. Determinación del ancho de la banda ( $A_{\text{banda}}$ )

El ancho de la banda elevadora se determina considerando las dimensiones de los cangilones y la distancia entre filas de los mismos. Se calcula como el equivalente a dos longitudes de cangilón más la distancia entre las filas. La cantidad de filas de cangilones, en este caso 2, se determina durante el modelamiento del equipo y está directamente relacionada con la capacidad de carga requerida.

$$A_{\text{banda}} = 2 \times L_{\text{cangilón}} + D_{\text{entre filas}} \quad (1.18)$$

Donde:

$L_{\text{cangilón } 6 \times 5}$ : longitud del cangilón 6 x 5, es 6.375 pulgadas (Tabla 25).

$D_{\text{entre filas}}$  : distancia entre filas del cangilón, el cual varía de 30 a 100 milímetros.

$$A_{\text{banda}} = 2 \text{ filas} \times (6.375 \text{ pulgadas} \times 25.4 \text{ mm / pulgada}) + 65 \text{ mm}$$

$$A_{\text{banda}} = 388.85 \text{ mm} = 389 \text{ mm} = 15.515''$$

El ancho real de la banda será:  $A_{\text{banda}} = 16'' = 407 \text{ mm}$  o 0.407 metros

La figura 74 muestra el ancho de la banda transportadora.

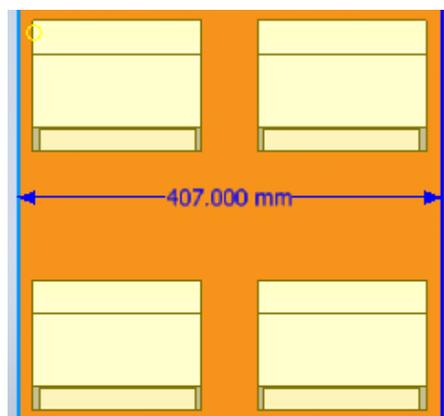


Figura 74. Ancho de la banda con software inventor. Diseño propio.

### 3.2.23. Centro y perforación de cangilones

#### a) Centro y perforación

La perforación precisa de las bandas es fundamental en el diseño de los elevadores de cangilones. Una perforación desequilibrada o mal posicionada puede causar desbalances en los cangilones, lo que puede provocar problemas durante el transporte de materiales, como el derrame excesivo del material.

En esta sección se presentarán las características y tablas para una perforación adecuada de las bandas, según los estándares del catálogo "MAXI-LIFT INC. Bandas, Cangilones y Accesorios".

En la figura 75 se proporciona un detalle de la perforación del cangilón HD-Max, que incluye los espaciados entre centros, el diámetro de la perforación y las dimensiones de largo y ancho del cangilón.

Tabla 27. Distancias entre perforaciones del cangilón HD-Max 6x5.

<b>Cangilón HD-Max 6X5"</b>			
Centros	Perforaciones	Dimensión de tornillos de sujeción	Borde de agujero
4 – 3/8"	2	1/4"	1 – 5/8"
111 mm	2	6 mm	41 mm

Nota. Elaboración Propia.

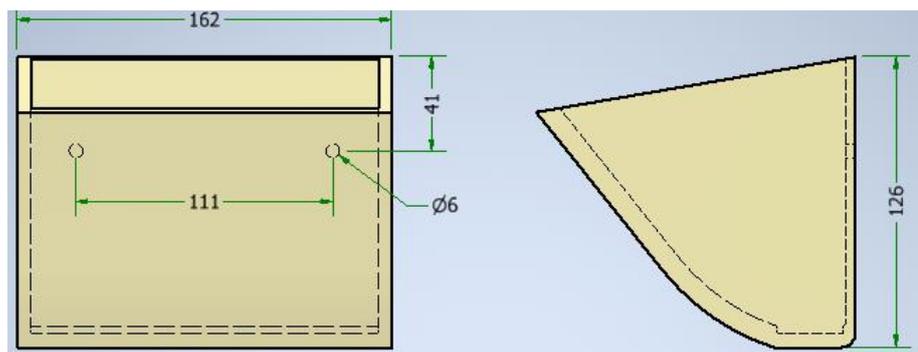


Figura 75. Centro y perforación de cangilón estilo HD-MAX. Diseño propio.

#### c) Tornillos para elevadores

Los tornillos disponibles para sujetar los cangilones HD-Max 6x5 al ancho de la banda se ofrecen en dos presentaciones: estándar y SABRE TOOTH™ para elevadores de cangilones.

Tabla 28. Tornillos de 1/4" de diámetro para elevadores por cangilones HD-  
Max 6×5" o 0.152 x 0.126 m

TORNILLOS ESTANDAR PARA ELEVADORES			
Dimension en metros	Peso/100 und Kg	Cant. por caja	Cant. A granel
0.006 x 0.019	1.33	1200	2000
0.006 x 0.025	1.46	1200	1700
0.006 x 0.031	1.55	1200	1500
0.006 x 0.038	1.69	1200	1300
0.006 x 0.044	1.80	1200	1200
0.006 x 0.0508	1.94	600	1000
0.006 x 0.057	2.21	600	900
0.006 x 0.063	2.23	1200	800

*Nota:* Tornillo para cangilón HD-MAX 6×5. Tomado de “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado” (p. 21), por “MAXI-LIFT INC.

En la figura 76 se muestra el Tornillo correcto que se utilizara para la conexión con el cangilón HD-Max 6×5”.



Figura 76. Tornillos para elevadores. Tomada de “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado”, por “MAXI-LIFT INC. (2)

En la figura 77 se muestra la correcta distribución de cangilones con respecto al ancho de la banda para un sistema de doble fila.

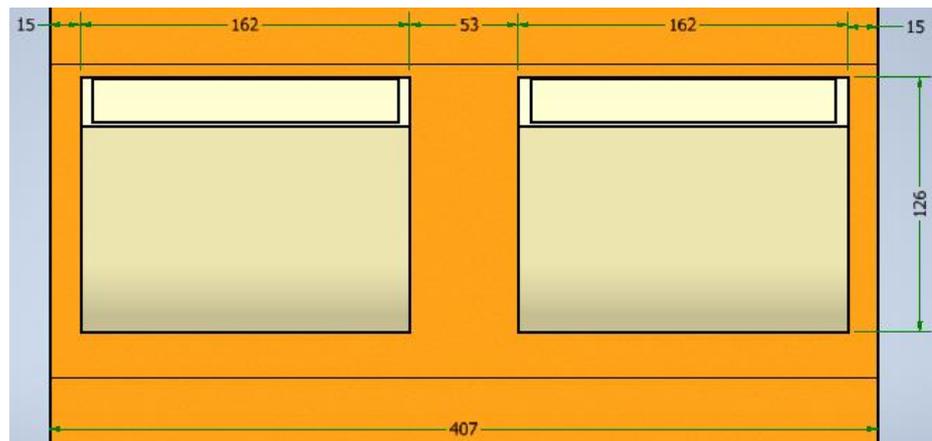


Figura 77. Distribución de cangilones en el ancho de banda.

### 3.2.24. Cálculo de diámetro de la polea motriz

Se calculará para el diámetro de la polea de cabezal o accionamiento el cual tiene un valor independiente del elevador de cangilones.

La polea motriz y la polea conducida tendrán el mismo diámetro.

$$R = \frac{(V_{\text{banda}})^2}{g} \quad (1.19)$$

$$R = \frac{(1.6)^2}{9.81} = 0.250\text{m} \times 2$$

$$D_{\text{polea}} = 0.500 \text{ m}$$

### 3.2.25. Cálculo de número total de cangilones ( $N_c$ )

1) El número de cangilones se halla con la siguiente ecuación.

$$N_c = \frac{C_a \times n}{P_c} \quad (1.20)$$

Donde:

$C_a$ : longitud de la banda [altura de elevación (10 metros) más diámetro de poleas de cabezal y bota (0.5 metros)], en metros.

$n$ : número de filas de cangilones.

$P_c$ : espaciamiento entre cangilones, en metros.

2) Cálculo de espaciamiento entre cangilones:

$$N_c = \frac{(2 \times 10 \text{ m} + \pi \times 0.5 \text{ m}) \times (2)}{0.25 \text{ m}}$$

$$N_c = 172.37 \text{ cangilones} = 172 \text{ cangilones}$$

### 3.2.26. Cálculo de peso de material elevado ( $P_{\text{material}}$ )

La ecuación que corresponde al presente cálculo es:

$$P_{\text{material}} = \frac{Q}{V_{\text{banda}}} \quad (1.21)$$

Donde:

$Q$  : capacidad de carga del elevador de cangilones, 15 toneladas/hora.

$V_{\text{banda}}$  : velocidad de banda, 1.60 m/s.

$$P_{\text{material}} = \frac{(15,000 \text{ kg} / 3600 \text{ s})}{1.60 \text{ m/s.}} = \frac{4.166 \text{ kg/s}}{1.60 \text{ m/s}}$$

$$P_{\text{material}} = 2.60 \text{ Kg/m}$$

### 3.2.27. Cálculo de la velocidad angular de cabezal y bota

Se calculará para el diámetro de la polea de cabezal o accionamiento, el cual, será el mismo diámetro de la polea de bota o conducido, o sea 500 milímetros.

$D_{\text{polea}}$ : 0.50 metros.

$$n = \frac{V_{\text{banda}}}{\pi \times D_{\text{polea}}} \times 60 \quad (1.22)$$

$$n = \frac{(1.60 \text{ m/s})}{\pi \times (0.50 \text{ m})} \times 60$$

$$n = 61 \text{ rpm}$$

### 3.2.28. Tensión en la banda de transmisión

La tensión  $T_1$  es mayor que la tensión  $T_2$ , se calculan las fuerzas respectivas utilizando los parámetros adecuados para determinar sus valores.

En la figura 78 se representa la tensión de la correa o banda, donde la fuerza total aplicada es igual a la suma del peso de todos los componentes giratorios. Por lo tanto, procederemos a calcular el peso de cada uno de los componentes giratorios individuales del equipo.

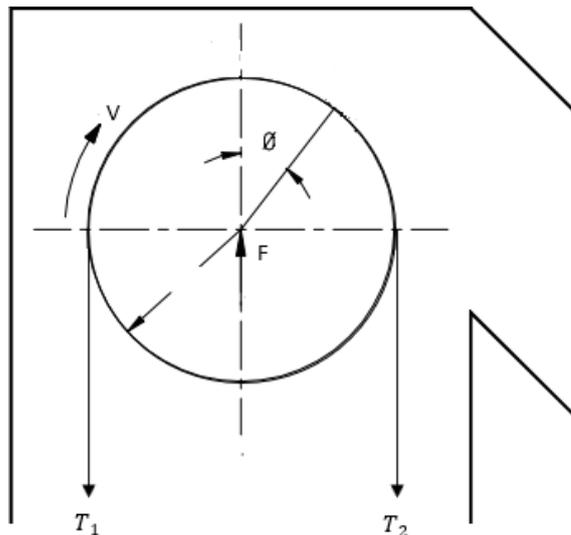


Figura 78. Tensión de la banda. Diseño propio.

- 1) Cargas generadas por los componentes giratorios que influyen en las tensiones  $T_1$  y  $T_2$ .
  - a) Peso de la polea

La polea será de hierro gris es una técnica de fundición donde la mayor parte de contenido es de carbono, sus propiedades mecánicas son adecuadas para un gran número de actividades. Tiene excelentes características de absorción de vibración.

- Material: fundición gris.
- Densidad: 7200 kg/m<sup>3</sup>.
- Volumen de la polea =  $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times L$  (1.23)

La figura 79 representa las dimensiones de la polea motriz.

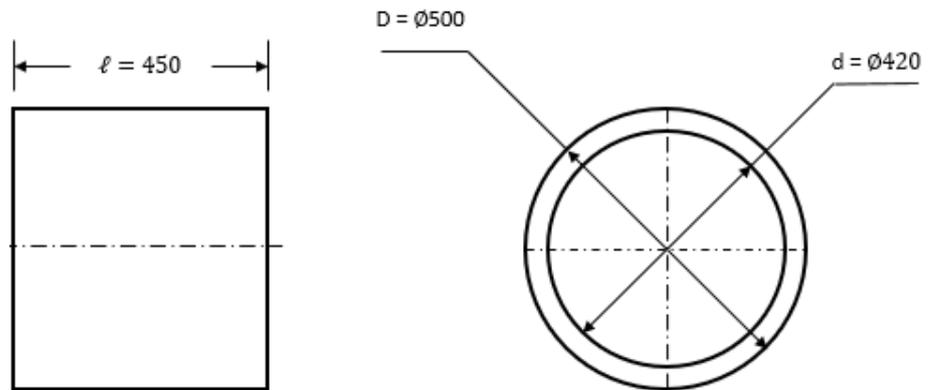


Figura 79. Dimensiones de polea. Diseño propio.

- Volumen de la polea =  $\frac{\pi}{4} ((0.5\text{m})^2 - (0.42\text{m})^2) \times (0.45\text{m}) = 0.026 \text{ m}^3$ .
- Masa de la polea = 7200 × 0.026 = 187.20 kg.
- Peso de la polea = 187.20kg × 9.81 = 1836.432 Newton.
- Aumentar el 10% del peso de la polea por los elementos de construcción añadidos a la polea como: radios, sujetadores, soldadura, etc.
- Peso de la polea corregida = 1.1 × 1836.432 = 2020.08 Newton.

En la figura 80 se aprecia el modelado de la polea motriz y sus especificaciones.

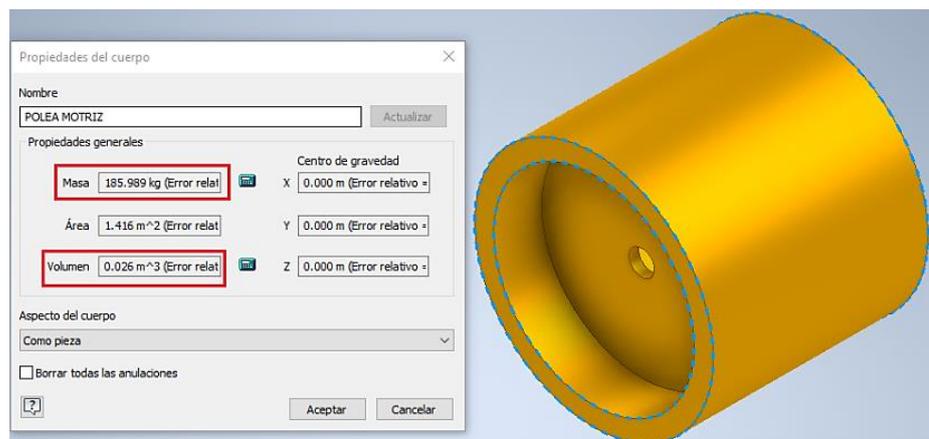


Figura 80. Verificación de peso de la polea motriz con software inventor. Diseño propio.

b) Peso de la banda

- Para el tipo de banda E90 CC que tiene un espesor de 9mm y un peso de  $11.20 \text{ kg/m}^2$ .
- Longitud de la banda =  $2 \times 10\text{m} + \pi \times 1\text{m} = 23.14$  metros.
- Ancho de la banda = 389 milímetros = 0.389 metros.
- Masa de banda =  $(11.20) \times (23.14) \times (0.389) = 100.81\text{kg}$ .
- Peso de banda =  $100.81 \text{ kg} \times 9.81 = 989.0$  Newton.

En la figura 81 se aprecia el modelado de la banda junto con sus especificaciones.

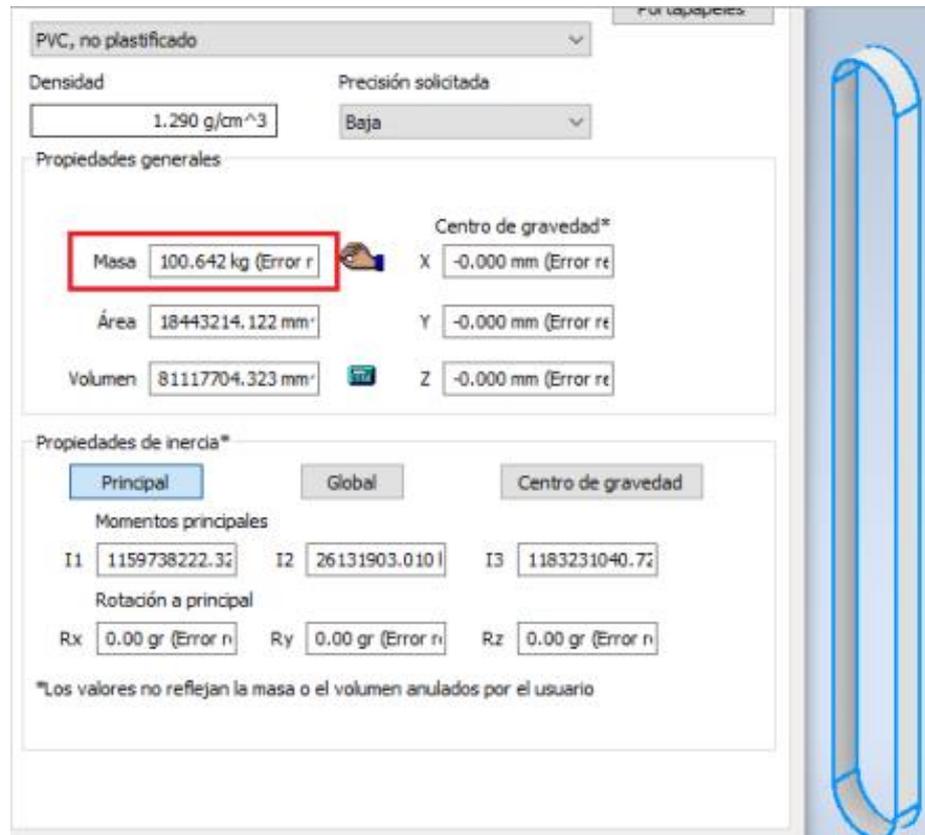


Figura 81. Masa de faja transportadora con software inventor. Diseño propio.

c) Peso de todos los cangilones vacíos

- Material del cangilón HD-Max 6 x 5 elegido = Nylon.
- Masa del cangilón: 0.99 libras =  $0.449 \text{ kg} \times 9.81 = 4.4037$  Newton.
- Peso total de cangilones =  $172 \times 4.4037$  Newton = 757.44 Newton.

En la figura 82 se aprecia el modelado del cangilón HD-Max.

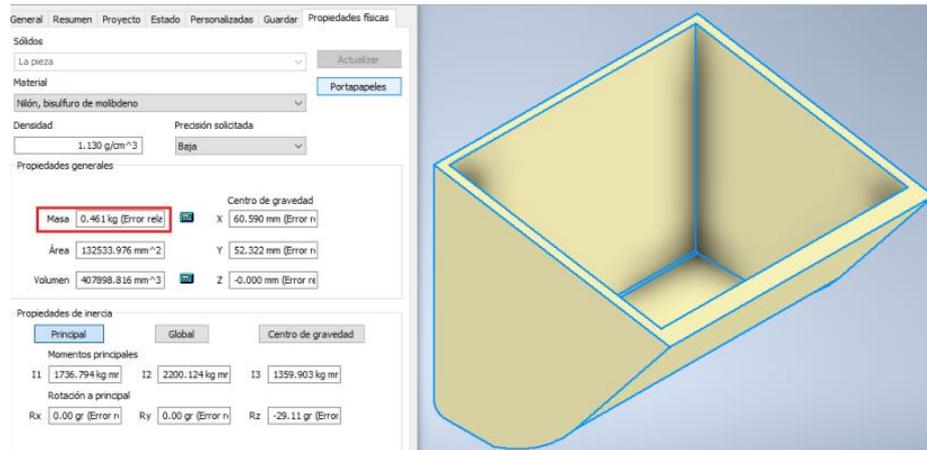


Figura 82. Verificación de la masa del cangilón HD-MAX con software inventor. Diseño propio.

d) Peso del material o trigo cargado.

- Un lado del elevador de cangilones está cargado con trigo mientras que el otro lado está vacío, durante el movimiento giratorio solamente trabajan 86 cangilones.
- $P_{\text{cangilón}} =$  peso de material contenido en cangilón 6 x 5 de Nylon.
- $\rho_{\text{material}} = 46 \text{ libras/pie}^3 = 736.85 \text{ kg/m}^3$
- $V_{\text{cangilón a nivel de agua}} = 67.20 \text{ pulgada}^3 = 0.0011\text{m}^3$
- $P_{\text{material/cangilón}} = (736.85 \text{ kg/m}^3) \times (0.0011\text{m}^3) =$

$$P_{\text{cangilón}} = 0.81 \text{ kg-f}$$

En la figura 83 se muestra el peso de material cargado =  $86 \times 0.81 \text{ kg-f} \times 9.81 = 686.36 \text{ Newton}$ .

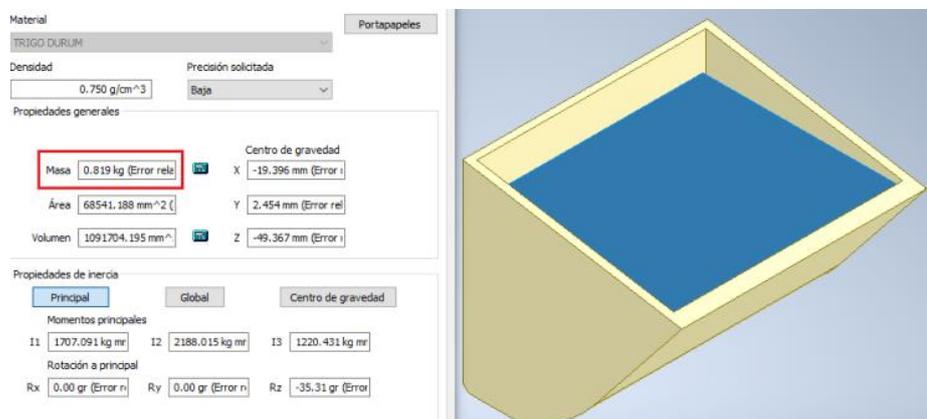


Figura 83. Verificación del trigo cargado al 80% con software inventor. Diseño propio.

La suma de todos los pesos de los componentes calculados del elevador de cangilones es:

$$W = 2 \times 2020.08 + 989 + 757.44 + 683.36 = 6469.96 \text{ Newton.}$$

### 3.2.29. Cálculo teórico y diagrama de cuerpo libre del eje motriz

La carga viva que soporta el eje motriz (W)

$$W = 6469.96 \text{ Newton}$$

a) Cálculo de diámetro mínimo del eje motriz

Datos comprendidos para el diseño:

- Material de eje motriz: acero SAE 1045 laminado en frío
- Densidad del acero A36:  $7850 \text{ kg/m}^3$ .
- Límite de resistencia ( $S_u$ ):  $627000000 \text{ Pascales}$  o  $63936193.2 \text{ kg-f/m}^2$
- Esfuerzo de fluencia ( $S_y$ ):  $531000000 \text{ Pascales}$  o  $54146919.6 \text{ kg-f/m}^2$
- Longitud del eje: 1 metro.

b) Torque generado en el eje (T)

Para este cálculo es necesario tener el diámetro del tambor motriz en 0.50 metros.

$$T = \frac{D}{2} (C_{viva}) \quad (1.24)$$

$$T = \frac{(0.50 \text{ metros})}{2} (6469.96 \text{ Newton})$$

$$T = 1617.49 \text{ Nm} = 164.93808 \text{ kgf} - \text{m}$$

c) Diagrama del cuerpo libre de eje motriz

En la figura 84 se muestra la carga viva aplicada al eje motriz

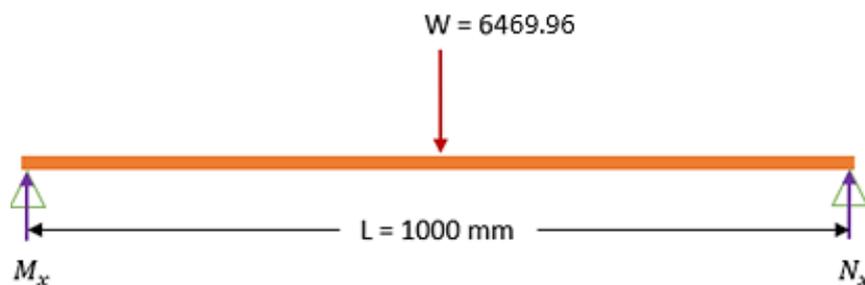


Figura 84. Diagrama de cuerpo libre del eje motriz. Diseño propio.

El máximo momento flector ( $M_{fm}$ ) se encuentra en el centro del eje “W” asumiendo que el eje esta centralmente cargado.

$$M_{fm} = \frac{W \times L}{4} \quad (1.25)$$

$$M_{fm} = \frac{6469.96 \times (1 \text{ m})}{4}$$

$$M_{fm} = 1617.49 \text{ Nm} = 164.2710 \text{ kgf} - \text{m}$$

El cálculo del eje se aplica en los esfuerzos combinados, utilizando la teoría de falla por distorsión de la energía (Teoría de Von Mises). Se considera que el eje es corto en longitud, rota para transmitir movimiento y experimenta esfuerzos de torsión constantes y esfuerzos de flexión variables.

Cálculo del diámetro del eje:

Partiendo de la teoría de la falla de Von Mises.

$$d = \left[ 10.19 \times f.s. \left[ \left( \frac{K_f \times M_{fm}}{S_u} \right)^2 + 0.694 \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.26)$$

Donde:

$d$  = diámetro mínimo de diseño, en m.

$M_{fm}$  = máximo momento flector, en Kg. f-m.

$T$  = momento de torsión, en Kg. f-m.

$K_f$  = para bordes redondeados el factor de concentración de esfuerzos vale 1.5.

$S_u$  = resistencia ultima de tensión, en Kg. f/m<sup>2</sup>.

$S_y$  = esfuerzo de fluencia, en Kg. f/m<sup>2</sup>.

f.s. = factor de seguridad, 1.0.

$$d = \left[ 10.19 \times 1.0 \left[ \left( \frac{1.5 \times 164.2710}{63936193.2} \right)^2 + 0.694 \left( \frac{164.93808}{54146919.6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.0375 = 0.038 \text{ m}$$

$$d_{\text{acerosarequipa}} = 38 \text{ mm} = 1\text{-}1/2''$$

Tabla 29. Diámetros de barras redondas lisas Acero SAE 1045.

Sistema Ingles (pulgadas)	Sistema Internacional (metros)	Peso Estimado Kg / m (Kg / 6m)	
3 / 8	0.0095	0.560	3.36
1 / 2	0.0127	0.990	5.94
5 / 8	0.0158	1.550	9.30
3 / 4	0.0190	2.240	13.44
7 / 8	0.0222	3.050	18.30
1	0.0254	3.980	23.88
1 - 1 / 8	0.0285	5.030	30.18
1 - 1 / 4	0.0317	6.220	37.32
1 - 3 / 8	0.0349	7.520	45.12
1 - 1 / 2	0.0381	8.950	53.70
1 - 3 / 4	0.0444	12.180	73.08

Nota. Hoja técnica barras redondas lisas y pulidas ASTM A36 y SAE 1045. Tomado de "Aceros Arequipa".

Finalmente, calculamos el peso del eje motriz ( $P_{\text{eje}}$ ).

$$P_{\text{eje}} = \frac{\pi}{4} d^2 L \rho g \quad (1.27)$$

Donde:

$P_{\text{eje}}$ : peso del eje motriz, en Newton.

$\rho$ : densidad del acero A36 y SAE 1045: 7850 Kg/m<sup>3</sup>

$g$ : gravedad: 9.81 m/s<sup>2</sup>

$L$ : longitud del eje, 1.0 metro.

$d$ : diámetro de eje estandarizado, 0.038 metros.

$$P_{\text{eje}} = \frac{\pi}{4} (0.038)^2 (1.0) (7850) = 8.898 \text{ kg}$$

$$(8.898) \times (9.81) = 87.292 \text{ Newton}$$

El peso de los dos ejes tanto del cabezal como de la bota es igual a:

$$2 \times P_{\text{eje}} = 2 \times 87.292 = 174.584 \text{ Newton.}$$

### 3.2.30. Cálculo del eje motriz con software inventor

Para el presente cálculo se seleccionó el software inventor profesional, debido a la gran capacidad que tiene su entorno de trabajo, el software Inventor tiene un eficiente desempeño en el área de simulaciones, cálculos de estructuras, cálculo de ejes, detalle área, diseño, etc.

a) Carga viva que soporta el eje motriz (W)

$$W = 2 \times 2020.08 + 989 + 757.44 + 683.36 = 6469.96 \text{ Newton}$$

b) Longitud del eje: 1 metro

c) Diámetro del eje: 0.038 m

d) Peso del eje: 15.413 kg

Con estos datos, podemos proceder a diseñar y asignar materiales en el software Inventor y verificar que los resultados son muy cercanos a los cálculos previamente realizados. La figura 85 detalla el material de acero 1045 utilizado para el eje motriz.

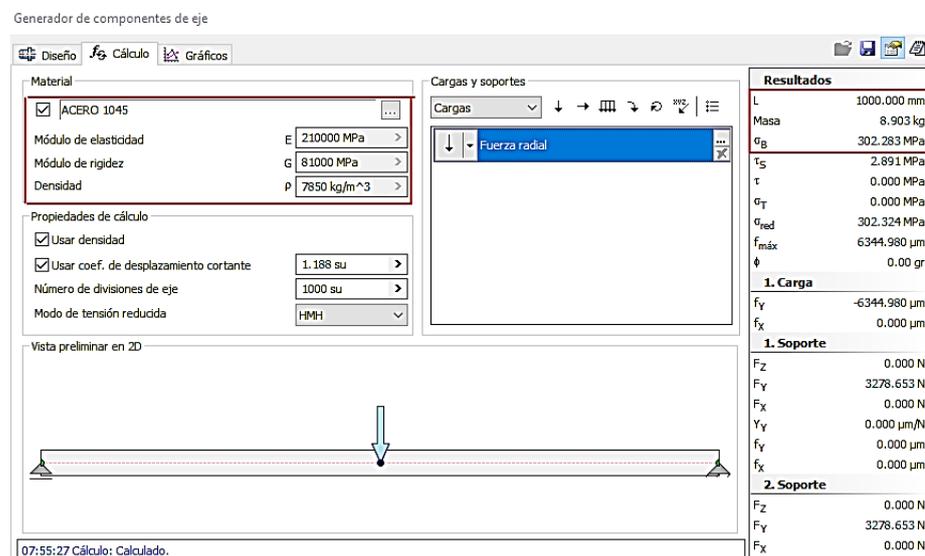


Figura 85. Peso y área de eje con software inventor. Diseño propio.

Para realizar el cálculo de la flexión máxima del eje motriz tenemos estos datos:

Con la ventana de diseño y cálculo de ejes del software Inventor, podemos verificar los cálculos teóricos con los resultados del software, que son muy

aproximados. Al realizar el análisis del eje motriz y asignar la carga de los cangilones, la polea motriz, la polea conducida, la faja transportadora y el material, obtenemos una carga de 6469.96 N, distribuida puntualmente en el centro del eje motriz. El momento flector máximo del eje calculado con el software es muy aproximado al valor teórico.

$$M_{fm} = \frac{6469.96 \times (1 \text{ m})}{4} \quad (1.28)$$

$$M_{fm} = 1617.49 \text{ N.m}$$

En la figura 86 se detalla el momento flector máximo del eje motriz, el cual es 1628.41 Newton metro.

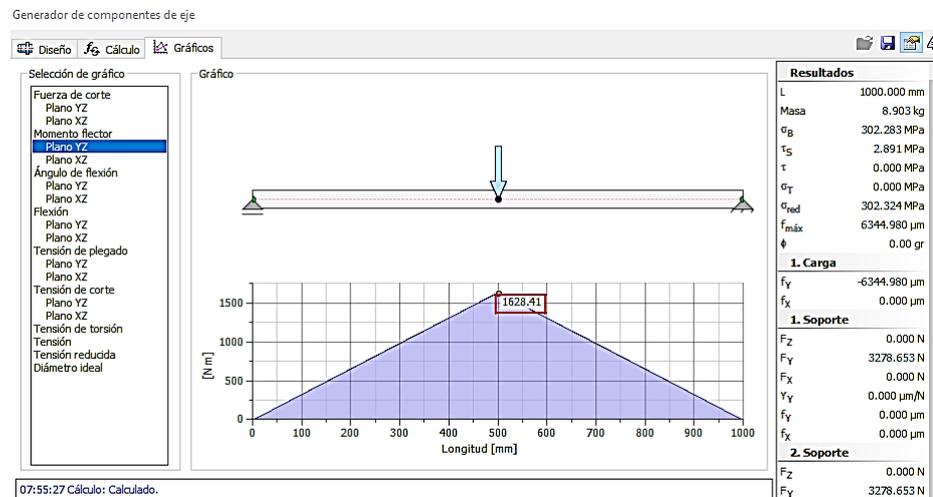


Figura 86. Momento flector máximo con software inventor. Diseño propio.

Realizando el cálculo del momento ultimo para validar el cálculo realizado tanto teóricamente como también con el software es con la siguiente formula:

$$M = W \times S_y \quad (1.29)$$

W: Módulo de sección plástica en eje y en  $\text{mm}^3$

$S_y$ : Límite elástico acero en Pascales

$$M = 12870.370 \text{ mm}^3 \times 531000000 \text{ Pascales} = 6833.970 \text{ Newton metro.}$$

Donde el momento flector máximo de diseño del eje motriz, tanto teóricamente como con el software Inventor, es de 1628.41 Nm, y donde el momento último es de 6833.970 Nm, se puede validar que el momento flector del eje no supera

al momento último. Por lo tanto, podemos afirmar que el eje motriz sí trabaja con las cargas asignadas.

En la figura 87 se muestra el diagrama de corte con una fuerza de 3278.65 N, equivalente a aproximadamente 328 kg-f.

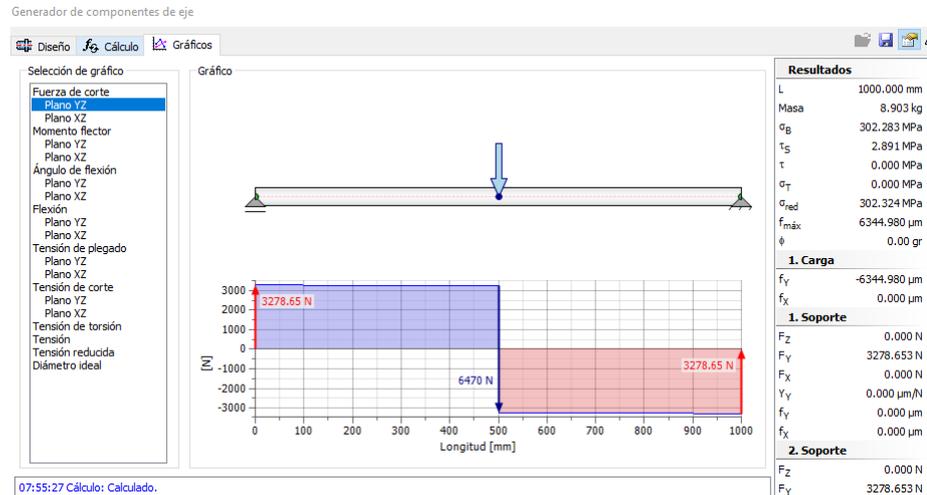


Figura 87. Momento corte con software inventor. Diseño propio.

En la figura 88 se detalla los grados de flexión que son 1.09.

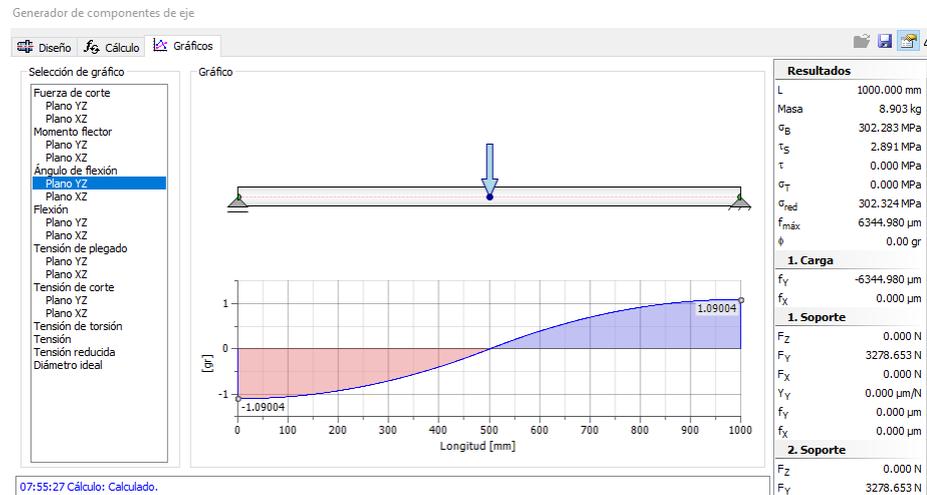


Figura 88. Ángulo de flexión de eje motriz en software inventor. Diseño propio.

En la siguiente figura se muestra la tensión de plegado o el límite elástico del eje motriz, que es de 302,000,000 Pascales, donde el límite elástico del acero 1045 laminado en frío es de 531,000,000 Pascales.

En conclusión, el límite elástico calculado del eje motriz con el software inventor es correcto y apropiado para su diseño.

La figura 89 se detalla la tensión del plegado 302000000 Pascales.

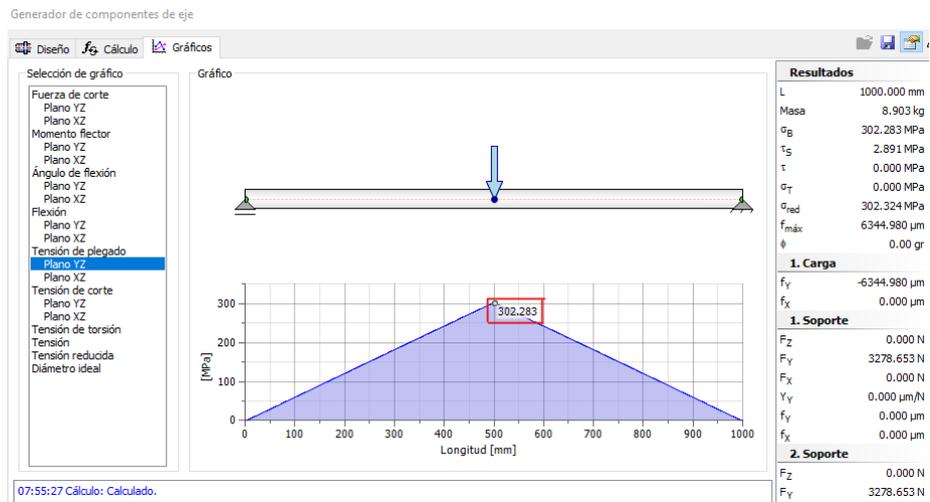


Figura 89. Tensión de plegado eje motriz en software inventor. Diseño propio.

### 3.2.31. Cálculo de las tensiones $T_1$ y $T_2$ de la banda de transmisión

Las tensiones tienen como referencia las fuerzas aplicadas  $T_1$  y  $T_2$  en una estructura de Euler, también conocida como la "fórmula de EYTELWEIN-EULER".

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \quad (1.30)$$

Donde:

$T_1$ : tensión en la banda en el lado tenso, en Newton.

$T_2$ : tensión en la banda en el lado suelto, en Newton.

P: potencia requerida para impulsar el arreglo móvil, en W.

r: radio de la polea, en metros.

e: valor numérico adimensional 2.7182.

$\mu$ : coeficiente de fricción entre la banda y la polea, 0.3.

$\theta$ : ángulo de la polea abrazada por la banda, en  $\pi$  radianes.

1) La ecuación (1.30) permite determinar la tensión ( $T_1$ ).

$$T_1 = \frac{\frac{P}{V_{\text{banda}}}}{1 - \frac{1}{e^{\mu\theta}}} \quad (1.31)$$

2) Para calcular la tensión ( $T_1$ ) es necesario hallar la carga total aplicado en el eje motriz.

$$F_t = W + 2 \times P_{\text{eje}} = 6469.96 \text{ Newton} + 174.584 \text{ Newton} = 6644.54 \text{ Newton}$$

3) La potencia requerida ( $P$ ) se calcula de la manera siguiente:

$$P = \frac{2\pi n F_t r}{60 \times 1000} \quad (1.32)$$

$$P = \frac{2\pi(61 \text{ rpm})(6644.54 \text{ N})(0.25 \text{ m})}{60 \times 1000}$$

$$P = 10610 \text{ Watts.}$$

4) Con los datos disponibles ahora podemos calcular la tensión de la banda ( $T_1$ ) junto con otros valores asumidos.

$$T_1 = \frac{\frac{10610}{1.6}}{1 - \frac{1}{e^{(0.3)(\pi)}}}$$

$$T_1 = 10870.90 \text{ Newton.}$$

5) La tensión ( $T_2$ ) se halla de la siguiente manera:

$$T_2 = \frac{T_1}{e^{\mu\theta}} \quad (1.33)$$

$$T_2 = \frac{10870.90 \text{ N}}{e^{(0.3)(\pi)}}$$

$$T_2 = 4236.51 \text{ Newton.}$$

a) Calcular las tensiones de la banda.

- Tensión calculada máxima ( $T_{1\text{máx.}}$ )

$$T_{1\text{máx.}} = \frac{T_1}{A_{\text{banda}}} \quad (1.34)$$

$$T_{1\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = \frac{10870.90 \text{ N}}{0.406 \text{ m}} = 26740 \text{ N/m}$$

- Tensión calculada mínima ( $T_{2\text{m}\acute{\text{i}}\text{n.}}$ )

$$T_{2\text{m}\acute{\text{i}}\text{n.}} = \frac{T_2}{A_{\text{banda}}} \quad (1.35)$$

$$T_{2\text{m}\acute{\text{i}}\text{n.}} = \frac{4236.51 \text{ N}}{0.406 \text{ m}} = 10435 \text{ N/m}$$

b) Banda elevadora del tipo ESPOT.

En la tabla 30 se observa la selección de la banda estándar proporcionado por el fabricante. Recurrimos al catálogo referente a las bandas de transmisión de las series ESBELT, seleccionando la banda estándar.

Tabla 30. Bandas de transmisión series ESBELT.

Temperatura en continuo (puntual) del producto transportado °C	Tejidos		Espesor banda mm	Peso banda kg/m <sup>2</sup>	a 20°C		Carga de rotura N/mm	Carga de trabajo al 1% alargam. N/mm	Carga de trabajo al 1,5% alargam. N/mm	Ancho máx. de fabric. mm	Tipo de banda
	Nº de telas	Trama			A	B					
-15 (-25) +80 (100)	2	Flexible	4,30	5,20	140	140	200	20	28	2000	E20 CC
-15 (-25) +80 (100)	3	Flexible	6,20	7,70	200	250	300	30	40	2000	E30 CC
-15 (-25) +80 (100)	4	Flexible	7,40	9,20	300	350	400	35	50	2000	E40 CC
-15 (-25) +80 (100)	3	Flexible	7,80	9,60	400	400	800	65	95	2000	E81 CC
-15 (-25) +80 (100)	3	Flexible	9,00	11,20	400	500	900	75	130	2000	E90 CC

Nota: Tabla de bandas de transmisión del tipo ESPOT. Tomada de bandas transportadoras y proceso por ESBELT, bandas para transportadores 2022-23.

Características de la banda seleccionada:

- Tipo de banda = E90 CC
- Número de pliegues o lonas = 3
- Diámetro de cabezal y bota = 400 - 500 milímetros
- Tensión nominal de la banda = 130 N/mm
- Peso de banda = 11.20 Kg/m<sup>2</sup>
- Espesor de banda = 9 mm
- Material = PVC

Para seleccionar la banda adecuada, se define la tensión nominal recomendada por el fabricante esté dentro del rango seguro entre la tensión nominal y máxima de la banda. Esto garantiza un funcionamiento seguro y confiable del sistema de transmisión por correa.

$$130 \text{ Nmm} \geq 26.74 \text{ N/mm}$$

c) Coeficiente de seguridad de la banda seleccionada ( $C_{sb}$ ).

$$C_{sb} = \frac{T_{\text{nominal fabricante}}}{T_{1\text{máx.}}} \quad (1.36)$$

$$C_{sb} = \frac{130 \text{ N/mm}}{26.74 \text{ N/mm}}$$

$$C_{sb} = \frac{130000 \text{ N/m}}{26740 \text{ N/m}}$$

$$C_{sb} = 4.86$$

Este coeficiente calculado determina que la banda seleccionada es adecuada y óptima para el diseño.

d) Sistema de mordazas para bandas elevadoras.

La MAXI-SPLICE es una innovadora mordaza diseñada para bandas elevadoras, que representa una nueva generación en tecnología de sujeción. Fabricada con un diseño sencillo de 3 piezas, esta abrazadera mecánica es ideal para su uso en bandas de PVC y hule.

La figura 90 se observa el sistema de mordazas presenta las siguientes características:

- Metal ferroso de resistencia a la tracción moderadamente alta.
- Utilizable para bandas de 600 PIW de tracción.
- Color plata.
- Su peso es 2.6 libras por unidad.
- Altura: 3".
- Anchura: 2".
- Temperatura máxima de funcionamiento: 600 ° F.
- El espesor de banda que se recomienda es de 1/4 "a 5/8".
- Pernos de cabeza hexagonal de grado 1 - 2/5 " x 5".

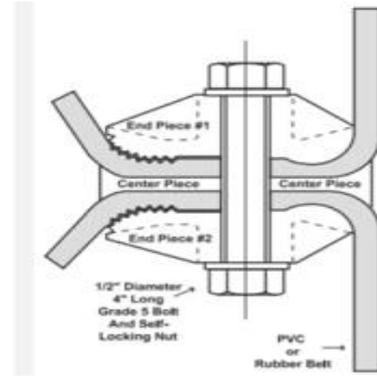


Figura 90. Mordaza MAXI-SPLICE CI. Tomada de “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado”, por “MAXI-LIFT INC. (2)

### 3.2.32. Cálculo de potencia de diseño y selección de motor eléctrico

a) Potencia absorbida por el sistema.

$$P = (T_1 - T_2)V_{\text{banda}} \quad (1.37)$$

$$P = (10870.90 \text{ N} - 4236.51 \text{ N}) (1.6 \text{ m/s})$$

$$P = 10615 \text{ Watts}$$

b) Potencia de diseño ( $P_{\text{diseño}}$ )

$$P_{\text{diseño}} = \frac{P}{\eta_1 \eta_2} \quad (1.38)$$

Donde:

$\eta_1$ : eficiencia de la maquina rotativa, 89%.

$\eta_2$ : eficiencia del motorreductor, 98%

$$P_{\text{diseño}} = \frac{10615 \text{ W}}{0.89 \times 0.98}$$

$$P_{\text{diseño}} = 12170 \text{ Watts}$$

c) Elección de motor eléctrico estándar

Para la guía de selección del motor recurrimos a la siguiente tabla.

Tabla 31. Motores trifásicos cerrados. (33)

Motores Trifásicos Cerrados - W21 - Alta Eficiencia - IV Polos - 1500 rpm								
Potencia KW HP		Carcasa IEC	RPM	Corriente nominal en 380 VA	Momento Nominal Cn (NM)	Factor de servicio F.S	Momento de Inercia kg/m2	Peso aprox (Kg)
0.12	0.16	63	1415	0.43	0.79	1.00	0.00045	7.5
0.18	0.25	63	1400	0.61	1.25	1.00	0.00056	7.8
0.25	0.33	71	1400	0.73	1.66	1.00	0.00079	11.6
0.37	0.5	71	1395	1.08	2.52	1.00	0.00079	10.9
0.55	0.75	80	1430	1.37	3.68	1.00	0.00242	13.9
0.75	1	80	1420	1.74	4.95	1.00	0.00328	15.9
1.1	1.5	90S	1445	2.49	7.29	1.00	0.0056	20.8
15	20	160L	1465	29.89	95.89	1.00	0.11542	129.7
18.5	25	180M	1470	36.74	119.46	1.00	0.19733	175.1

Nota. Tabla de motores trifásicos de 4 polos y 1500rpm. Tomada de motores trifásicos cerrados-w21 alta eficiencia por grupo WEG 2022. (33)

Características del motor trifásico seleccionado.

- 1) Potencia, 15 kW (20 HP).
- 2) Número de polos, 4.
- 3) Velocidad angular del motor eléctrico, 1500 rpm (1465 rpm).
- 4) Carcasa IEC 160L.
- 5) Peso aproximado, 129.70 kilogramos.
- 6) Voltaje nominal, 380 voltios.
- 7) Corriente nominal, 29.89 amperios.
- 8) Factor de servicio, 1.0.

### 3.2.33. Selección de motor reductor estándar

El motor reductor tiene un bajo consumo de energía y un rendimiento superior, y la eficiencia del motor reductor es superior al 95%.

Condiciones de servicio:

- Tipo de carga, uniforme durante 8 horas.
- Eficiencia del motor reductor, 98%.
- Potencia a transmitir, 15 kW.

Tabla 32. Motor-reductores PARAMAX 9000 con motor de 4 polos.

Unidades de accionamiento con ejes paralelos Combinados con motor de 4 polos (4p)								
KW	F.S	Velocidad del eje de baja velocidad (r/min)						
		238	211	188	168	150	33	30
		Relación nominal de reducción						
		6.3	7.1	8	9	10	45	50
5.5 KW	1						9015	9030
	1.25						9015	9030
4P	1.5						9015	9030
	2						9025	9030
7.5 KW	1						9015	9030
	1.25						9025	9030
4P	1,5						9025	9030
	2						9030	9030
11 KW	1		9015	9015	9015	9015	9025	9030
	1.25		9015	9015	9015	9015	9025	9030
4P	1.5		9015	9015	9015	9015	9030	9030
	2		9015	9015	9015	9015	9030	9030
15 KW	1	9015	9015	9015	9015	9015	9030	9030
	1.25	9015	9015	9015	9015	9015	9030	9030
4P	1.5	9015	9015	9015	9015	9015	9030	9035
	2	9015	9015	9015	9015	9015	9035	9040

Nota: Se selecciona el motor-reductor con características diseño establecidos. Tomada de PARAMAX serie 9000 reductores y unidades de accionamiento, SUMIMOTO drive TECHNOLOGIES 2022 (34).

Características del motor-reductor seleccionado:

- Velocidad angular de salida o de baja velocidad, 60 rpm.
- Velocidad angular de entrada o de alta velocidad, 1500 rpm.
- Índice nominal de transmisión o reducción, 25.
- Tamaño del reductor, 9015.
- Factor de servicio, 1.0.
- Temperatura ambiente, 40°C.

### 3.2.34. Elección de rodamientos

Los rodamientos deben tener un diámetro mayor de 1.5 pulgadas (38.1 milímetros) y deben ser de la serie SKF E2 con prisioneros del fabricante SKF. El eje de salida gira a 61 revoluciones por minuto (rpm), y cada rodamiento debe soportar una carga radial de 6957.72 Newton y una carga axial de 2732.31 Newton. Además, necesitamos que estos rodamientos tengan una duración mínima de 20,000 horas de funcionamiento."

1) Duración expresada en millones de revoluciones

$$L = \frac{60nL_n}{10^6} \quad (1.39)$$

Donde:

$L_n$ : duración de rodamiento rígido de bolas, 20000 horas.

n: velocidad angular de salida, 61 rpm.

$$L = \frac{60(61 \text{ rpm})(20000 \text{ horas})}{10^6}$$

$$L = 73.20$$

2) La seguridad de la carga requerida será:

$$\frac{C}{P} = L^{1/p} \quad (1.40)$$

Donde:

C = carga dinámica, capacidad, en Newton.

P = carga dinámica equivalente sobre el rodamiento, en Newton.

p = exponente del rodamiento de bolas, 3.0.

$$\frac{C}{P} = (73.20)^{1/3} = 4.18$$

3) Relación o razón de carga axial y carga radial.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{2732.31 \text{ N}}{6957.72 \text{ N}} = 0.392 \quad (1.41)$$

4) Si asumimos la relación igual a  $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ , se requerirá que:

$$e \geq 0.392 \text{ y se tendría: } X = 1; Y = 0$$

5) La carga equivalente se determina por:

$$P = XF_r + YF_a \quad (1.42)$$

6) La carga equivalente sería:

$$P = F_r = 6957.72 \text{ N}$$

7) La capacidad de la carga dinámica requerida será:

$$C = 4.18 \times 6957.72 \text{ N} = 29083.26 \text{ N}$$

8) Si consideramos que:  $\frac{F_a}{F_r} \geq e$

Se requerirá:

$$e \leq 0.392 \text{ y se tendría } X = 0.56; 1.1 \leq Y \leq 2.0$$

$$0.56 \times 6957.72 \text{ N} + 1.1 \times 2732.31 \text{ N} \leq P \leq 0.56 \times 6957.72 + 2 \times 2732.31 \text{ N}$$

$$6.89 \text{ KN} \leq P \leq 9.35 \text{ KN}$$

$$4.18 \times 6.89 \text{ KN} \leq C \leq 4.18 \times 9.35 \text{ KN}$$

$$28.80 \text{ KN} \leq C \leq 39.10 \text{ KN}$$

Para nuestra aplicación, hemos seleccionado un rodamiento de inserción con fijación mediante prisioneros y aro interior prolongado. Este tipo de rodamiento ofrece facilidad de montaje, seguridad y capacidad para soportar cargas radiales y axiales.

Tabla 33. Rodamiento Y SKF E2 con prisioneros. (35)

Designación	d (mm)	D (mm)	Capacidad (KN)		RPM
			C	C <sub>0</sub>	Límite
<b>YAR 209-112-2F</b>	44.45	85	33.20	21.60	4300

Nota: Se selecciona de tabla de rodamiento rígido de bolas. Tomada de elementos de máquinas II por MSC Ing. Fortunato Alva Davila, 2011. (35)

El rodamiento YAR 209-112-2F tiene un diámetro interior de 1-3/4 de pulgada (aproximadamente 44.45 mm), y es diseñado para montaje en ejes con una fijación mediante prisioneros. Este tipo de rodamiento es comúnmente utilizado en una variedad de aplicaciones industriales donde se requiere soporte para cargas radiales y axiales, junto con facilidad de montaje y desmontaje.

- Implican rotación constante.
- Son rápidos y de fácil de montaje hacia el eje.
- Son capaces de adaptarse a la desalineación estática se acomodan a desviaciones angulares.
- Soportan cargas radiales que actúa perpendicularmente al eje de rotación.
- Soportan cargas axiales que actúa paralelamente al eje de rotación.
- Su vida útil es muy larga.
- Diseñados para reducir los niveles de ruido y vibración.

La figura 91 detalla el dimensionamiento del rodamiento YAR 209-112-2F.



Figura 91. Rodamiento YAR 209-112-2F. Tomada de "Catálogo SKF".

### 3.2.35. Selección de Soporte Pie SKF SY 509 M

Estas chumaceras están diseñadas para alojar rodamientos de inserción. Fabricados en fundición, son fuertes, rígidos y rentables. Ideales para la mayoría de las aplicaciones, pueden atornillarse directamente a una superficie de apoyo.

Características:

- Soportan cargas pesadas en diferentes sentidos.
- Alto grado de rigidez.
- Diseño estrecho.

La figura 92 muestra el dimensionamiento del soporte de pie SKF SY 509 M.

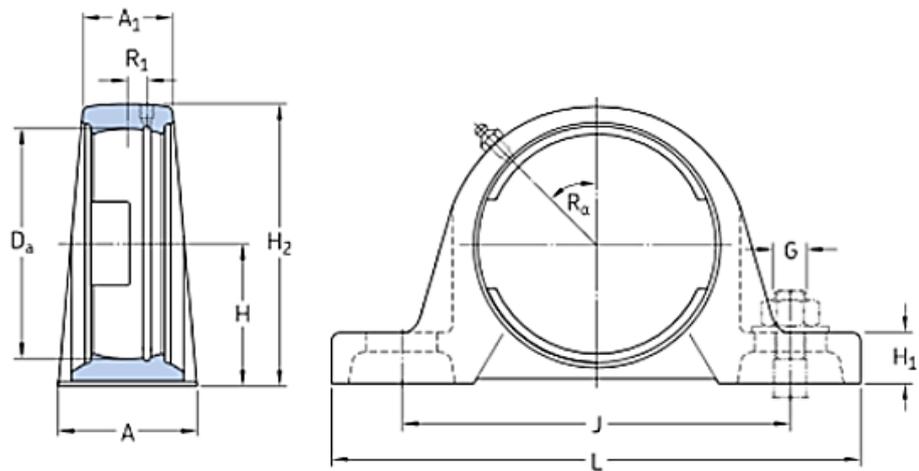


Figura 92. Soportes de pie para rodamientos de inserción. Diseño propio.

Tabla 34. Dimensiones de soporte pie SKF SY 509 M. (35)

Dimensiones				
$D_a$	$H_2$	H	A	L
85 mm	107 mm	54 mm	48 mm	187 mm

Nota. Nomenclatura de soportes SY 509 M. Tomado de “soporte-sy-509-m.pdf”, (p. 1), por Grupo SKF, 2015, dirigirse a [www.rodavigo.com](http://www.rodavigo.com).

### 3.2.36. Interacción de las partículas de trigo con Rocky-DEM

La caracterización de las fuerzas que actúan sobre las partículas de trigo se realiza utilizando el método de elementos discretos (DEM). Este enfoque modela las partículas como sólidas e individuales que interactúan entre sí y con su entorno a través de fuerzas de contacto.

En el DEM, las fuerzas de contacto se dividen en dos tipos principales: fuerzas normales y fuerzas tangenciales. Las fuerzas normales actúan perpendicularmente a la superficie de contacto entre las partículas y dependen del nivel de traslape entre ellas. A mayor traslape, mayor es la fuerza normal. Por otro lado, las fuerzas tangenciales actúan paralelas a la superficie de contacto y surgen debido al deslizamiento relativo entre las partículas.

Al simular el sistema de partículas de trigo con DEM, es esencial considerar estas fuerzas de contacto para comprender su comportamiento colectivo. Esto implica definir modelos que describan cómo varían estas fuerzas en función de parámetros como el nivel de traslape y las propiedades del material.

En conclusión, el método de elementos discretos es una herramienta poderosa para estudiar la dinámica de sistemas granulares como los de trigo, ya que permite caracterizar de manera precisa las fuerzas de contacto entre las partículas y su entorno.

La resistencia a la rodadura es una fuerza que se opone al movimiento de las partículas de trigo cuando ruedan sobre una superficie. En el método DEM, esta resistencia se modela considerando factores como la geometría de la partícula, la rugosidad de la superficie y las propiedades del material. Entender esta resistencia es crucial para comprender cómo se comportan las partículas de trigo en aplicaciones como el transporte de granos.

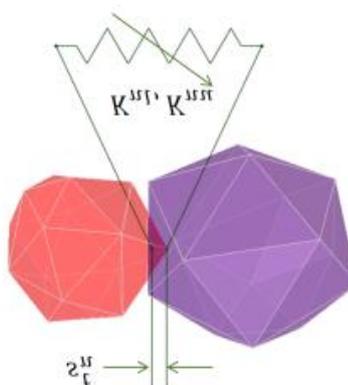


Figura 93. Traslape de trigo de rigidez de carga y descarga. Diseño propio.

La fuerza tangencial de contacto se determina considerando el traslape normal y tangencial en un instante dado. En la figura 94 se explicará cómo se calcula la carga tangencial entre las partículas de trigo utilizando diferentes modelos de interacción.

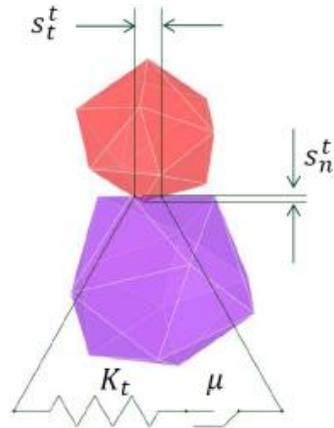


Figura 94. Esquema de modelo lineal con traslape tangencial de trigo. Diseño propio.

El coeficiente de resistencia a la rodadura ( $F_r$ ) se calcula como el producto de la fuerza normal de contacto ( $F_n$ ), el radio de rodadura ( $r$ ), y el vector de velocidad angular ( $\omega$ ), que une el centroide de la partícula con el punto de contacto.

En la figura 95 se representa el vector del radio de rodadura, que conecta el centroide de la partícula con el punto de contacto. A continuación, se define el momento de rodadura de manera incremental, hasta un límite determinado por la configuración del contacto, como se describe a continuación.



Figura 95. Distribución de carga en la zona de contacto. Diseño propio.

Fuerza de adhesión y cohesión:

Las fuerzas de adhesión y cohesión pueden modelarse de diversas maneras. Aquí se presentan algunos modelos comunes:

Lineal: Esta fuerza de adhesión y cohesión agrega un resorte atractivo en la interacción normal, que se activa cuando las partículas se acercan lo suficiente.

Leeds: Esta fuerza de adhesión y cohesión es más compleja y considera una combinación elasto-plástico-adhesivo.

JKR: Este modelo es más sofisticado y considera las propiedades elásticas y plásticas de las partículas en contacto.

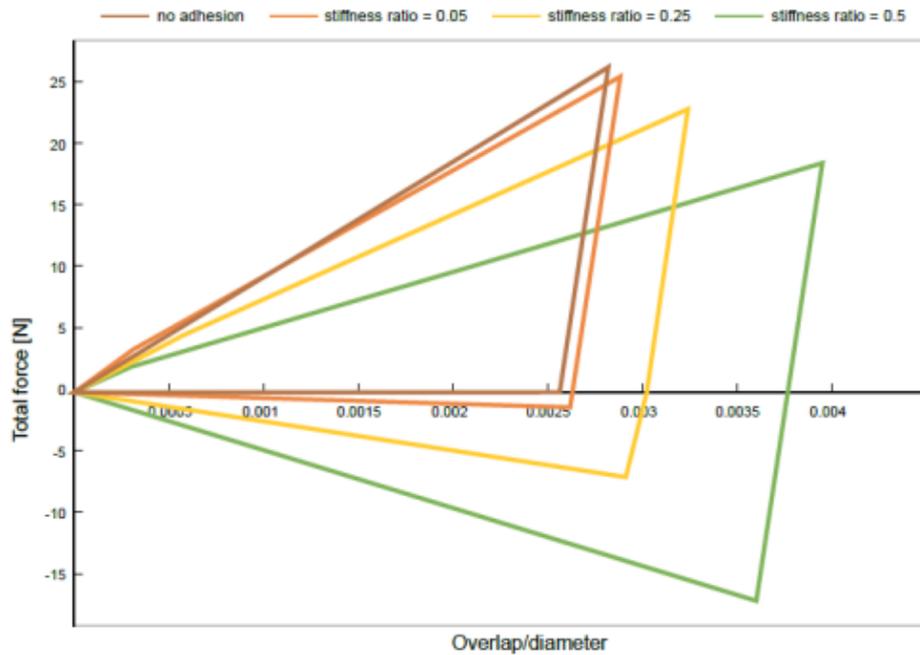


Figura 96. Diagrama de superposición basado en el tamaño de partícula. Diseño propio

Parámetros de interacción o micro-parámetros:

- Módulo de elasticidad (E)
- Densidad ( $\rho$ )
- Tamaño de partícula (d)
- Forma de partícula (Fp)
- Coeficiente de roce ( $\mu$ )
- Coeficiente de restitución (Cr)
- Resistencia a la rodadura ( $\mu_r$ )

### 3.2.37. Importación y Aplicación de Materiales en Rocky-DEM

El proceso para obtener la simulación del diseño del elevador de cangilones y observar el comportamiento del trigo se realizó con Rocky DEM. En este sentido, una vez realizados todos los cálculos teóricos, así como también con

el software Inventor, se procedió con la exportación del modelo completo del elevador de cangilones en formato STL.

Para iniciar el proceso de importación de la geometría en el software Rocky DEM, primero se crea un nuevo proyecto a través del menú ubicado en la parte superior de la interfaz, tal como se ilustra en la figura 97.

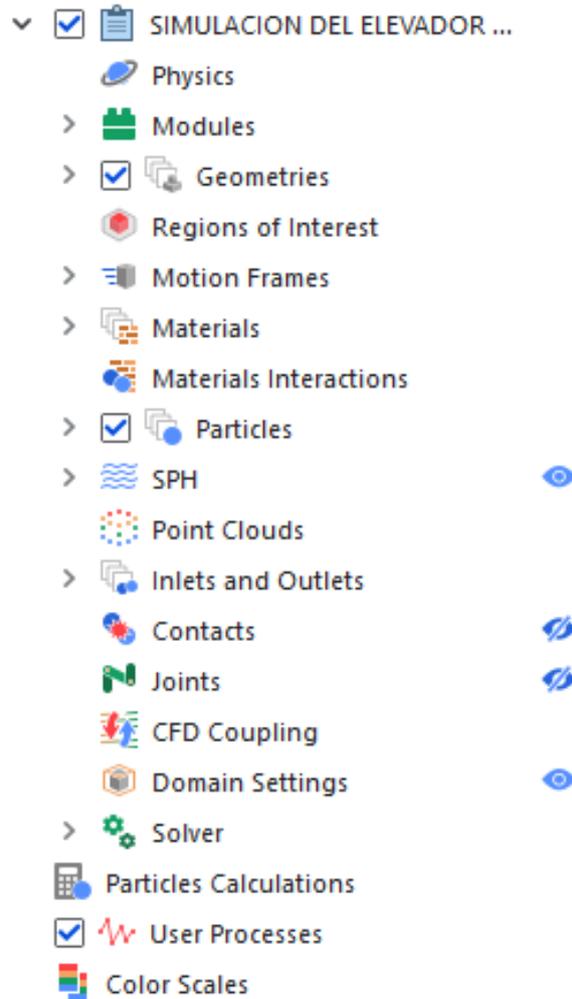


Figura 97. Interfaz en Rocky-DEM. Diseño propio.

Primero, se define la dirección de la gravedad utilizando el sistema de coordenadas X, Y, Z, donde la gravedad se establece en  $-9.81 \text{ m/s}^2$  en el ítem de "Physics" del menú principal. Posteriormente, se especifica la dirección de la gravedad, como se muestra en la figura 98.

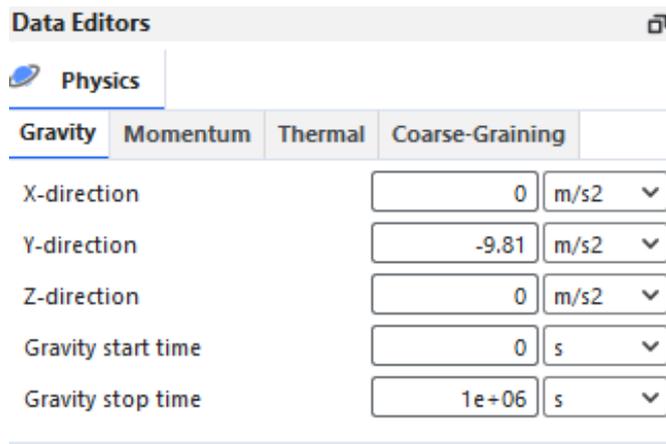


Figura 98. Configuración de gravedad con Rocky-DEM. Diseño propio.

En el menú de "Physics", configuramos la fuerza normal utilizando el modelo "Hysteretic Linear Spring", que representa el choque entre las partículas de trigo como un resorte.

En cuanto a la fuerza tangencial, se emplea el modelo "Linear Spring Coulomb", donde la fuerza tangencial depende de la fuerza normal, así como de la fuerza elástica y los coeficientes de fricción estático y dinámico

El "Numerical Softening Factor" es un parámetro que controla la rigidez de la geometría en la simulación. Ajustar este factor adecuadamente es crucial para lograr una simulación precisa, como se detalla en la figura 99.

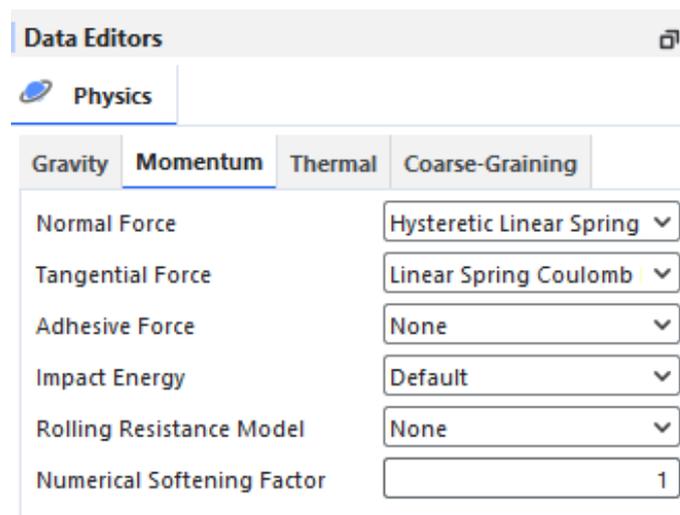


Figura 99. Configuración de momentos de fuerza con Rocky-DEM. Diseño propio.

En el ítem del módulo, activamos "Contacts Overlap Monitor", que son el choque de las partículas de trigo con la geometría que vendría a ser el modelamiento del elevador de cangilones, como se detalla en la figura 100.

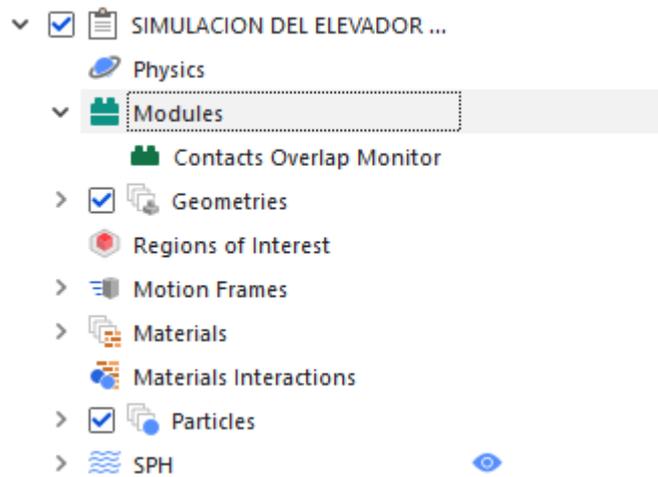


Figura 100. Configuración de modulo con Rocky-DEM. Diseño propio.

Ya configurada la dirección de la gravedad en el interfaz de Rocky DEM, se procedió a importar la geometría del diseño del elevador de cangilones de 10 metros de altura desde Inventor. Esto se realizó haciendo clic derecho sobre la casilla "Geometries" y seleccionando la opción "Importar", adjuntando el diseño del elevador mencionado. Como resultado, se obtuvo la vista en 3D que se muestra en la figura 101.

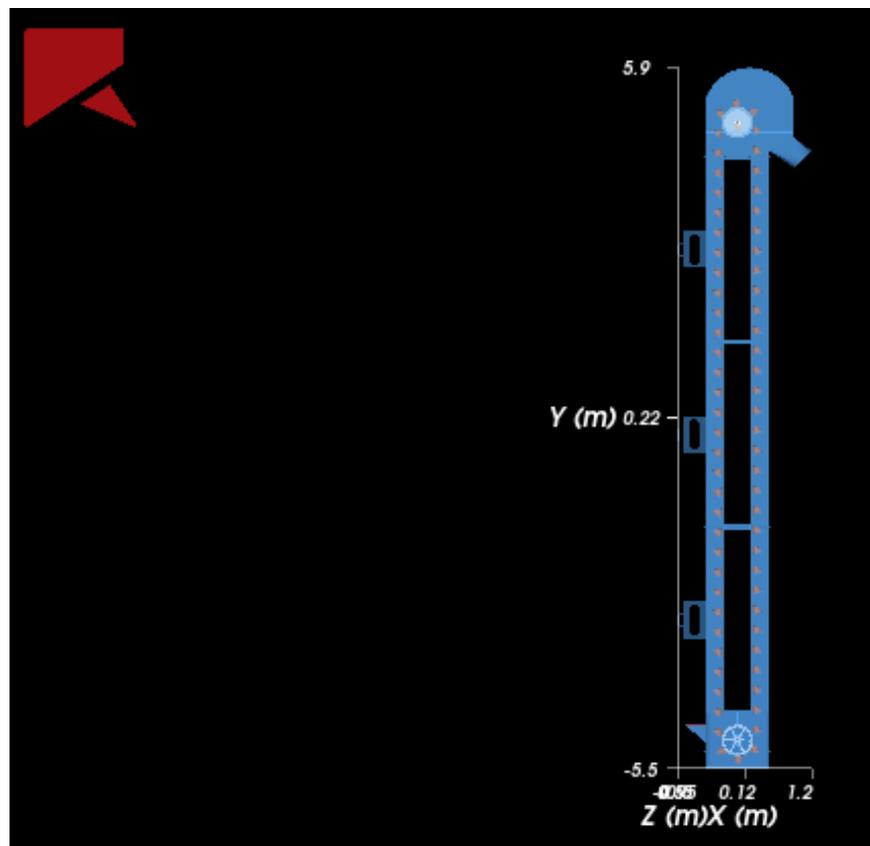


Figura 101. Entorno completo del elevador de cangilones con Rocky-DEM. Diseño propio.

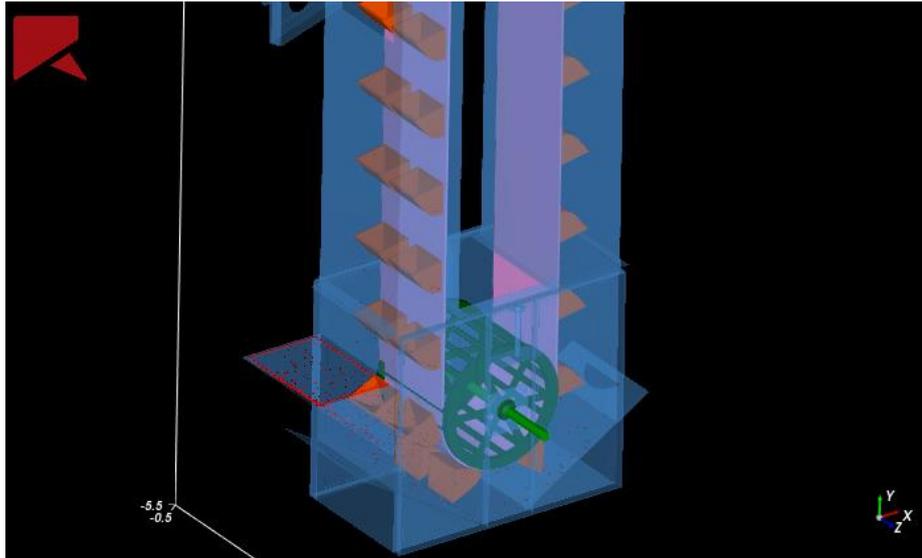


Figura 102. Vista 3D de la bota del elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

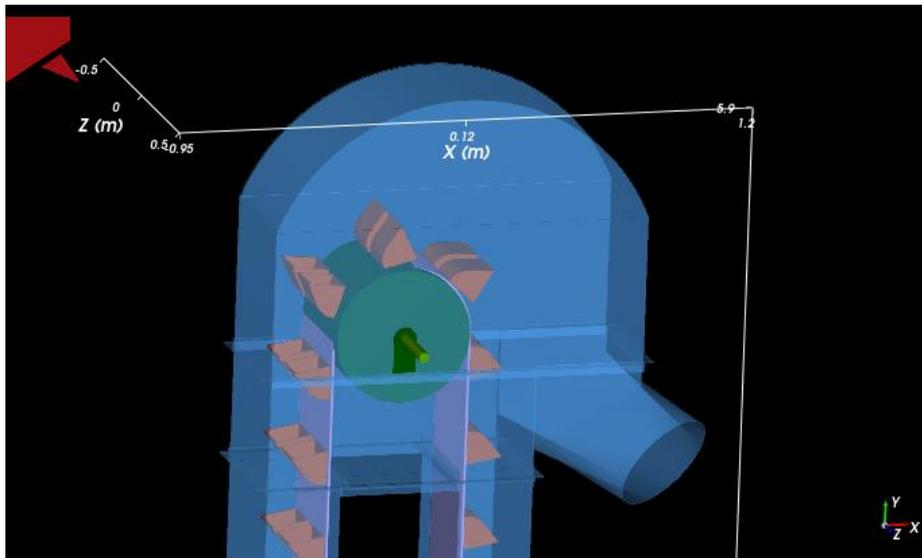


Figura 103. Vista 3D de la cabeza del elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

Después, se procedió a configurar la entrada (Inlet) por donde ingresarán las partículas de trigo. Esta entrada tiene una forma rectangular según la geometría de la entrada. Se definió su tamaño y ubicación del sistema de coordenadas (x, y, z) a través de la ventana "Data Editors", ubicada en la parte inferior del menú.

La entrada de trigo se realiza en la bota, se observa un marco rectangular rojo, conocida como el "alimentador". Por lo tanto, se configuró la posición y el tamaño de la entrada de las partículas de acuerdo con la apertura del alimentador. Esto se realizó definiendo los valores de posición en el sistema de coordenadas (x, y, z) y su tamaño, como se muestra en la figura 104.

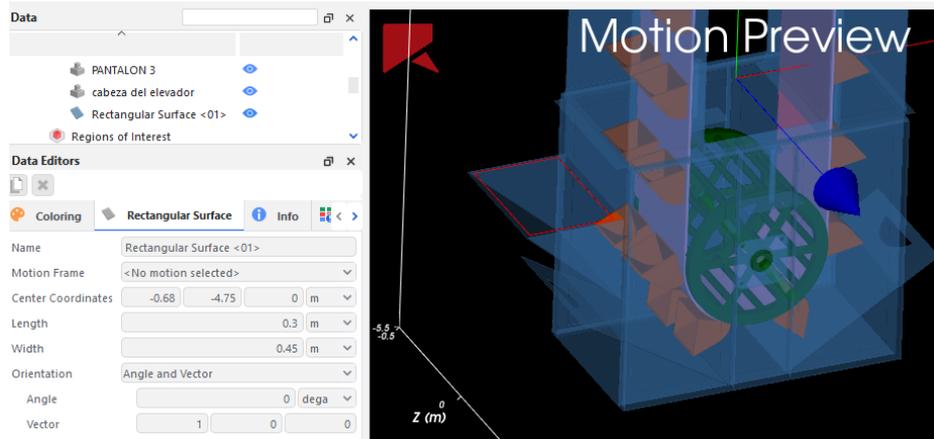


Figura 104. Entrada de alimentación de trigo en el elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

En el ítem “Motion Frames”, creamos un nuevo movimiento, una vez importada las geometrías asignamos todos los movimientos de traslación y rotación periódica que tendrá el elevador de cangilones que tiene una velocidad de 1.6 m/s, tal como se muestra en la figura 105.

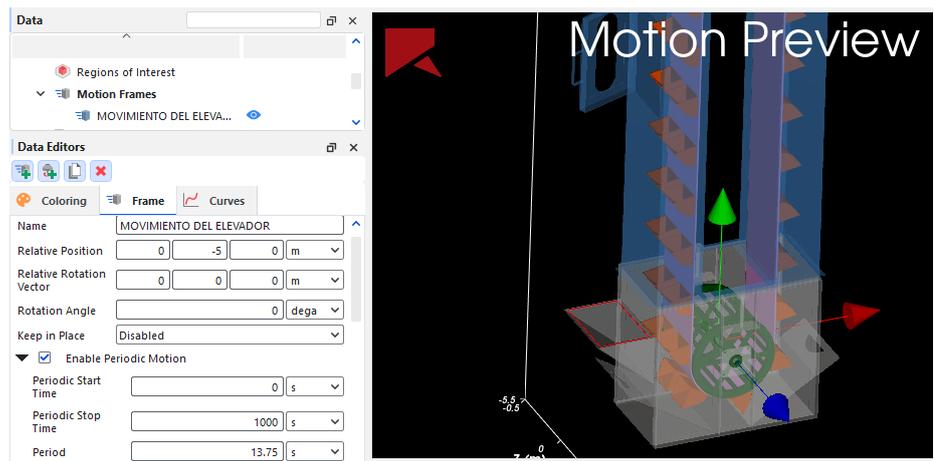


Figura 105. Movimientos de traslación y rotación con Rocky-DEM. Diseño propio.

El siguiente paso es asignar los materiales a cada pieza diseñada en inventor que es parte de la estructura de cangilones como la bota, piernas, cabeza, polea motriz y conducida que serán de ASTM A-36.

En la sección materiales, creamos un nuevo material y asignamos “Default Boundary”, que tiene por defecto las características del ASTM-A36, la figura 106 detalla su interfaz.

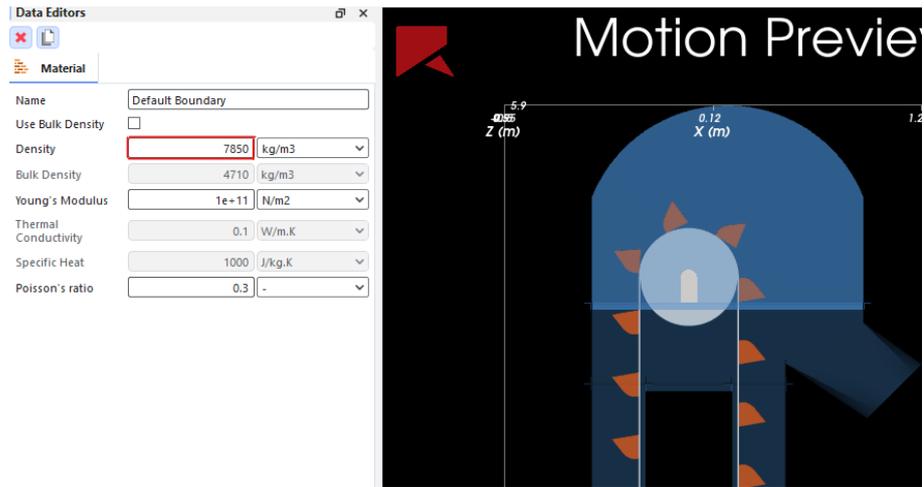


Figura 106. Aplicación del material A36 hacia la cabeza del elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

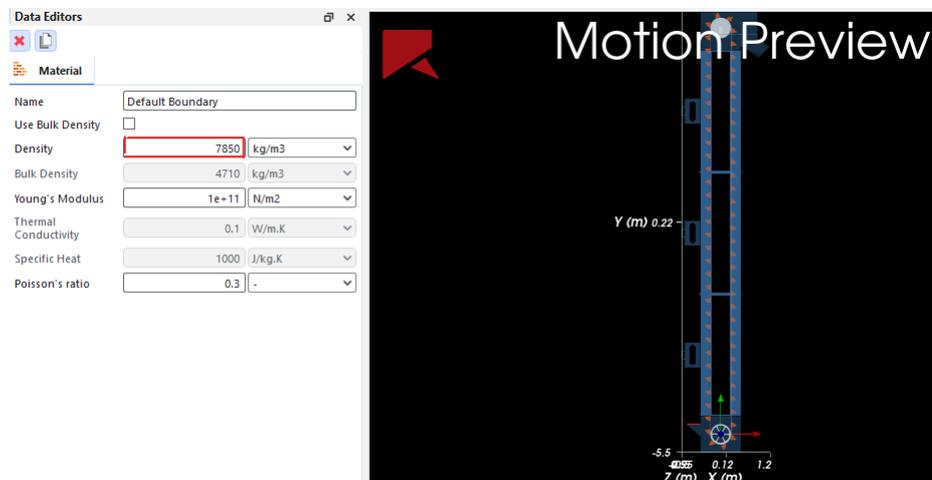


Figura 107. Aplicación del material A36 hacia las piernas del elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

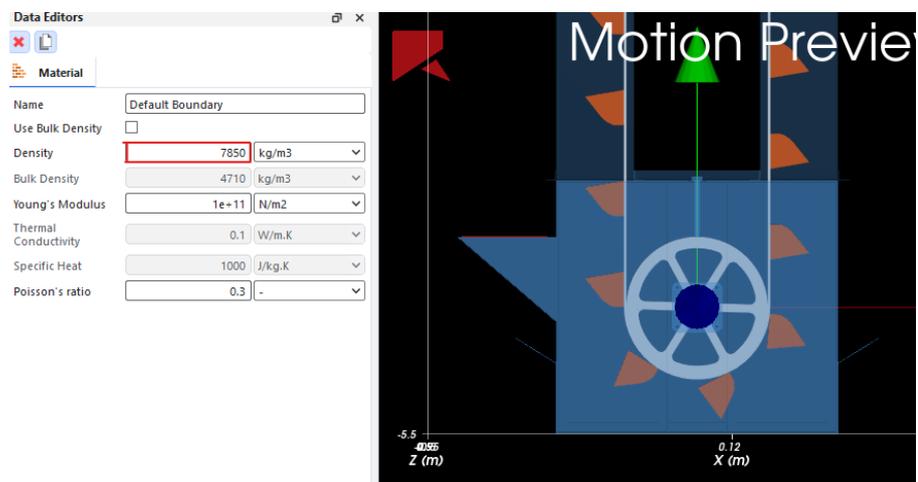


Figura 108. Aplicación del material A36 hacia la bota del elevador con Rocky-DEM. Diseño propio.

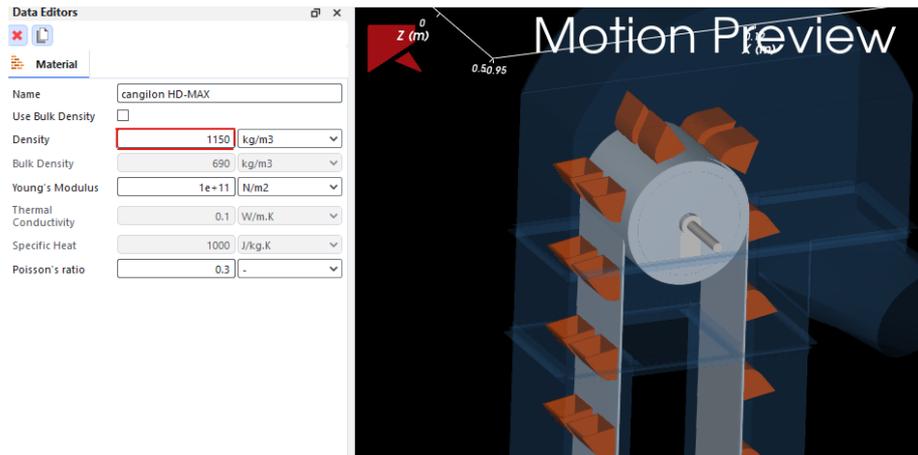


Figura 109. Aplicación del material nylon hacia el cangilón HD-MAX con Rocky-DEM. Diseño propio

Tabla 35. Peso y densidad de componentes del elevador de cangilones.

Pieza	Cant.	Altura metros	Material	Densidad	Peso Unit. kg	Peso Total kg
Cabeza del elevador de cangilones	1	1.442	ASTM-A36	7850 kg/m <sup>3</sup>	38.37	38.37
Pantalón del elevador de cangilones	3	3.000	ASTM-A36	7850 kg/m <sup>3</sup>	50.01	150.03
Bota del elevador de cangilones	1	0.900	ASTM-A36	7850 kg/m <sup>3</sup>	44.17	44.17
Cangilones HD-Max	172	0.162	Nylon	1150 kg/m <sup>3</sup>	0.46	79.12
Eje motriz	1	1	SAE 1045	7850 kg/m <sup>3</sup>	8.86	8.86
Eje conducido	1	1	SAE 1045	7850 kg/m <sup>3</sup>	9.86	9.86
Banda transportadora	1	21.628	PVC	1290 kg/m <sup>3</sup>	102	102
Polea motriz	1	0.500	ASTM-A36	7850 kg/m <sup>3</sup>	200	200
Polea conducida	1	0.500	ASTM-A36	7850 kg/m <sup>3</sup>	200	200

Nota. Diseño propio.

### 3.2.38. Angulo de Reposo del Trigo en Rocky-DEM - Secuencia

El proceso para obtener el ángulo de reposo del trigo son los siguientes.

El ítem “Material Interactions”, es un campo que analiza las interacciones de la materia.

Vamos “Material Wizard”. Este ítem ayuda a trasladar el material a la vida real con parámetros listos para utilizar.

Utiliza el “Bulk Density”, que es una densidad aparente sin compactar, como también el ángulo de reposo y valores de cohesión a utilizar.

En este paso damos okey para obtener los valores experimentales.

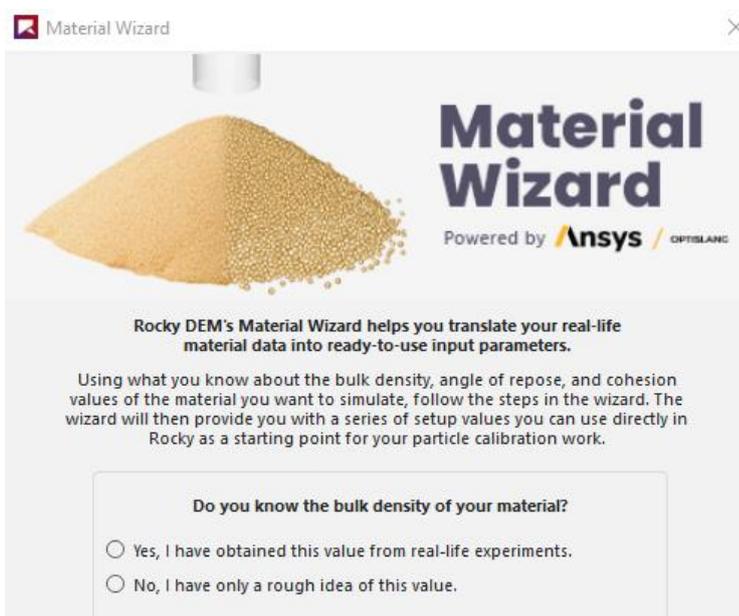


Figura 110. Configuración de Material Wizard con Rocky-DEM. Diseño propio.

Una vez creado el material se carga en el sistema y se asigna a nuestras geometrías, se seleccionó el ítem de “Particles” que está en el menú principal diseñando una nueva partícula de trigo.

La configuración del material de las partículas se aplicó al trigo ya creado a través de la ventana "Wizard". En este ítem, se puede apreciar la geometría del trigo, el tipo y el material para la partícula.

Para este caso, a la partícula de trigo se le asignó un modelo estándar. Adicionalmente, se configuró su geometría en forma de "Faceted" con modificaciones verticales y horizontales, tal como se detalla en la figura 111.

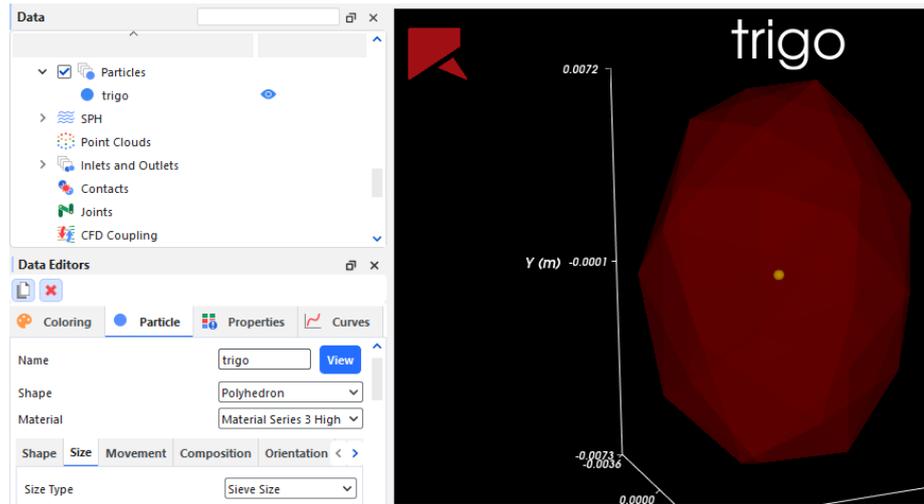


Figura 111. Generación y ajuste de partículas de trigo con Rocky-DEM. Diseño propio.

El siguiente paso nos muestra la ventana "Material Wizard" para definir el ángulo de reposo del trigo como también su cohesión y densidad. la figura 112 detalla estas características.

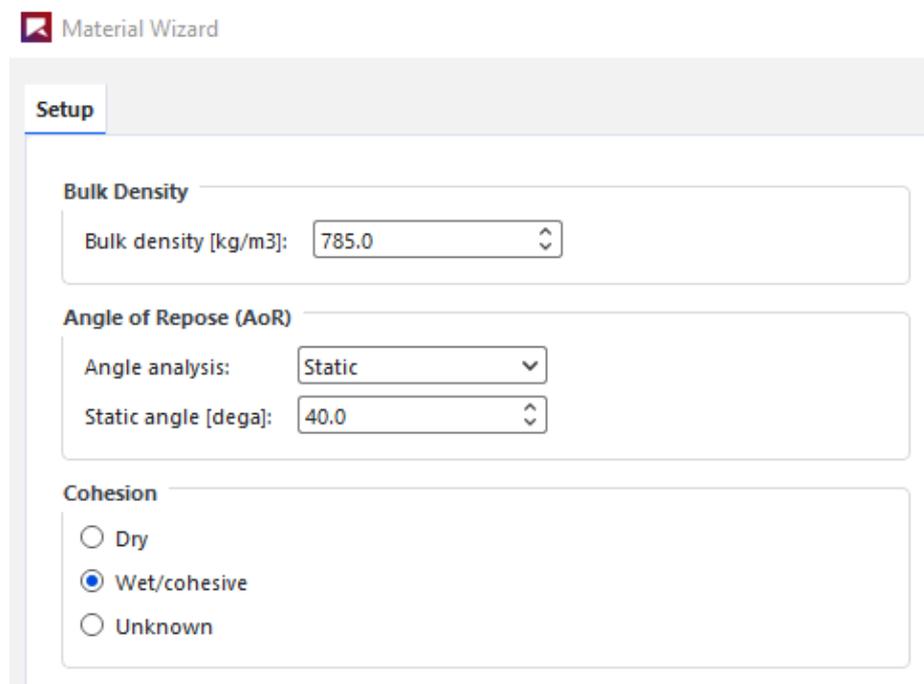


Figura 112. Configuración de la densidad aparente con Rocky-DEM. Diseño propio.

Una vez obtenidos los resultados de la ventana “Material Wizard”, procedemos a elegir el factor de fricción más crítico. La figura 113 muestra las alternativas.

The screenshot shows the 'Material Wizard' interface with the 'Results' tab selected. A dropdown menu is set to 'Friction factor' and a 'Create entities' button is visible. Below, three series of material properties are listed:

Series 1: Low Friction factor	
Bulk density: 785.00 [kg/m <sup>3</sup> ]	Static/Dynamic Friction: 0.10 [-]
Static angle: 40.00 [dega]	Rolling resistance: 0.11 [-]
	Density: 1742.75 [kg/m <sup>3</sup> ]
	Stiffness fraction: 0.08 [-]

Series 2: Medium Friction factor	
Bulk density: 785.00 [kg/m <sup>3</sup> ]	Static/Dynamic Friction: 0.56 [-]
Static angle: 40.00 [dega]	Rolling resistance: 0.30 [-]
	Density: 1663.33 [kg/m <sup>3</sup> ]
	Stiffness fraction: 0.02 [-]

Series 3: High Friction factor	
Bulk density: 785.00 [kg/m <sup>3</sup> ]	Static/Dynamic Friction: 1.00 [-]
Static angle: 40.00 [dega]	Rolling resistance: 0.16 [-]
	Density: 1821.23 [kg/m <sup>3</sup> ]
	Stiffness fraction: 0.07 [-]

Figura 113. Factor de fricción crítico con Rocky-DEM. Diseño propio.

Al realizar estas tres pruebas sobre el ángulo de reposo del trigo, sabemos que siempre obtendremos ángulos diferentes debido a diversos aspectos y entornos, pero ninguno superará el ángulo de reposo seleccionado del catálogo CEMA, que es de 40°. La figura 114 detalla las diferentes pruebas.

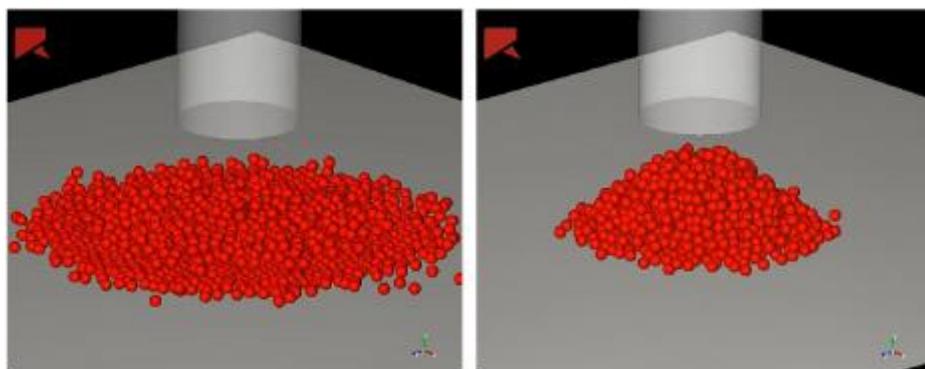


Figura 114. Primer modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM. Diseño propio.

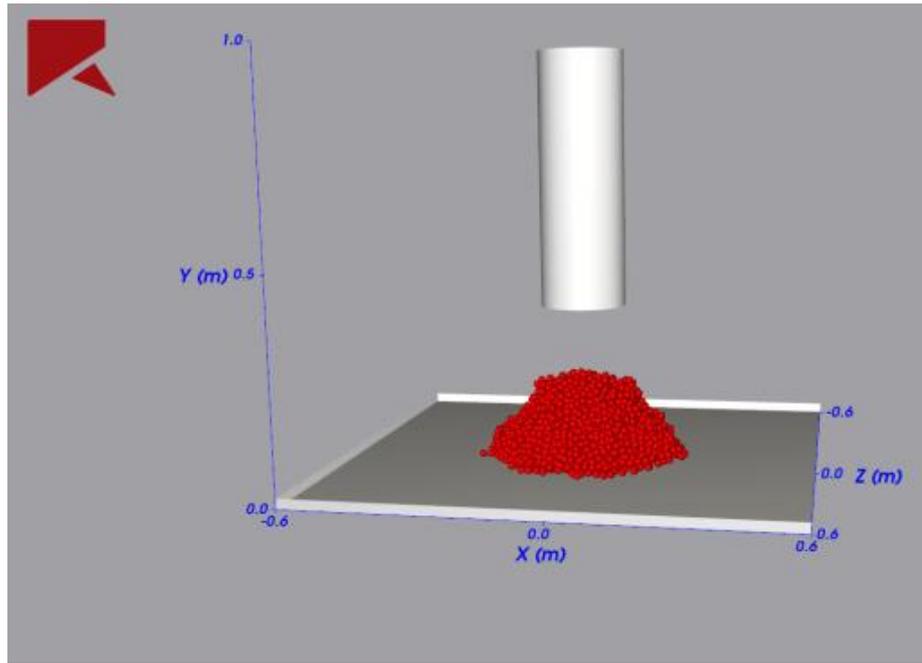


Figura 115. Segundo modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM. Diseño propio.

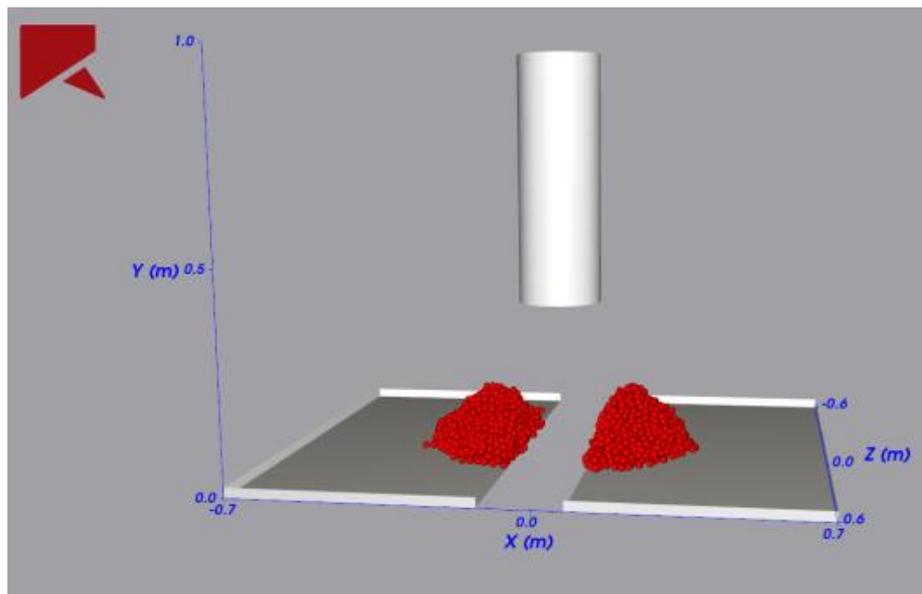


Figura 116. Tercer modelo planteado de ángulo de reposo de trigo con Rocky-DEM. Diseño propio.

### 3.2.39. Entrada de Trigo en la Bota del Elevador de Cangilones con Rocky-DEM

Una vez finalizados los primeros pasos en el entorno de Rocky DEM en contacto con el trigo, se procedió a crear la entrada de las partículas de trigo en el ítem "Input" del menú principal. A través de la ventana "Data Editors", se definió el nombre y el punto de entrada (Entry Point), seleccionando la entrada (Inlet) creada previamente.

Continuando, se configuro la razón de alimentación de las partículas de trigo, la figura 117 detalla su entorno.

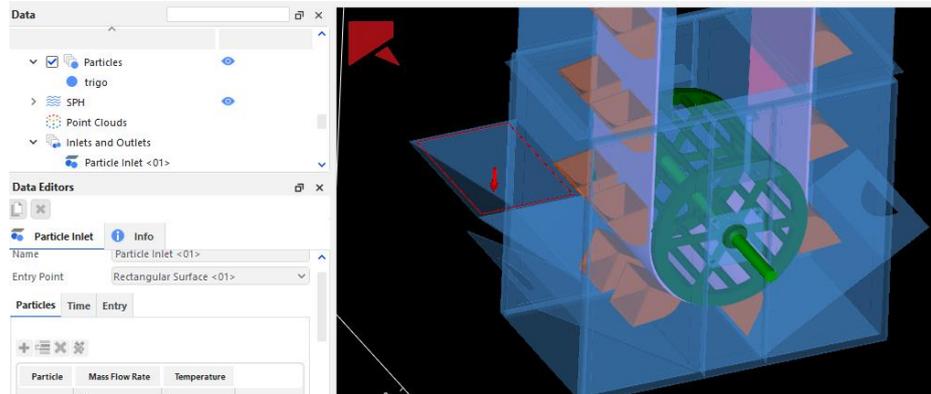


Figura 117. Creación de entrada de partícula de trigo con Rocky-DEM. Diseño propio.

Por último, se realiza la configuración de los parámetros de tiempo a través de la casilla "Solver", donde se definieron los parámetros de tiempo de la simulación, estableciéndolos en 200 segundos, como se muestra en la figura 118. Además, en el ítem de "Configuración General", se puede definir la tarjeta gráfica y el número de procesadores; sin embargo, estos se mantuvieron por defecto.

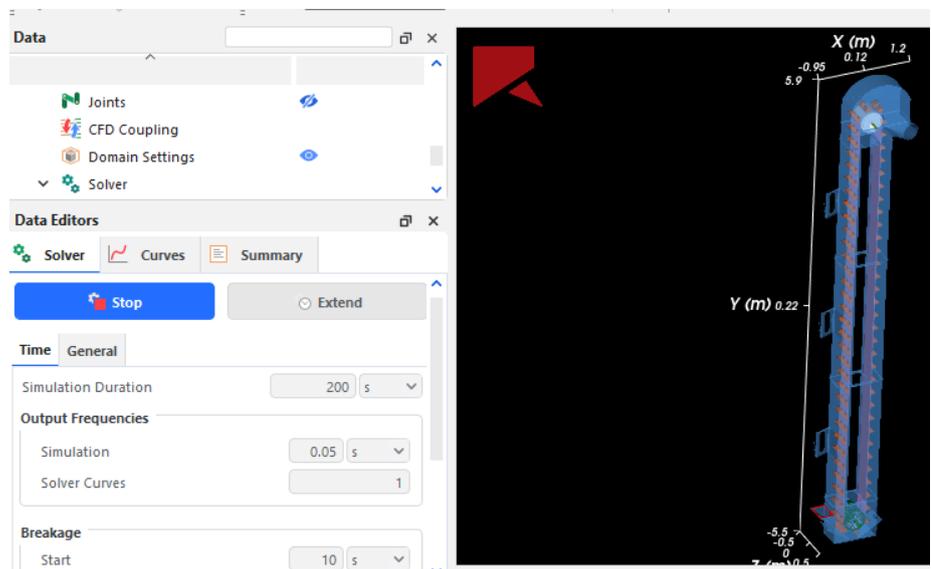


Figura 118. Configuración del tiempo utilizando el Solver con Rocky-DEM. Diseño propio.

### 3.2.40. Evaluación Económica del Proyecto e Investigación.

La figura 119 detalla los datos probabilísticos de tendencia de la inflación promedio interanual en los próximos años, considerando el retorno de la tasa

de inflación a los niveles previos al 2021. En ese entonces, la tasa de inflación en el Perú fluctuaba entre el 1% y el 3%, con tendencia alcista.



Figura 119. Proyección de inflación 2023. Diseño propio.

### 1) Flujo de caja de inversión

Para proyectar los rubros de ingresos y egresos a cinco años, se muestra el flujo de caja proyectado desde el año 2023 hasta el 2027, teniendo en cuenta que el año fiscal 2023 arrojará una tasa inflacionaria variable del 2% al 3% anual.

El enfoque inicial del proceso es una parte fundamental del proceso. Caracterizar la situación implica comprender el contexto en el que se desarrolla el proyecto, identificar los objetivos y alcances del mismo, así como también las variables relevantes que pueden influir en su éxito o fracaso. Esta caracterización inicial proporciona la base para determinar qué información es necesaria recopilar y analizar durante el proceso de evaluación.

Una vez que se caracteriza la situación y se identifican las necesidades de información, se procede a implementar los modelos y supuestos pertinentes. Esto puede incluir la selección de un tipo específico de criterio para la evaluación, como el valor presente neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR), y establecer los criterios de decisión que se utilizarán. Luego, se elige la herramienta más adecuada para llevar a cabo el análisis, adaptándola según las particularidades del proyecto y los objetivos de la evaluación.

a) Costos iniciales o inversión

Tabla 36. Costos de materiales

<b>MATERIALES</b>	<b>COSTOS (\$)</b>
Elevador con cangilones y accesorios	6500.00
<b>Total</b>	<b>6500.00</b>

*Nota:* Elaboración propia

b) Estado de resultados con inflación, sin financiación y producción constante

Tabla 37. Estado de resultados FNE

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>
Producción		15 ton/h				
Inversión	6500					
Ingreso		31850	38160	45790	34950	635945
Costos de producción		26800	32150	38580	46300	55560
Costos de administración		550	653	785	940	1129
Costos de ventas		1015	1220	1460	1760	2150
=UAI		3485	4137	4965	5950	7106
Impuestos		1640	1940	2340	2805	3365
=UDI		1845	2197	2625	3145	3741
+Depreciación		534	642	764	925	1136
+Otros		836	1371	1759	2160	2383
<b>=FNE</b>		<b>3215</b>	<b>4210</b>	<b>5148</b>	<b>6230</b>	<b>7260</b>

*Nota.* Flujo Neto Efectivo (FNE). Elaboración Propia.

c) Valor de salvamento (VS)

Se estima una tasa de salvamento de 30% del valor inicial o inversión, por lo tanto, calculamos este valor de la manera siguiente:

$$VS = 6500 \times 0.3 = \$1950$$

d) Diagrama de flujo

La figura 120 detalla el diagrama de flujo.



Figura 120. Diagrama de flujo. Diseño propio

2) Tasa de interés anual considerando la influencia de la inflación  $T_{MAR_{f=3\%}}$

- Tasa de inflación anual,  $f = 3\%$ .
- Tasa de interés anual,  $i = 15\%$ .

$$T_{MAR_{f=3\%}} = i + f + if \quad (2.42)$$

$$= 0.15 + 0.03 + 0.15 \times 0.03 = 0.1845$$

$$T_{MAR_{f=3\%}} = 18.45\%$$

### 3.2.41. Parámetros de Recuperación de Capital Invertido

1) Valor actual neto (VAN)

Tabla 38. Estado de resultados del VAN

Año	Flujo de Caja (S)
0	-6500
1	3125
2	4210
3	5148
4	6230
5	7260

Nota. Elaboración Propia.

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & -6500 + \frac{3125}{(1 + 0.1845)^1} + \frac{4210}{(1 + 0.1845)^2} + \frac{5148}{(1 + 0.1845)^3} \\ & + \frac{6230}{(1 + 0.1845)^4} + \frac{7260}{(1 + 0.1845)^5} \end{aligned}$$

$$\text{VAN} = \$8514.93$$

2) Tasa interna de retorno (TIR)

TIR se calcula de la siguiente manera:

$$0 = -6500 + \frac{3125}{(1 + \text{TIR})^1} + \frac{4210}{(1 + \text{TIR})^2} + \frac{5148}{(1 + \text{TIR})^3} + \frac{6230}{(1 + \text{TIR})^4} + \frac{7260}{(1 + \text{TIR})^5}$$

$$\text{TIR} = 60\%$$

Después de obtener estos dos resultados el VAN y la TIR, se concluye que se debe realizar la inversión, ya que, el VAN es positivo e igual a \$8514.93 La TIR es mayor que la  $T_{\text{MAR}}$ :

$$\text{TIR} = 60\% > T_{\text{MAR}} = 18.45\%$$

Entonces, para ambos casos se considera la inflación y por ende se debe de realizar la inversión.

### 3) Relación costo beneficio

Para calcular la formula B/C, se necesita estimar los beneficios netos del proyecto durante los 5 años de vida útil, descontados al valor presente utilizando la tasa de descuento del 18.45%, y también calcular los costos de inversión del proyecto descontados al valor presente de la misma manera. Luego, divides el VAN de los beneficios entre el VAN de los costos de inversión para obtener la relación B/C.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{VAN}}{\text{INVERSION}} \quad (2.43)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$8514.93}{\$6500} = 1.31$$

La relación calculada beneficio - costo (B/C) es mayor a 1, significa que los ingresos esperados son superiores a la inversión. Esto quiere decir que el proyecto es rentable financieramente.

### 4) Periodo de recuperación de inversión (PRI)

El cálculo del periodo de recuperación de la inversión de capital también se denominada PRI es una medida de tiempo que lleva a la recuperación de la inversión en su totalidad a su valor actual. Nos dice año, mes y día exacto en la que se pagará la inversión hecha en el proyecto.

Modo de calcular del PRI:

$$\text{PRI} = A + \frac{(B - C)}{D} \quad (2.44)$$

Donde:

A = Numero de año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

B = Valor de inversión del proyecto.

C = Monto acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

D = Monto acumulado del año en el que se recupera la inversión.

Calculando el PRI:

El periodo de recuperación se encuentra entre los años 1 y 2.

Tabla 39. Indicadores del PRI

<b>Indicadores</b>	<b>Valores</b>	<b>Descripciones</b>
A	1 año	Año anterior a la recuperación de capital
B	\$6500	Inversión de capital
C	\$3125	Monto acumulado al periodo 1
D	\$7335	Monto acumulado al periodo 2

*Nota.* Elaboración Propia.

$$PRI = 1 + \frac{(6500 - 3125)}{7335}$$

$$PRI = 1.46 \text{ años}$$

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Este capítulo presenta los resultados de la simulación del eje motriz, que es la parte esencial del funcionamiento del elevador de cangilones, mediante el análisis de elementos finitos (FEM). Además, presenta los resultados de la simulación del transporte de trigo y de los componentes del mismo, utilizando el software Rocky DEM (Métodos de Elementos Discretos), con el objetivo de diseñar un elevador de cangilones de 10 metros de altura y capacidad para 15 toneladas por hora.

El tema de investigación se centra en el diseño del elevador de cangilones utilizando el software Autodesk Inventor Professional, con versiones del año 2023 en adelante, especialmente para la industria manufacturera. Este software se empleará para realizar cálculos nodales basados en parámetros ingresados por el diseñador. Se requiere un conocimiento de la especificación de construcción de acero ANSI/AISC 360-10 y diseño mecánico para interpretar los valores mostrados en la interfaz de cálculo, lo que permitirá realizar un análisis adecuado de los resultados obtenidos.

#### **4.1. Presentación de Resultados**

El enfoque del estudio es establecer un precedente y desarrollar soluciones innovadoras mediante el software de diseño Inventor. Además, se busca respaldar los cálculos

teóricos con los cálculos del software, los cuales se aproximan mucho a los requisitos del diseño y resultan en un diseño preciso del elevador de cangilones. Mediante el software Rocky DEM y su método de elementos discretos, se valida el comportamiento adecuado del trigo dentro del elevador de cangilones, lo que resulta en un diseño eficaz y eficiente en el campo de la ingeniería mecánica.

El uso del software Inventor no solo permite validar los cálculos generados con las fórmulas investigadas, sino que también puede servir como sustento para determinar el factor de seguridad y el desplazamiento en las simulaciones, siguiendo los principios de la ley de Hooke.

Este trabajo de tesis resalta y promueve el potencial del software de diseño y simulación, especialmente en el contexto del elevador de cangilones. Se busca demostrar cómo estas herramientas pueden tener diversas aplicaciones productivas y beneficiosas en comunidades, ciudades y otros ámbitos, lo que podría fomentar su adopción y uso en diferentes contextos industriales y sociales.

Se presenta el diseño del elevador de cangilones utilizando el software Inventor y Rocky DEM. Este diseño se fundamenta en las condiciones de trabajo específicas y en los estudios previamente citados en la investigación. A continuación, se resumen los resultados obtenidos.

#### **4.1.1 Resultado del Diseño del Elevador de Cangilones de 15 ton/h con Software Inventor**

Los estudios y cálculos desarrollados sobre el elevador de cangilones se detallan en la Figura 121, donde se observan las dos filas de cangilones que se ajustan mejor a las condiciones de trabajo, siguiendo la metodología VDI 2221.

Se analizó y recopiló información sobre la especificación ANSI/AISC 360-10 de proyectos metal-mecánicos, incluyendo fichas técnicas y teorías básicas, lo que permitió obtener una visión general para realizar el diseño de un elevador de cangilones de carga vertical de doble fila. Es fundamental comprender la teoría del marco teórico, ya que este cálculo es secuencial. Además, se necesitó la base de datos de los diferentes componentes que posee un elevador de cangilones vertical.

Los elevadores de cangilones de carga vertical y sus componentes son diseñados considerando el peso de la gravedad, así como su presión radial y la

capacidad de carga deseada. Para realizar estos cálculos, se emplea el método por factores de carga y resistencia (LRFD).

El proceso de modelado se llevó a cabo utilizando el software Inventor versión 2023, el cual se complementó eficazmente con Rocky DEM 2023. Mediante Inventor, se realizó el modelado 3D del elevador de cangilones de 10 metros de altura, lo que permitió al diseñador observar y analizar cada modificación en tiempo real, optimizando así el diseño.

Con los cálculos teóricos obtenidos y las dimensiones de las piezas correctamente seleccionadas, procedimos al modelado en el software Inventor e introducimos los datos calculados. Posteriormente, verificamos que no hubiera ninguna interferencia, asegurándonos de que cada pieza se modelara y ensamblara correctamente en el software de manera eficaz.

En la figura 121 se muestra el modelamiento final.

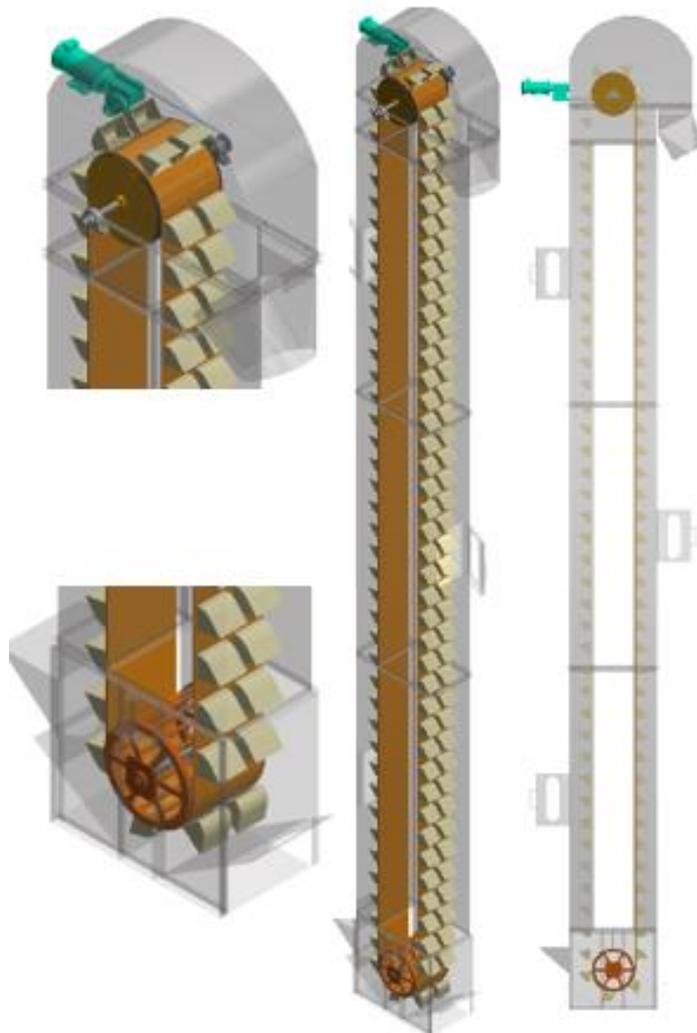


Figura 121. Elevador de cangilones doble fila. Diseño propio.

La Tabla 40 muestra las dimensiones y capacidad de dicho elevador.

Tabla 40. Parámetros del elevador de cangilones

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad de medida</b>
Altura total del elevador	10	m
Capacidad máxima del elevador	15	t/h
Velocidad del elevador	1.6	m/s
Capacidad unitaria del cangilón	0,0011	m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración Propia.

El elevador está fabricado con planchas y perfiles angulares. Se instalan cajones metálicos con un espesor de 3 milímetros, con el fin de evitar la pérdida del trigo.

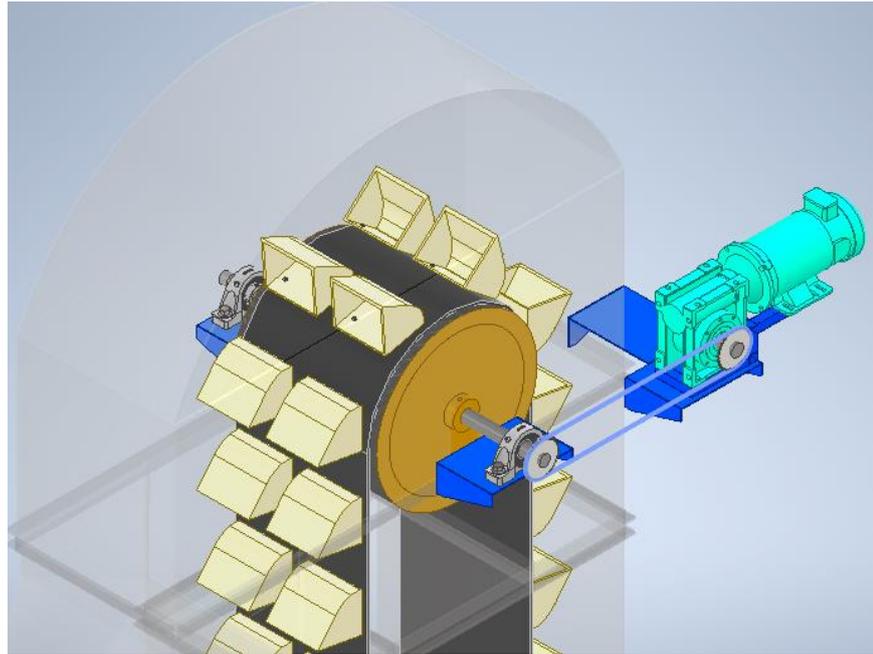
Los pantalones de dicho elevador están compuestos por tres secciones de tres metros cada una, los cuales se ensamblan mediante uniones atornilladas. El material de los componentes estructurales del elevador es acero ASTM A36, y sus propiedades mecánicas se encuentran detalladas en la Tabla 41.

Tabla 41. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Módulo elástico	$2 \times 10^5$	MPa
Coefficiente de Poisson	0,26	---
Densidad	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite elástico	$2,5 \times 10^2$	MPa
Límite a tracción	$4 \times 10^2$	MPa

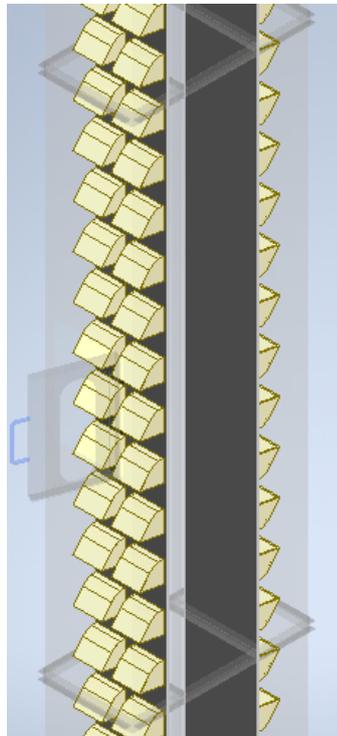
*Nota.* Elaboración Propia.

En la figura 122, en la parte superior del elevador de cangilones, se observa el modelado correcto, con un diámetro de 500 milímetros para la polea motriz y un eje de 1000 mm de largo con un diámetro de 38 milímetros. Además, se aprecia un ancho de banda de 407 mm, donde no se observa ningún desfase ni error dimensional.



*Figura 122.* Diseño de cabeza del elevador. Diseño propio.

En la figura 123 se presenta el elevador de cangilones, donde las piernas tienen una longitud de 1000 milímetros. Estas tres piernas están unidas mediante tornillos, y se ha modelado correctamente la unión entre el cangilón y la banda. Además, cada pierna del elevador cuenta con una puerta para facilitar su mantenimiento.



*Figura 123.* Diseño de las piernas del elevador. Diseño propio.

En la figura 124 se observa el modelado adecuado de la bota, con entradas apropiadas para el ingreso del trigo y tapas para facilitar su acceso.

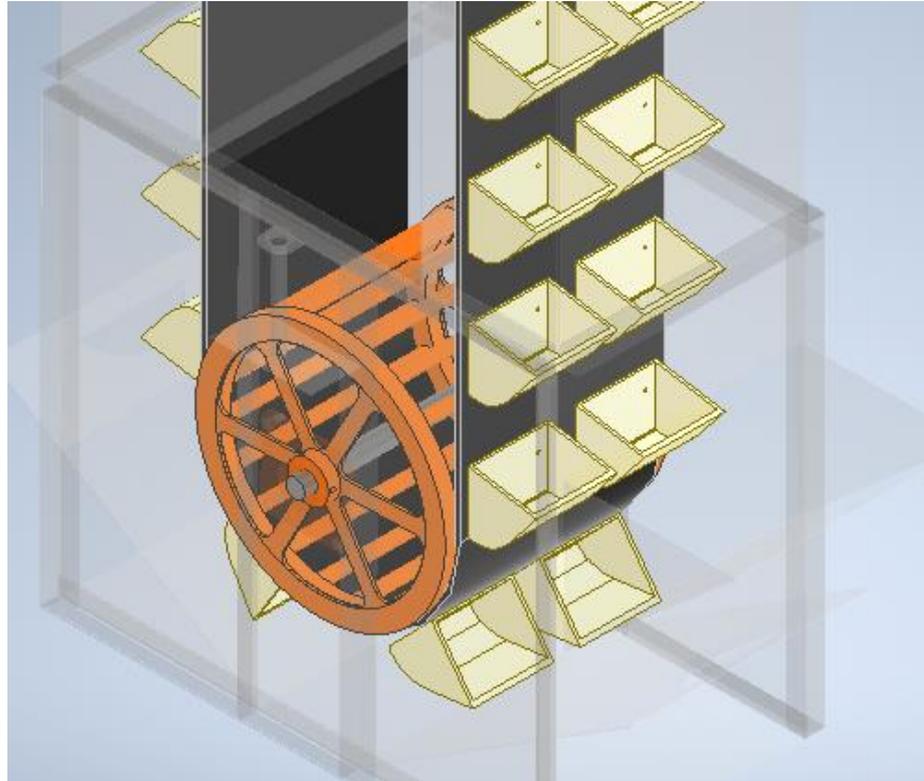


Figura 124. Diseño de la bota del elevador. Diseño propio.

#### 4.1.2 Análisis del Peso del Trigo sobre los Cangilones con Elementos Finitos en Software Inventor

Con el modelado en inventor, pasamos al análisis por elementos finitos.

Los componentes que no son de interés estructural como, el motor eléctrico, el reductor de velocidad y la carcasa no se analizan.

El software toma en cuenta la acción del peso de estos componentes sobre la estructura a analizar.

La simplificación del elevador en inventor permite reducir el tiempo de cálculo, quedando el modelo como se muestra en la Figura.

En la figura 125 se detallan los datos teóricos calculados, donde la capacidad del elevador es de 15,000 kilogramos por hora y cada cangilón puede cargar 0.81 kg de trigo, lo que equivale a 8.1 N.

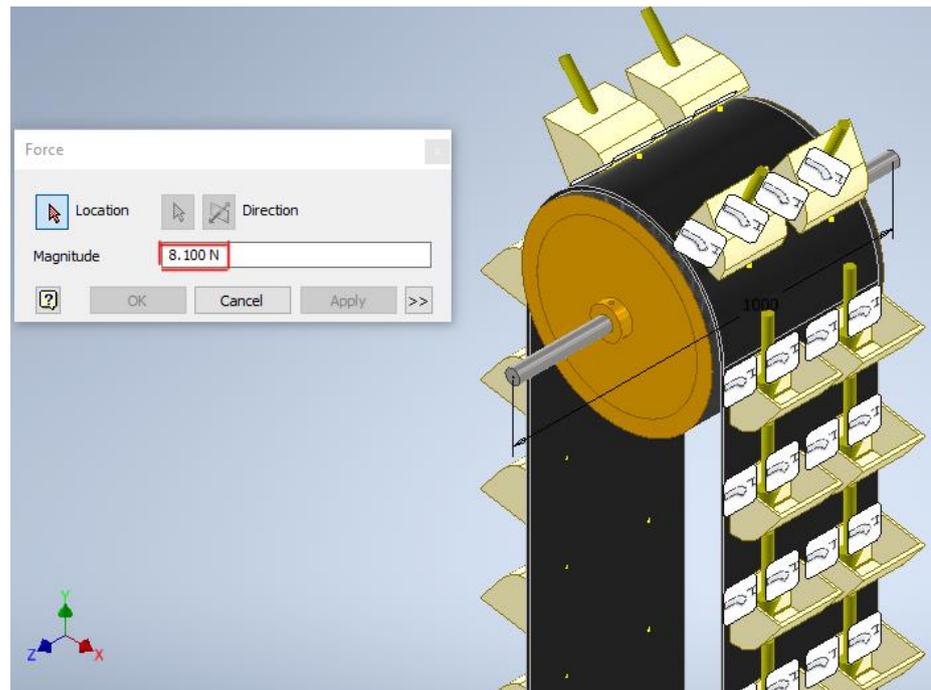


Figura 125. Capacidad de cada cangilón con software inventor. Diseño propio.

Se aplicará la técnica de mallado para mejorar la precisión de los cálculos en áreas críticas. Emplearemos una malla de elementos finitos para aumentar la precisión en las zonas donde se presenten mayores tensiones y deformaciones durante la carga y descarga de trigo en nuestro cangilón HD-Max.

La configuración de la malla cuenta con 1,503,166 nodos y 738,969 elementos.

En la figura 126 se muestra la malla de elementos finitos, una técnica ampliamente utilizada a pesar de su alto consumo de recursos computacionales. Sin embargo, esta malla proporciona una representación detallada de la estructura y precisa dónde ocurren las mayores fallas.

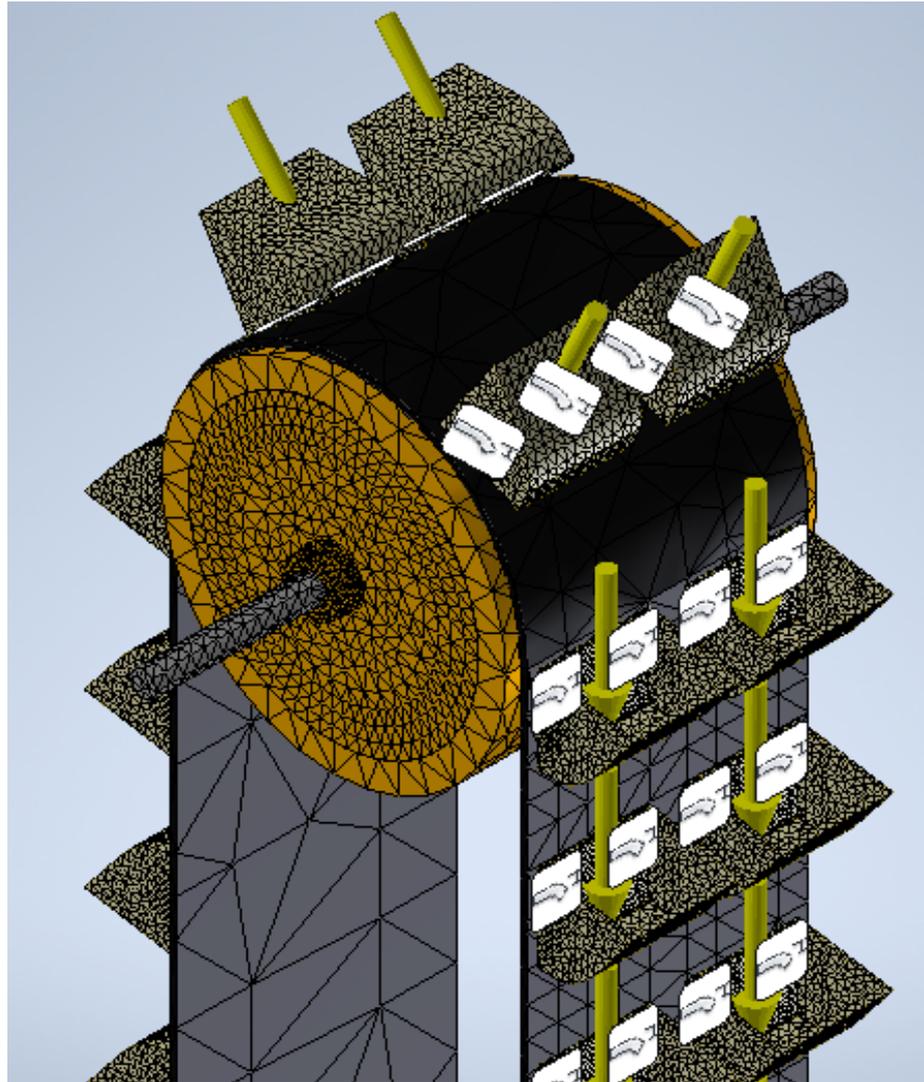


Figura 126. Configuración de mallado con software inventor del elevador de cangilones. Diseño propio.

Con base en los datos teóricos y la recopilación de antecedentes, se realizó una selección adecuada de componentes tanto para la banda transportadora como para el cangilón HD-Max, asegurando que puedan operar a una capacidad de 15,000 kilogramos por hora.

En la figura 127 se presenta la simulación de la sujeción de la banda con el cangilón, donde se observa que la tensión máxima es de 0.2155 MPa, lo que no alcanza ni siquiera 1 MPa. Esto no afecta en absoluto la capacidad del cangilón de 15 toneladas por hora, lo que confirma que nuestro elevador de cangilones trabaja efectivamente a la capacidad mencionada.

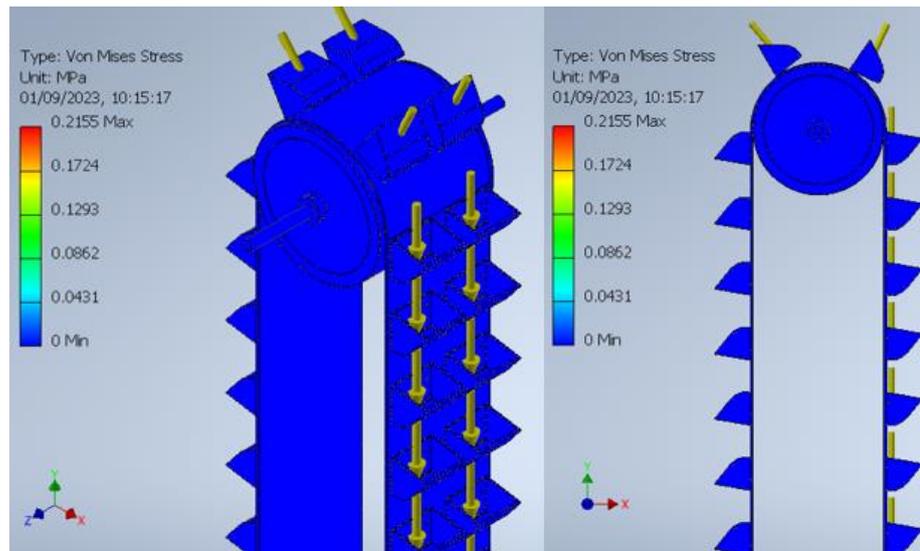


Figura 127. Tensión máxima del elevador de cangilones. Diseño propio.

En la figura 128 se detalla si existe alguna deformación o desplazamiento de los cangilones cuando operan a 15 toneladas por hora. Se observa que el desplazamiento máximo es de 0.021 mm, que ocurre cuando están girando en la polea motriz en su zona de descarga.

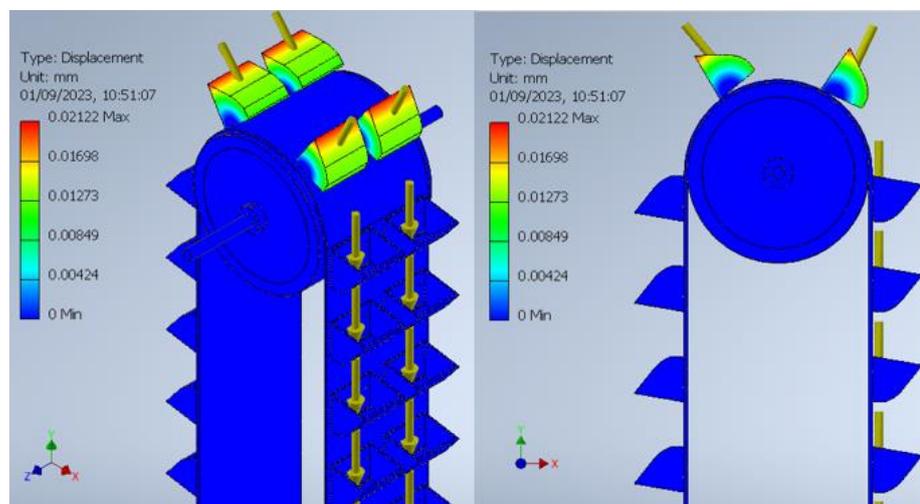


Figura 128. Desplazamiento máximo elevador de cangilones. Diseño propio.

#### 4.1.3 Análisis de Sujeción de Cangilón a Banda Transportadora con Elementos Finitos en Software Inventor

En la figura 129 se observa la sujeción del cangilón y la banda transportadora, donde el diámetro de perforación para su unión es de 6 milímetros. Durante el momento de carga y descarga mientras giran en la polea motriz y polea conducida, su tensión máxima es de 0.2155 MPa.

Se muestra la distribución de las tensiones en un rango de colores, de acuerdo al criterio de von Mises, en la estructura del elevador.

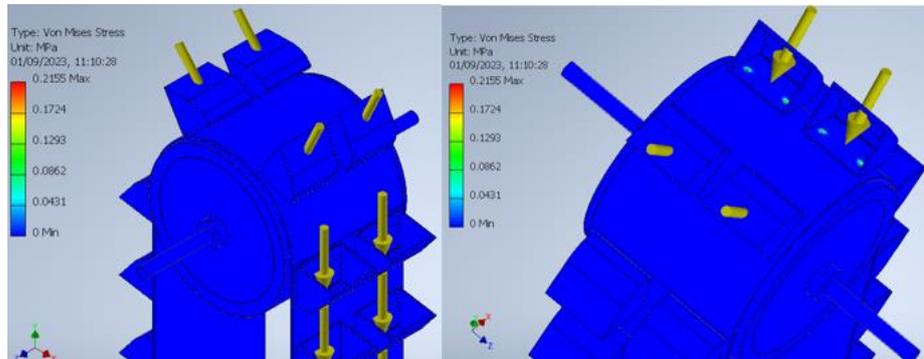


Figura 129. Tensión máxima de unión banda y cangilón. Diseño propio.

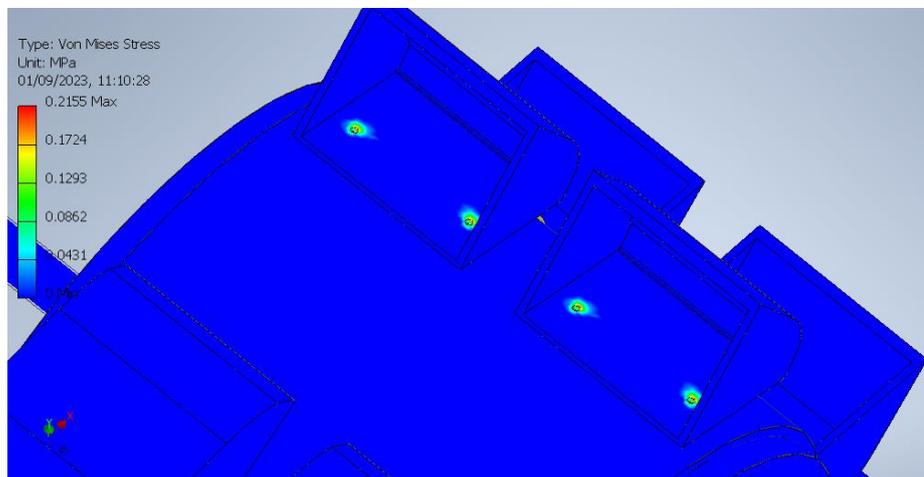


Figura 130. Tensión máxima de perforación de unión banda y cangilón. Diseño propio.

#### 4.1.4 Análisis del Eje Motriz con Elementos Finitos en Software Inventor

Para hallar las tensiones y desplazamientos del eje motriz, se excluyen los componentes que no intervienen en este análisis, como la carcasa del elevador, el reductor de velocidad y el motor. El software Inventor asume el peso propio del eje motriz.

Con el cálculo teórico realizado y teniendo en cuenta la sumatoria de todos los pesos de la carga viva que soporta el eje motriz, como los cangilones, la polea motriz y la banda transportadora, introducimos estos datos en el software Inventor.

$$W = 2 \times 2020.08 + 989 + 757.44 + 683.36 = 6469.96 \text{ Newton}$$

La figura 131 detalla la configuración del programa al aplicar la carga viva al eje motriz y fijar sus extremos.

Con los datos teóricos calculados y para validar estructuralmente el eje motriz y la carga que soportará al accionar la polea motriz, se aplicó el peso total de 6469.96 Newton utilizando el método de elementos finitos.

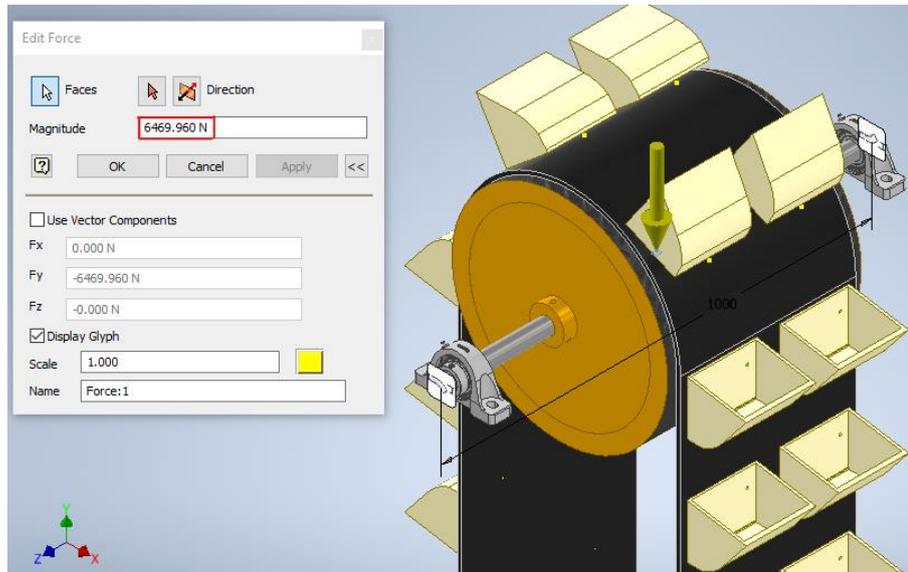


Figura 131. Configuración del peso total que soporta el eje motriz. Diseño propio.

A continuación, se llevó a cabo el mallado de todos los componentes que tienen contacto con el eje motriz. La malla resultante cuenta con 2,015,463 nodos y 1,056,495 elementos. Este proceso se detalla en la figura 132.

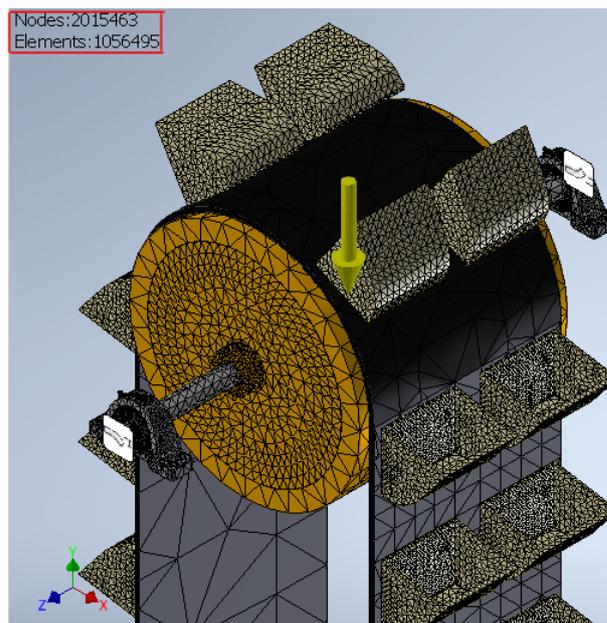


Figura 132. Configuración de mallado con software inventor del eje motriz. Diseño propio.

La carga viva de todos los componentes del elevador se aplica justo en el centro del eje motriz, con un peso total de 6964.69 Newton.

Se seleccionó el acero 1045 debido a su porcentaje medio de carbono y mejores propiedades mecánicas en comparación con otros aceros. El acero 1045 es ideal para aplicaciones que requieren un alto grado de resistencia al desgaste, como nuestro elevador de cangilones, que operará en doble turno de 8 horas.

Como se mencionó anteriormente, el eje motriz está fabricado con acero 1045 laminado en frío. Las dimensiones del eje son de 1000 milímetros de largo con un diámetro de 38 milímetros.

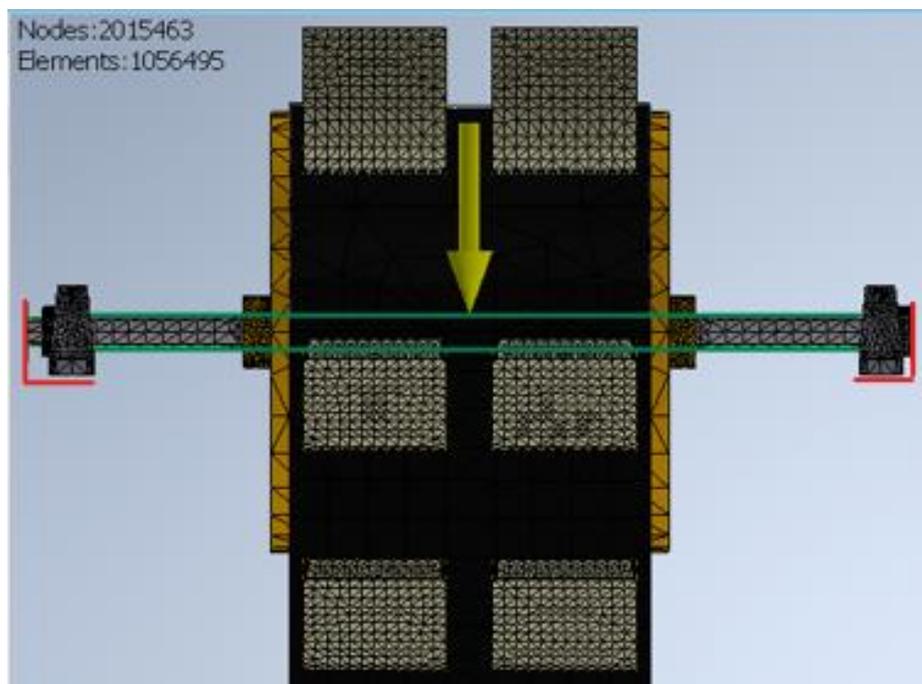


Figura 133. Aplicación de carga del eje motriz con software inventor. Diseño propio.

Para el análisis de tensiones y desplazamientos del eje motriz, se excluyen todos los demás componentes, lo que nos proporcionará resultados más precisos. El software tiene en cuenta la acción del peso del eje en este análisis.

La siguiente figura muestra el mallado del eje motriz, que consta de 4803 nodos y 2696 elementos.

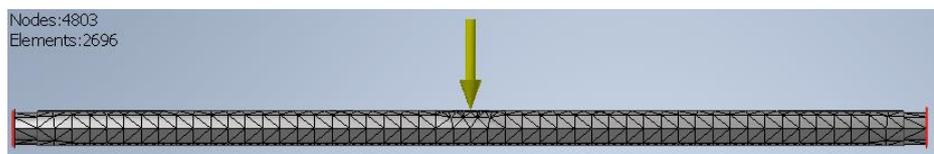


Figura 134. Mallado con software inventor del eje motriz. Diseño propio.

La Figura 135 muestra un mapa de colores que representan las tensiones equivalentes de Von Mises cuando el eje motriz soporta el peso de la polea, la banda transportadora y todos los cangilones.

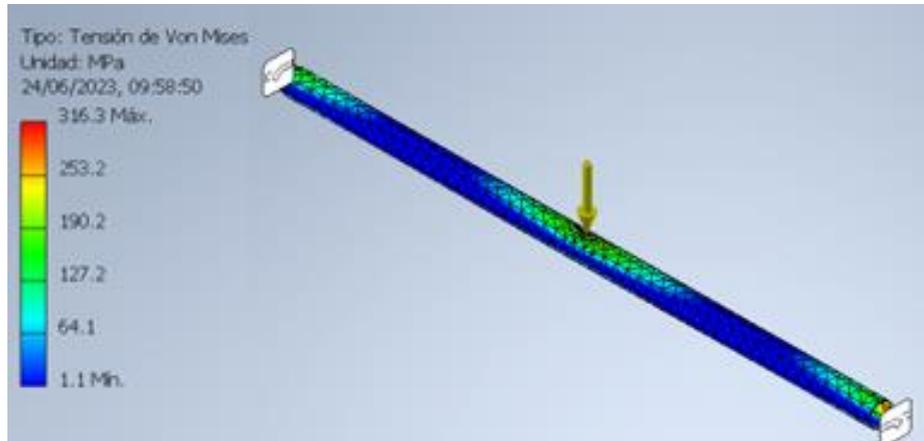


Figura 135. Tensión máxima con mallado del eje motriz con software inventor. Diseño propio.

La figura 136 detalla la simulación, en la cual analizamos el límite de elasticidad y observamos una tensión máxima de 316.3 MPa. Es importante destacar que el rango máximo del límite elástico del acero 1045 laminado en frío es de 531 MPa.

Con la simulación del programa podemos hallar el factor de seguridad.

$S_y$ : Límite elástico acero en MPa.

$T_s$ : Tensión de la simulación MPa.

$$F_s = \frac{S_y}{T_s} = \frac{531 \text{ Mpa}}{316.3 \text{ Mpa}} = 1.7$$

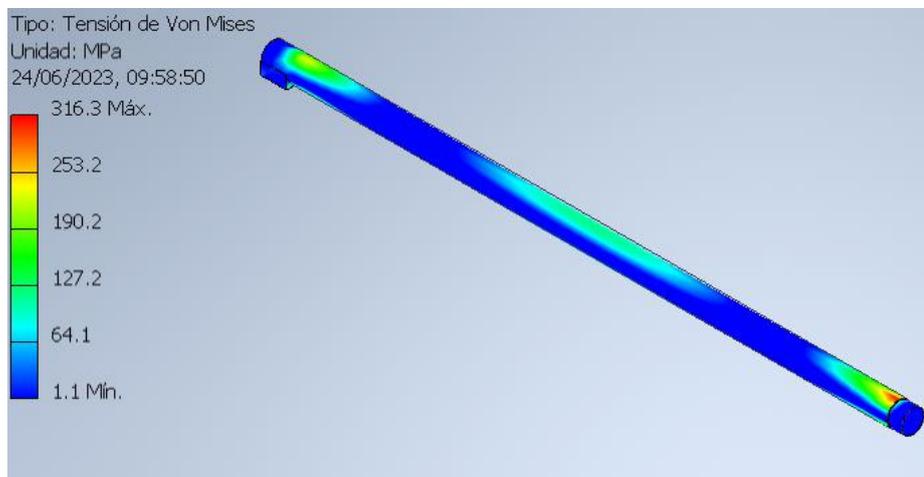


Figura 136. Tensión máxima del eje motriz con elementos finitos. Diseño propio.

La Figura 137 muestra el análisis del eje motriz sometido a las fuerzas que soporta, que son 6469.96 N. Se observa que el desplazamiento en el eje Y se aproxima a 2 milímetros. Esto valida que nuestros cálculos teóricos son correctos y que el eje trabaja dentro de las condiciones sometidas.

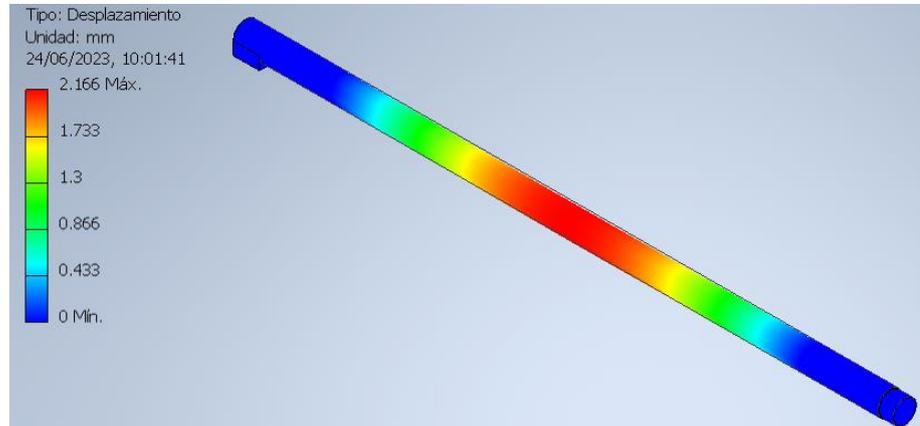


Figura 137. Desplazamiento máximo del eje motriz con elementos finitos. Diseño propio.

Dado que el factor de seguridad obtenido es 1.7 y el límite para el factor de seguridad del acero es 1, esto sugiere que el diseño del eje motriz es robusto y seguro para las condiciones de carga especificadas. Un factor de seguridad mayor a 1 indica que la capacidad de carga del eje es considerablemente mayor que la carga aplicada, lo que proporciona un margen de seguridad significativo. Esto es fundamental para garantizar la integridad estructural y la fiabilidad del sistema en funcionamiento. Además, el hecho de que el eje trabaje dentro de un margen de seguridad tan amplio ofrece tranquilidad en cuanto a su desempeño y durabilidad a lo largo del tiempo, minimizando el riesgo de fallos prematuros o deformaciones permanentes. En la figura 138 se muestra el mapa de colores de nuestro factor de seguridad.

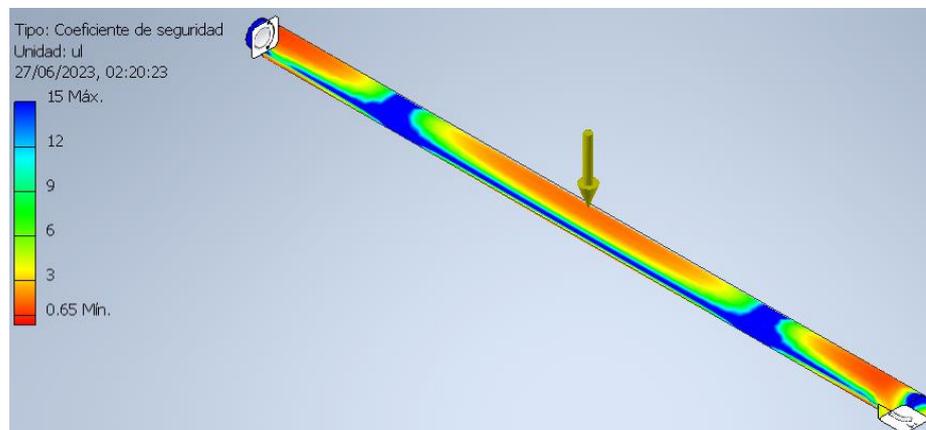


Figura 138. Factor de seguridad del eje motriz con elementos finitos. Diseño propio.

La siguiente tabla se observa las características del eje laminado en frío.

Tabla 42. Propiedades mecánicas del acero 1045

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Reducción de área (%)	Dureza (HB)
	MPa	PSI	MPa	PSI		
Caliente y maquinado	570	82700	310	45000	40	163
Estirado en frío	630	91400	530	76900	35	179

Nota. Elaboración Propia.

#### 4.1.5 Análisis del Ángulo de Reposo de Trigo con Rocky DEM

El resultado típico de la simulación DEM del trigo a granel nos proporciona información sobre el comportamiento de la pila de material con respecto a su posición en los planos X, Y o Z.

Se observa que la pila no tiene un ángulo de pendiente definido, pero tiende a aplanarse en su borde de la parte inferior, dada por partículas de alta velocidad que no logran frenarse.

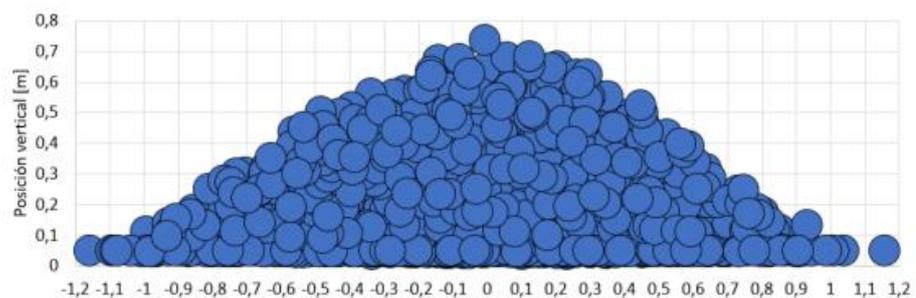


Figura 139. Ángulo de reposo no compactado de trigo. Diseño propio.

Es importante realizar una caracterización continua para obtener información sobre la pendiente de la pila y considerar más técnicas para comprender el comportamiento granular.

Este problema dependerá de la cantidad de partículas utilizadas (a mayor cantidad de partículas la distribución se deformará más y más) y aun así no tendremos la forma de la pila, la cual es una característica macroscópica del material.

Es importante analizar el ángulo de reposo del trigo para saber el comportamiento de sus partículas cuando interactúan entre ellas y con el entorno del elevador de cangilones.

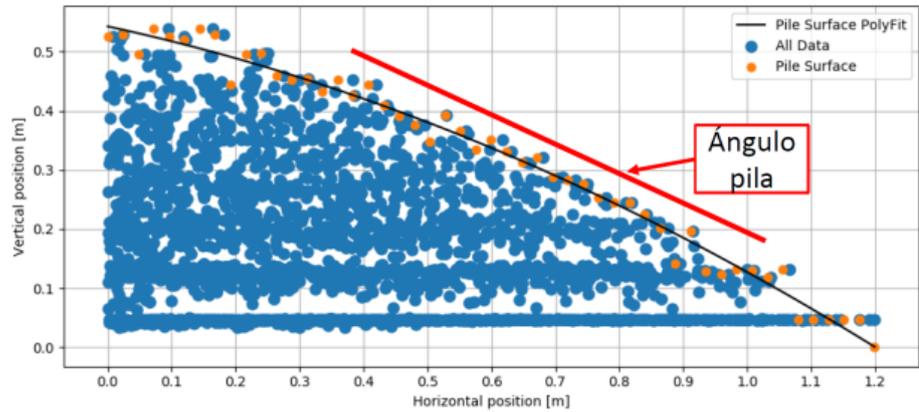


Figura 140. Definición de ángulo de reposo. Diseño propio.

#### 4.1.6 Análisis de la Interacción del Trigo en el Elevador de Cangilones con Rocky DEM

La siguiente figura detalla el recorrido de las partículas de trigo. Comienza cuando son dirigidas hacia la bota del elevador, donde entran en contacto con los cangilones para su respectiva carga por dragado por efecto de la gravedad.

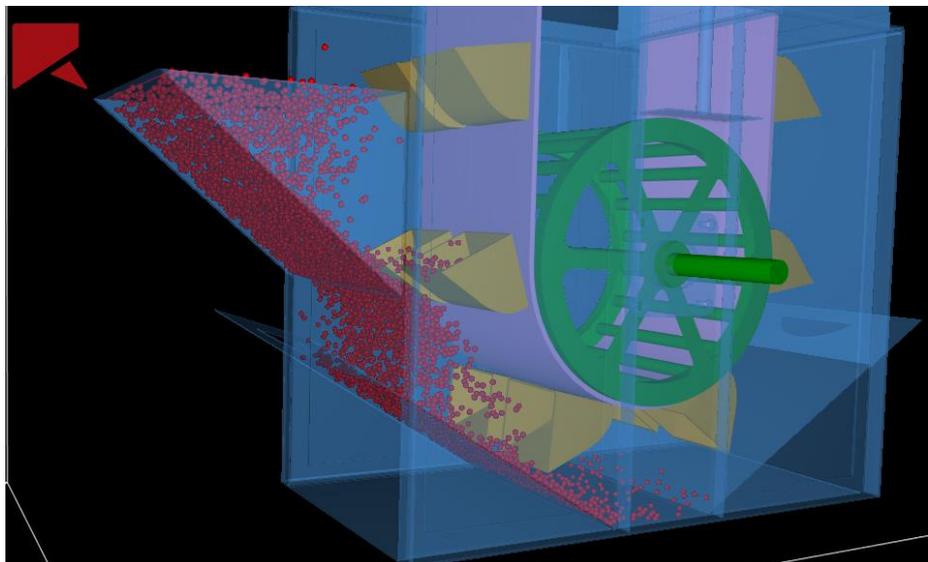


Figura 141. Entrada de grano de trigo con Rocky DEM. Diseño propio.

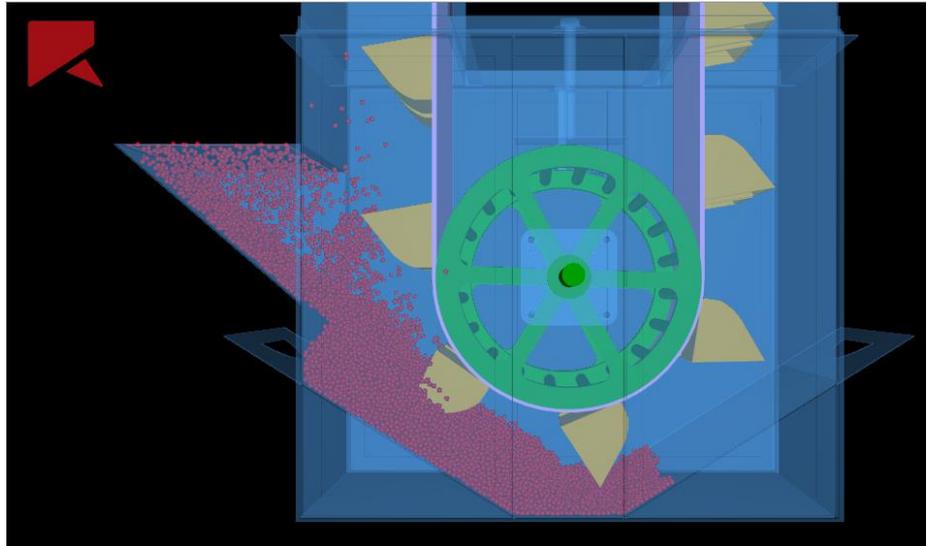


Figura 142. Carga por dragado con cangilón HD-MAX con Rocky DEM. Diseño propio.

En la figura 143 se muestra las diferentes velocidades de traslación de cada uno de los granos de trigo en el momento de su carga, y cuando caen por efectos de la gravedad hacia la bota y a la doble fila de cangilones, adoptando la fuerza de resorte por sus diferentes velocidades de interacción.

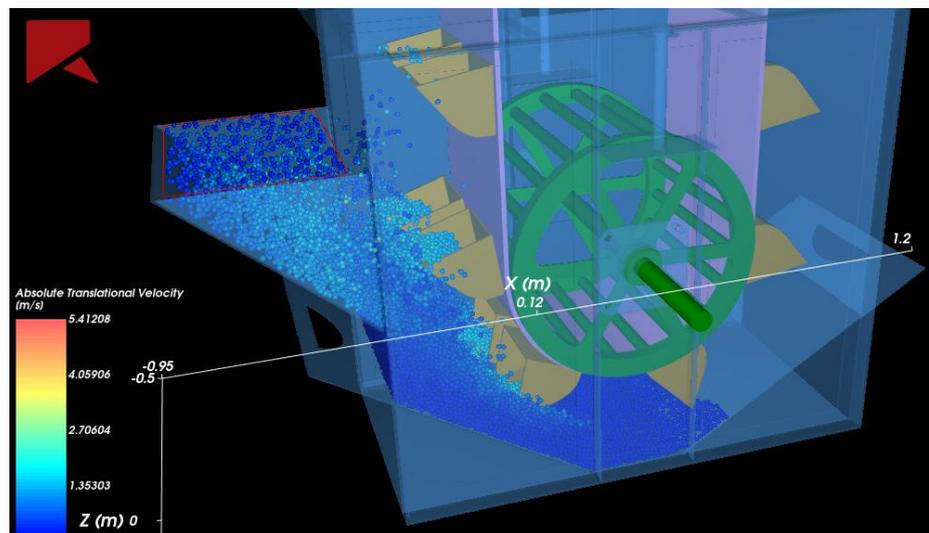


Figura 143. Velocidad de traslación de los granos de trigo con Rocky DEM. Diseño propio.

Ahora se muestra el diagrama de colores del tiempo de lanzamiento que demora los granos de trigo en tener contacto con el cangilón y en almacenarse en el fondo de la bota. Este tiempo de lanzamiento está relacionado con su estado de reposo y cuando interactúa con la fuerza del cangilón.

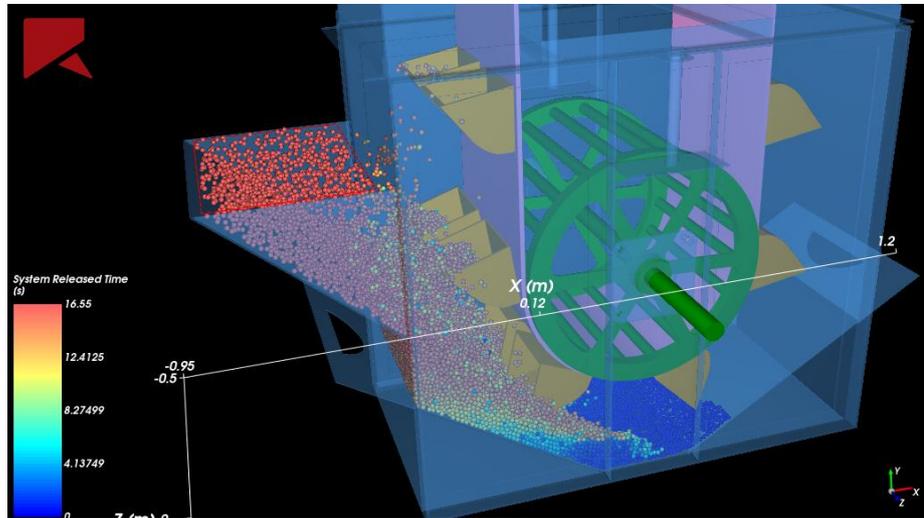


Figura 144. Sistema de tiempo de los granos de trigo con Rocky DEM. Diseño propio.

En la figura 145 se muestra el material serie 3 calculado con el software, tomando en cuenta su densidad aparente, su fricción dinámica y estática, así como su resistencia a la rodadura.

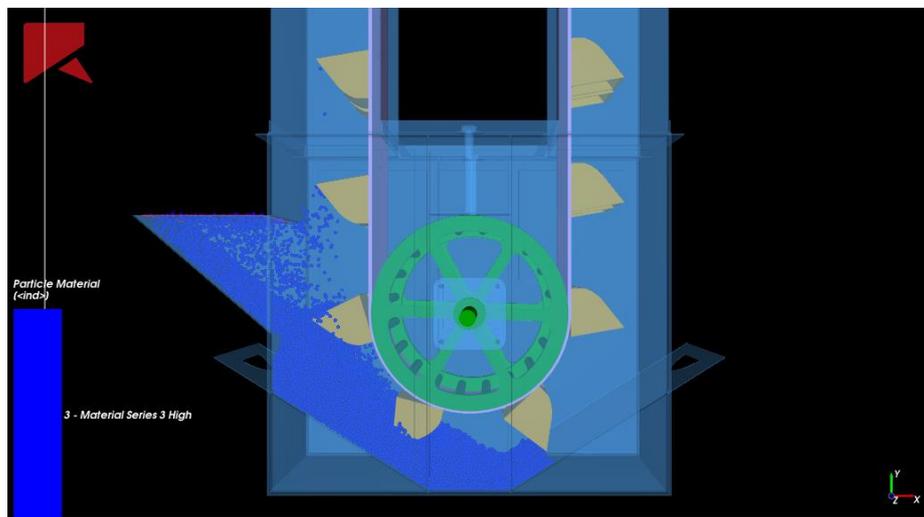


Figura 145. Material serie 3 con Rocky DEM. Diseño propio.

En la figura 146 se observa la doble fila de cangilones llenos hasta su nivel de agua, lo que nos permite comprobar que los cálculos teóricos son eficientes y que el elevador de cangilones trabaja con la capacidad requerida.

La velocidad necesaria para llegar desde el eje de la polea conducida hasta la polea motriz es de 6.25 m/s, dado que la velocidad es de 1.6 m/s y el sistema es horario.

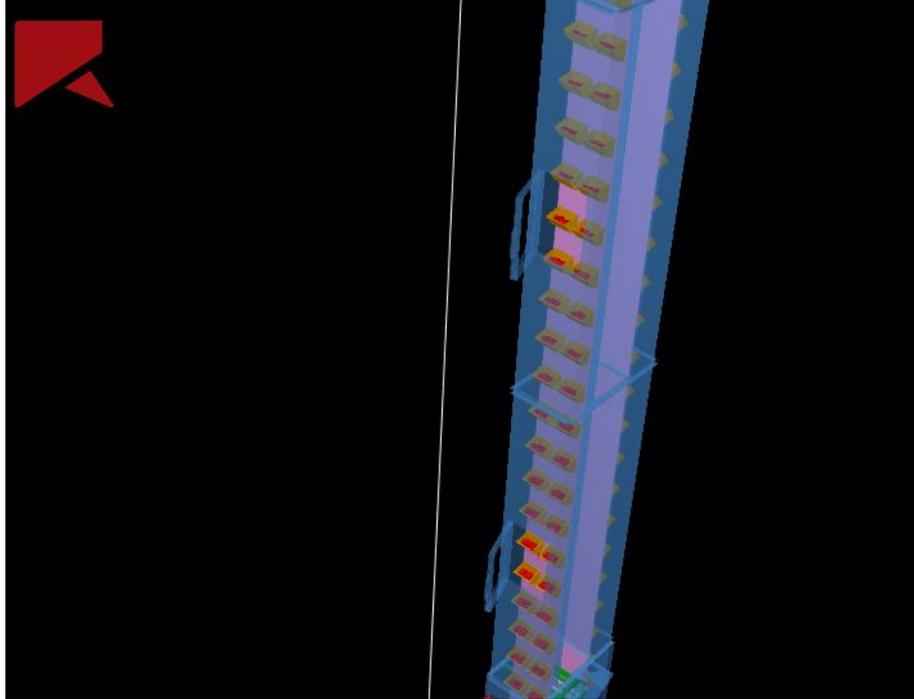


Figura 146. Doble fila de cangilones cargados con Rocky DEM. Diseño propio.

En la figura 147 se observa la descarga de grano de trigo mediante la fuerza centrífuga. La distancia entre cangilones es la adecuada, ya que no se observan descargas tardías ni tempranas, lo que indica una descarga limpia y un diseño óptimo y eficaz del elevador.

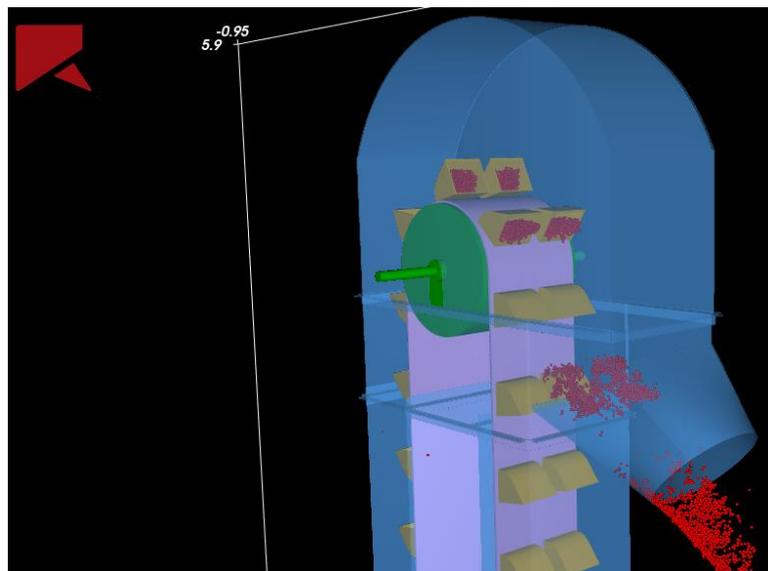


Figura 147. Descarga limpia del elevador de cangilones con Rocky DEM. Diseño propio.

A continuación, se muestran las distintas velocidades a las que se encuentran los granos de trigo justo en el momento de la descarga. Esto ocurre debido a la fuerza centrífuga aplicada. Se observa un diagrama de colores que representa las diferentes velocidades que adquiere el trigo en el momento de su salida.

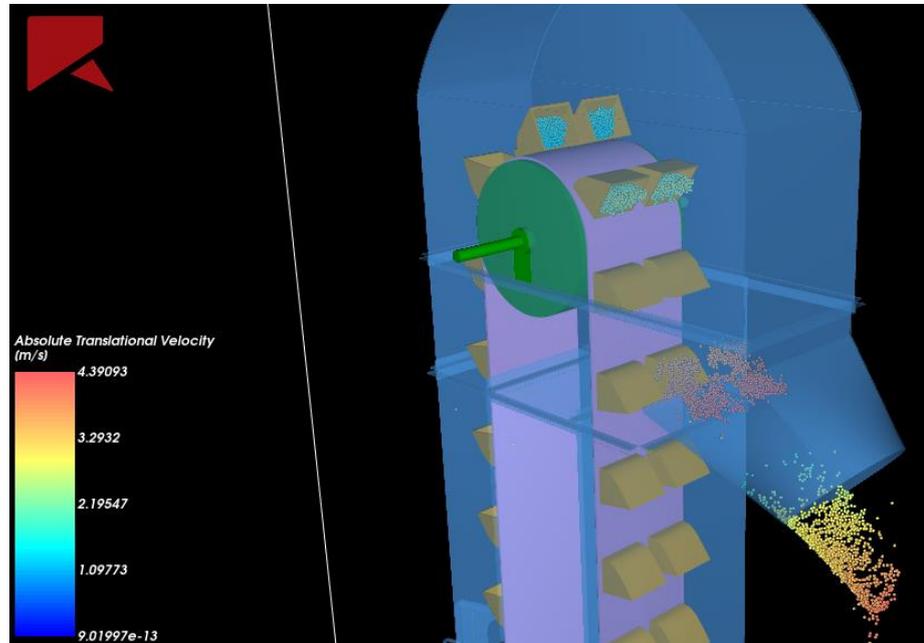


Figura 148. Velocidad de descarga del grano trigo con Rocky DEM. Diseño propio.

#### 4.1.7 Análisis del Lenguaje de Programación en Tiempo Carga, Transporte y Descarga de Trigo

La programación se realizará con ANSYS Workbench 18.2, el cual cuenta con el módulo ESSS - Rocky DEM que se utiliza para acoplar el método de elementos discretos y elementos finitos.

ANSYS Workbench crea módulos que pueden compartir elementos como geometría, variables, parámetros y resultados, por lo que será necesario definir las geometrías una sola vez.

Es muy importante, ya que el sistema de coordenadas será el mismo en ambos entornos de Rocky DEM, evitando así problemas de incompatibilidad en los nodos de la malla creada.

La figura 149 muestra las características del entorno de programación de Rocky DEM.

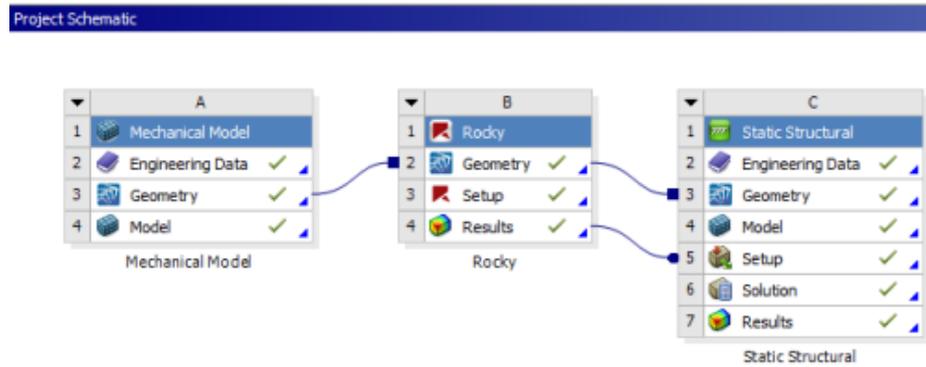


Figura 149. Entorno de programación y simulación con Rocky DEM. Diseño propio.

Para aplicar los pasos de la programación y simulación dentro del entorno Rocky DEM, es necesario establecer los aspectos físicos que rigen el fenómeno. Esto incluye la configuración de la gravedad y el parámetro de suavizado (Softening).

Parámetros Físicos del entorno de simulación Rocky-DEM	
Gravedad ( $m/s^2$ )	9.81 i
Softening	1

Figura 150. Definición de parámetros con Rocky DEM. Diseño propio.

Rocky-DEM es compatible con la extensión STL. Se procederá a importar el diseño del elevador desde Inventor. Es crucial definir correctamente las unidades de longitud al importar la geometría para garantizar un excelente desarrollo del software de simulación DEM.

El entorno para aplicar la importación de geometría se muestra en la Figura 151.

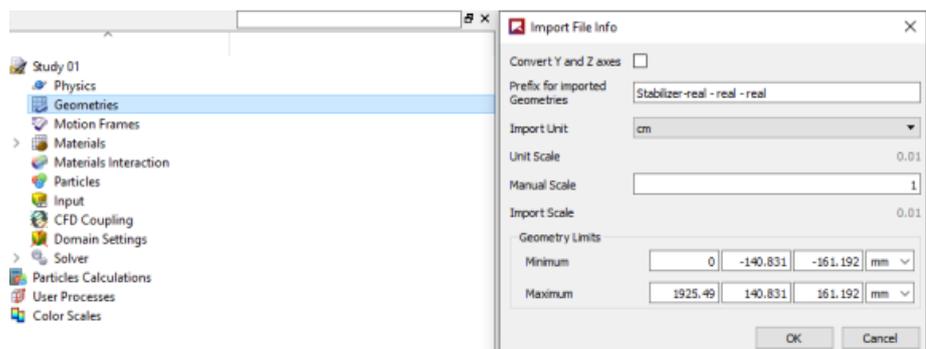


Figura 151. Importación de geometría con Rocky DEM. Diseño propio

La figura 152 muestra el interfaz de la importación del modelamiento final elevador de cangilones.

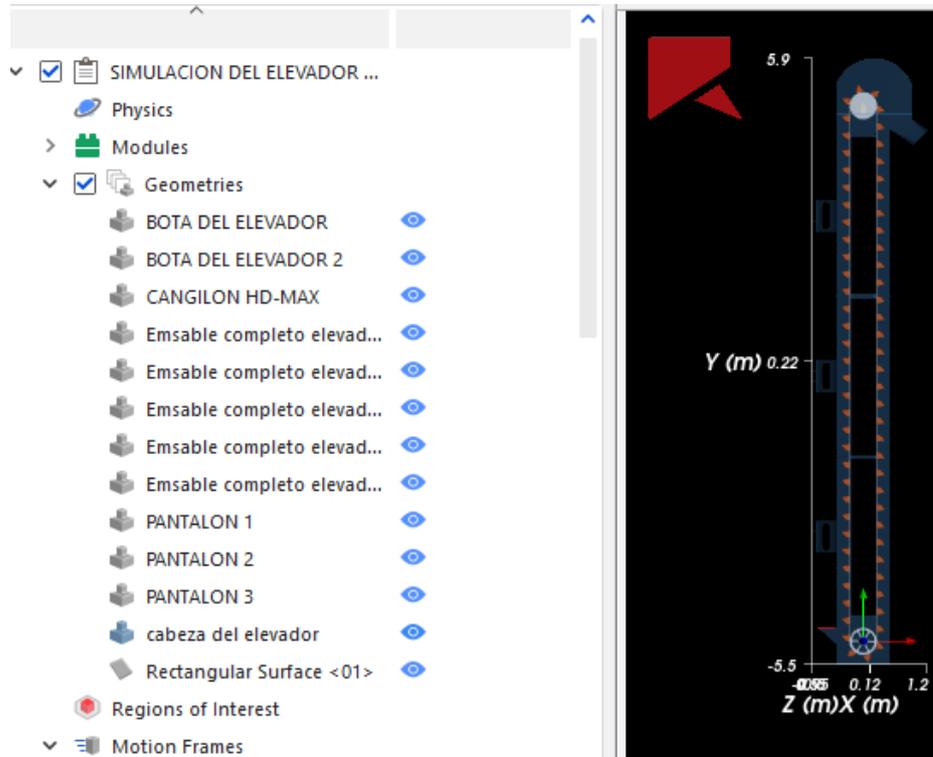


Figura 152. Geometría del elevador de cangilones con Rocky DEM. Diseño propio

En el transporte del trigo mediante los cangilones HD-Max, se destacan las siguientes características de funcionamiento:

En el diseño del elevador de cangilones, es importante destacar que la velocidad lineal de traslación de los cangilones es de 1.6 m/s y la velocidad angular del giro de la polea es de 0.625 m/s. Considerando que nuestro elevador tiene una altura de 10 metros, el tiempo total de desplazamiento es de 6.25 segundos. Con estos cálculos teóricos obtenidos, se realizó la programación del funcionamiento del elevador en el software Rocky DEM.

La figura 153 muestra el entorno del tiempo de traslación lineal.

- Velocidad lineal de traslación es 1.6 m/s
- Velocidad angular es de 0.625 m/s

El tiempo que toma al cangilón llegar a los 10 metros de altura, medido desde el eje de la polea conducida hasta la polea motriz en el ramal de subida, es de 6.25 segundos, con una velocidad de 0 a 6.25 m/s.

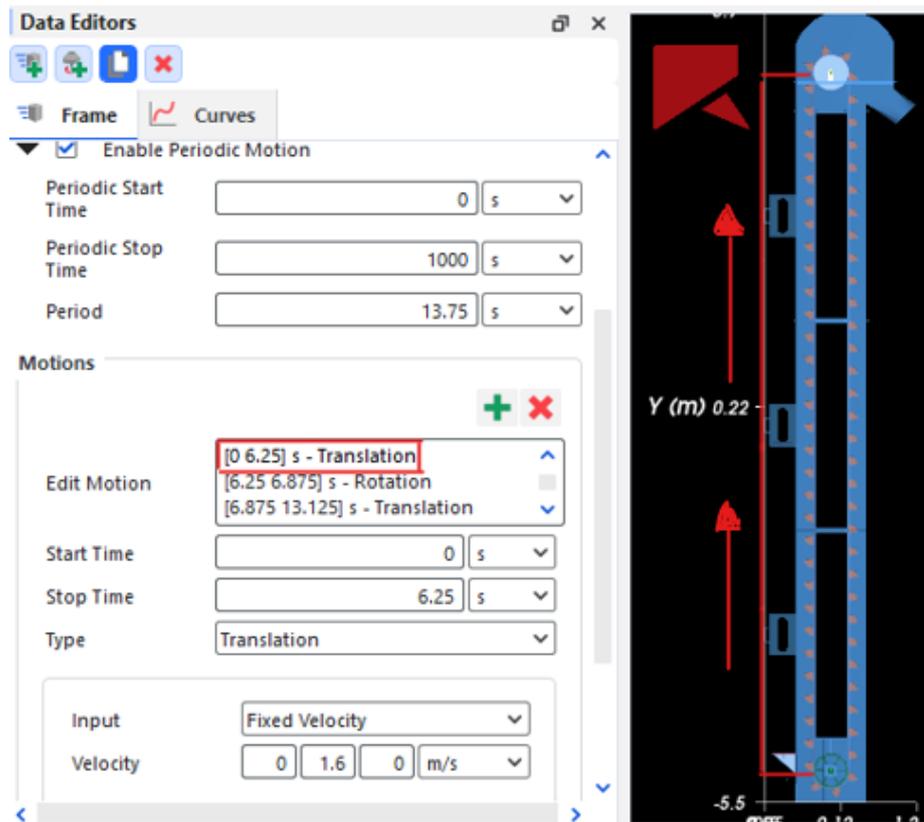


Figura 153. Movimiento de traslación de subida de cangilones cargados. Diseño propio.

Terminado el tiempo de carga y transporte, comienza la descarga del trigo. Considerando que el diámetro de la polea es de 500 mm y su velocidad angular es de 0.625 m/s, la velocidad de rotación de la polea para la descarga es de 6.25 m/s (velocidad de transporte) + 0.625 m/s (velocidad angular) = 6.875 m/s. En la figura 154 se observa la velocidad de rotación de la polea motriz.

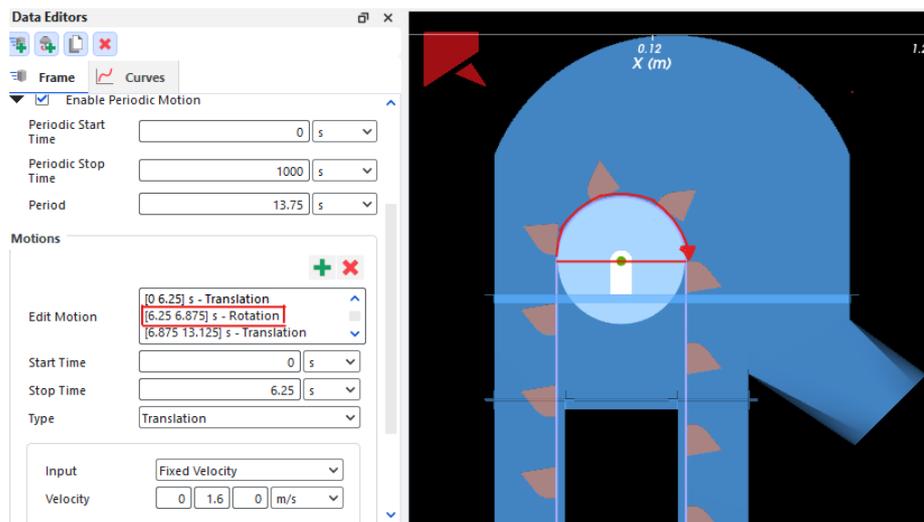


Figura 154. Movimiento de rotación del elevador de cangilones doble fila en su descarga. Diseño propio.

Terminada la descarga del trigo, empieza el inicio del ramal de bajada con los cangilones vacíos. Sabiendo que la velocidad de traslación lineal es de 6.25 m/s, nuestro recorrido total hasta el momento es de 6.875 m/s (velocidad de descarga) + 6.25 m/s (velocidad de traslación lineal) = 13.125 m/s.

En la figura 155 se observa el entorno de la velocidad de traslación con los cangilones vacíos.

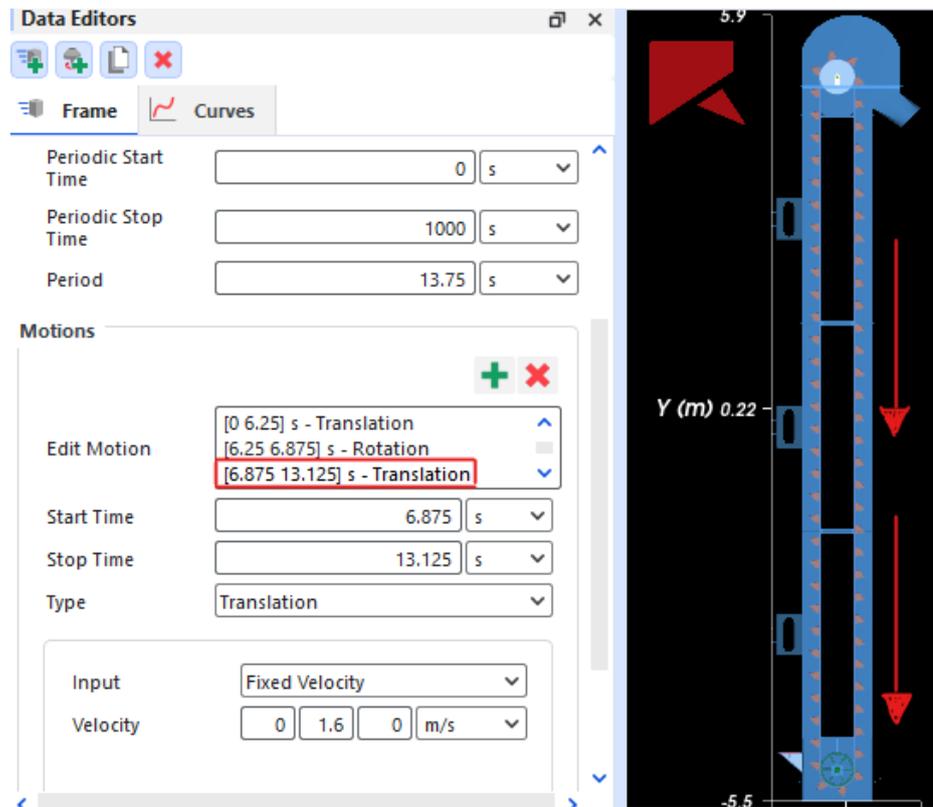


Figura 155. Movimiento de traslación de bajada de cangilones vacíos. Diseño propio.

Al culminar el ramal de bajada con los cangilones vacíos, tenemos un recorrido de 13.125 m/s (velocidad de transporte) + 0.625 m/s (velocidad angular) = 13.75 m/s, que es el período total de una vuelta completa de los cangilones. Esto demuestra que los cálculos teóricos, al ser introducidos en el software Rocky DEM, son correctos y adecuados para el diseño, asegurando un funcionamiento eficiente del elevador de cangilones.

La siguiente figura detalla el fin del ciclo de una vuelta del elevador de cangilones.

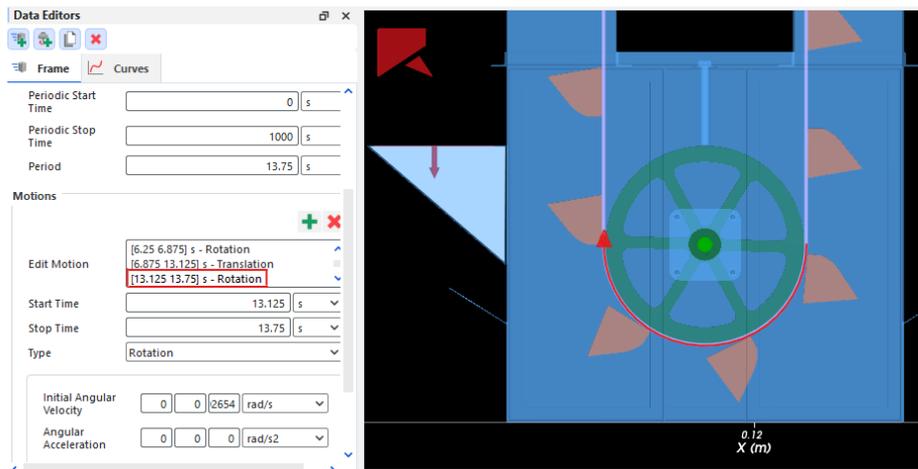


Figura 156. Periodo completo del elevador de cangilones doble fila. Diseño propio.

La eficiencia operativa en la carga, transporte y descarga de trigo desde el elevador de cangilones se verifica mediante diversos movimientos, como la traslación y rotación asignados en el "Motion Frame", una herramienta del software Rocky DEM. Esto permite comprobar la eficacia de los cálculos teóricos y del lenguaje de programación empleados.

#### 4.2 Discusión de Resultados

Molina (41). Argumenta que el diseño y la optimización de un estabilizador mediante el método DEM se define por tres tipos de movimientos de cuerpo libre: traslación, rotación y péndulo, con una velocidad angular de 60 rad/s para determinar su zona de desgaste crítico.

En nuestro "Motion Frame" del entorno Rocky DEM, realizamos 4 movimientos para conocer el recorrido de todos los cangilones desde la posición inicial en la polea conducida hasta llegar al mismo punto en el eje de la polea motriz. Estos movimientos son:

1. Traslación positiva con un tiempo de 6.15 segundos.
2. Rotación de la polea motriz con un tiempo de 0.625 segundos.
3. Traslación negativa con un tiempo de 6.15 segundos.
4. Rotación de la polea conducida con un tiempo de 0.625 segundos.

Aguirre (42). Señala que una mala perforación en los cangilones para su sujeción con la banda transportadora puede ocasionar problemas en el transporte o desequilibrio del cangilón. En nuestra tesis, se llevó a cabo una distribución adecuada de dos agujeros de 6 mm de diámetro. La simulación de la conexión entre el cangilón y la banda transportadora muestra claramente que no ocurre deformación del agujero durante la

carga lineal. Además, se observa una tensión mínima en el momento de la descarga, que no supera los 0.21 MPa.

Aguirre (42). Determina que, según cálculos teóricos sobre el desgaste del cangilón, la parte más afectada es la frontal. En nuestra tesis, mediante simulaciones por elementos finitos realizadas con el software Inventor durante la carga y descarga, se observa que la parte del cangilón que sufre el mayor desgaste es el labio superior de la sección frontal. Sin embargo, dicho desgaste es mínimo.

Alarcón (5). Encontró en sus resultados que, en el diseño y simulación del cangilón mediante un sistema polipasto con una capacidad de  $0.5 \text{ m}^3$ , el factor de seguridad más crítico fue de 13.98 en la viga principal, la cual es un perfil HEB. Este resultado se obtuvo mediante el estudio de los esfuerzos máximos utilizando el método LRFD. Sin embargo, en la presente tesis, al realizar los cálculos y simulaciones, se determinó que el factor de seguridad es de 1.7. Esto se debe a que nuestro eje es de acero laminado en frío, y su límite elástico supera al de los perfiles como el A36. Se utilizó el método nodal para obtener resultados más precisos y se comprobó que el eje de acero 1045 sí funciona correctamente, ya que las cargas no superan su momento de inercia.

Piñeiro (43) discute sobre el diseño de una banda transportadora y la simulación del transporte de granos de trigo. En su investigación, utilizó el ensayo del ángulo de reposo del trigo para calibrar el coeficiente de fricción estático de las partículas, con lo que logró un error del 0.3% con respecto al ángulo de reposo. En nuestra tesis, llevamos a cabo un ensayo similar utilizando Rocky DEM, aplicando datos como la densidad a granel no compactada ( $785 \text{ kg/m}^3$ ) y un ángulo de reposo de  $40^\circ$ . Utilizamos estos datos para obtener un coeficiente de fricción más preciso de las partículas de trigo en su interacción, modelando su comportamiento como una Histeresis de resorte lineal.

Con base en estos resultados, se concluye que el diseño del elevador de cangilones, con una capacidad de 15 toneladas por hora y una altura de 10 metros, es óptimo y viable para su funcionamiento. Esta conclusión se fundamenta en los cálculos teóricos realizados y su validación mediante el software Inventor y Rocky DEM.

### **4.3 Aportes y Aplicaciones**

El trabajo actual sirve como una guía de diseño que potencia la creatividad de diseñador, fomentando el uso de la metodología de diseño aplicada al desarrollo de la solución, norma alemana de diseño VDI 2221, que está acorde con la realidad y desarrollo de la economía y tecnología de nuestro país, Perú. Cabe señalar que este método está dirigido a ingenieros con moderada experiencia en diseño mecánico.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

En esta tesis se escriben las conclusiones que representan los hallazgos y resultados alcanzados, llegando a la conclusión de que sí se ha logrado cumplir con el objetivo general.

1. El trabajo de tesis se enfocó en el diseño de un elevador de cangilones para el transporte de trigo con una capacidad de 15,000 kg por hora. En la fase final de la investigación, se compararon los resultados obtenidos mediante el uso de los softwares Inventor Professional y el módulo Rocky DEM. Mientras que el primero se centró en analizar la estructura utilizada, el segundo evaluó el comportamiento del trigo como un fluido dentro del elevador vertical, desde su entrada hasta la molienda. Estos análisis permitieron diseñar y seleccionar los componentes y la estructura óptima, cumpliendo así con el objetivo general del trabajo de investigación. Para ello, se aplicó una metodología de diseño práctica y versátil, siguiendo las pautas establecidas en la norma alemana VDI 2221 para el diseño en ingeniería mecánica. Se tuvieron en cuenta las necesidades, requisitos y preferencias de la empresa ALICORP Molino Arequipa. Todo esto se realizó con el propósito de validar la hipótesis general: "Diseño de un transportador de cangilones para acarreo de trigo con capacidad de 15 toneladas por hora en ALICORP Arequipa, y simular el sistema de elevación utilizando el software Rocky DEM".
2. Conclusiones relacionadas a los objetivos.
  - a) La presente tesis logra alcanzar el objetivo general de diseñar un elevador de cangilones con una capacidad de 15 toneladas por hora y una altura de elevación de 10 metros, destinado al transporte de trigo para satisfacer las necesidades del mercado. A través de una exhaustiva investigación, se seleccionaron y diseñaron los elementos requeridos para la construcción del elevador de cangilones.
  - b) En cuanto al desarrollo eficiente de los procesos de almacenaje, manipulación y aprovisionamiento de granos de trigo en el recinto industrial, ALICORP Molino Arequipa.

Se describe lo siguiente:

- La capacidad de la tolva de recepción se justifica para recibir 15 toneladas por hora de trigo, teniendo en cuenta la densidad del trigo, que varía entre 750 y 840 Kg/m<sup>3</sup>. Se basó en las recomendaciones de Bentall Rowlands, un

proveedor de sistemas de almacenamiento de granos, que considera un tonelaje basado en trigo utilizando una densidad promedio de 785 Kg/m<sup>3</sup>.

- El camión destinado al transporte y almacenamiento tiene una capacidad de carga de 30 toneladas de trigo y un volumen propio de 37.735 m<sup>3</sup>. La recepción completa de la carga se llevará a cabo en un lapso de dos horas.
- Con dos turnos de trabajo de 8 horas cada uno, la demanda diaria de trigo para la empresa sería de 120 toneladas métricas. Para cubrir este requerimiento de carga diaria, se necesitarán 4 camiones en total.
- El volumen necesario para almacenar un día de trabajo es de 150.94 m<sup>3</sup>.
- Para garantizar que el ángulo de inclinación de descarga en la parte inferior de la tolva sea mayor que el ángulo de talud de descarga del material (en este caso, 30°), se ha adoptado un ángulo  $\alpha = 35^\circ$  para el lateral de menor inclinación de la tolva. De esta manera, se asegura que ambos ángulos sean mayores que 30°.
- La altura de la parte superior de la tolva será de 1.83 metros.
- Las dimensiones para la tolva de descarga se describen en la Tabla 23.

c) La selección de los componentes del elevador de cangilones para el correcto funcionamiento del sistema de elevación para la molienda de trigo.

La descripción es la siguiente:

- Se seleccionó el cangilón HD-Max 6×5 para uso de alimentos.
- El elevador vertical con 172 cangilones con dos filas simétricas en el sistema de elevación.
- La capacidad del cangilón HD-MAX 6×5” de 67.20 pulg<sup>3</sup> o 0.1524m x 0.127 m de 0.0011 m<sup>3</sup> nivel de agua.
- Las características de la banda de transmisión: velocidad de la banda 1.6 m/s, ancho de banda estándar 16” o 0.406 m y con tipo de banda E90 CC ESPOT.
- Las tensiones de la banda, T1máx. = 26740 N/m y T2mín. = 10420 N/m.
- La potencia de diseño y selección de motor eléctrico, 15000 W (20 HP), motores trifásicos de 4 polos y 1500 rpm., tipo cerrado W21 de alta eficiencia WEG 2022.
- Motor reductor PARAMAX 9000 de cuatro polos, 15000 W, y tamaño de reductor 9015.
- Se usará rodamientos y soportes SKF.

d) Se utilizó los distintos conceptos de diseño y selección de soportes o punto de apoyo para el desplazamiento y movimiento de un elevador de cangilones.

- Se utilizó catálogos de fabricante del rubro para encontrar una solución factible de la problemática del diseño y selección de componentes y accesorios para sistemas de elevación vertical. “Guía de Productos Agrícolas e Industriales Condensado” MAXI-LIFT INC.
  - El método de soporte y punto de desplazamiento se basará en el eje motriz, el cual proporcionará rigidez y se fabricará con acero SAE 1045 laminado en frío. Este tipo de acero se elige específicamente para aplicaciones rotatorias de alta velocidad, como ejes de transmisión, debido a sus propiedades mecánicas de resistencia y tenacidad.
- e) En el aspecto programático, se utilizó el software ANSYS 18.2, específicamente su módulo ESS Rocky DEM, para llevar a cabo la simulación y diseño del elevador de cangilones. Este entorno de trabajo ofrece herramientas avanzadas para el análisis de elementos finitos y la simulación de sistemas de transporte de materiales a granel.

Mediante el uso de estos programas, se logró alcanzar una solución óptima y concreta para el diseño del elevador de cangilones con una capacidad de 15 toneladas por hora. Se realizaron análisis detallados de las piezas mecánicas que intervienen en el funcionamiento del elevador, permitiendo así optimizar su diseño y garantizar su eficacia en el transporte de materiales a granel.

### 3. Conclusiones no relacionadas a los objetivos.

- a) El análisis económico reveló que el proyecto es factible y denota los siguientes parámetros favorables.
- Se obtuvo el VAN positivo, con un valor de \$8514.93.
  - La TIR es mayor que la  $T_{MAR}$ , como indica la siguiente relación:
  - $TIR = 60\% > T_{MAR} = 18.45\%$
  - La relación Beneficio-Costo (B/C) tiene un valor de 1.31.
  - El periodo de retorno de inversión de capital es de 1 año, 5 meses y 16 días.
  - Después de todo los indicadores anteriores, por supuesto, indican que el proyecto a llevar a cabo es factible y prometedor.
- b) Los equipos de proceso BUHLER garantizan la calidad del producto requerida, en general al utilizar el equipo de limpieza de Bühler puede reducir las pérdidas de grano durante procesamiento y almacenamiento.

## RECOMENDACIONES

1. La utilización de elevadores móviles de cangilones para granos de trigo aumenta la capacidad de embarque de los granos realizados con camiones y otros medios de transporte.
2. El área o superficie horizontal donde el elevador móvil de cangilones funciona debe estar bien nivelada para evitar posibles atascamientos y vibraciones perturbables al sistema de elevación.
3. Se recomienda crear un programa de mantenimiento a las instalaciones de almacenaje y transporte tanto horizontal y vertical, en un periodo de 4 meses, para de esta manera lograr un mayor rendimiento en los procesos prescritos en la presente investigación.
4. Los beneficios proporcionados por el elevador de cangilones para granos de trigo, contribuyen a mejorar el rendimiento de las actividades de molienda en la empresa.
5. Para llevar a cabo un proyecto mediante la metodología DEM, se debe considerar primordialmente la parte experimental, en este caso la caracterización del material en un laboratorio. No se puede realizar la metodología DEM aplicada a flujos granulares solo con un software de simulación, es necesario complementarlo con la parte experimental.
6. Asimismo, se sugiere incluir en los programas de estudio en la carrera de ingeniería mecánica temas o cursos relacionados de la metodología mediante DEM.
7. las universidades y el sector privado implementen un centro de investigación y colaboren en conjunto, para promover el uso de estas metodologías de esta envergadura.
8. La simulación mediante la metodología de elementos discretos es muy recomendable para problemas de ingeniería donde existe la interacción entre partículas es en cada instante de tiempo. La metodología DEM es recomendada en los campos de la gran minera como proyectos industriales.

## LISTA DE REFERENCIAS

- 1) **INFORME OPERATIVO MENSUAL**. Manual de aprendizaje preparado para ALICORP S.A.A. Arequipa, Perú: ALICORP S.A.A., junio de 2017.
- 2) **MAXI LIFT INC**. Catálogo de cangilones elevadores y tornillos. Cangilón Dura Buket para uso agrícola industrial. [en línea]. Dallas, Texas: MAXI LIFT INC., 2021[consulta: 10 de diciembre del 2023]. Disponible en: [https://maxilift.com/es/maxilift\\_information](https://maxilift.com/es/maxilift_information).
- 3) **SANTANA, S**. Análisis Estructural de un Elevador de Cangilones sometidos a fuerzas de vientos huracanados con Ángulo de incidencia variable. Revista [En línea]. Cuba, Centro Azúcar, 2019. [Consulta: 07 de diciembre del 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337011468\\_ANALISIS\\_ESTRUCTURAL\\_DE\\_UN\\_ELEVADOR\\_DE\\_CANGILONES\\_SOMETIDO\\_A\\_FUERZAS\\_DE\\_VIENTOS\\_HURACANADOS\\_CON\\_ANGULO\\_DE\\_INCIDENCIA\\_VARIABLE\\_BUCKETS\\_ELEVATOR\\_SUBJECTED\\_TO\\_HURRICANE\\_WINDS\\_FORCES\\_WITH\\_VARIABLE\\_INCIDEN](https://www.researchgate.net/publication/337011468_ANALISIS_ESTRUCTURAL_DE_UN_ELEVADOR_DE_CANGILONES_SOMETIDO_A_FUERZAS_DE_VIENTOS_HURACANADOS_CON_ANGULO_DE_INCIDENCIA_VARIABLE_BUCKETS_ELEVATOR_SUBJECTED_TO_HURRICANE_WINDS_FORCES_WITH_VARIABLE_INCIDEN).
- 4) **ORTIZ, C**. Optimización de un Elevador de Cangilones. [Tesis de master]. España, Universidad de Lérida,2020. [Consulta: 15 diciembre del 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10459.1/69777>.
- 5) **ALARCON, G**. Diseño y simulación de elevación de cangilón para áridos con capacidad de 0.5m<sup>3</sup>, por medio del mecanismo polipasto. Tesis. [Tesis en Ingeniería Mecánica]. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. [Consulta: 15 enero del 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/208898915-Universidad-politecnica-salesiana-sede-quito.html>.
- 6) **ZEA, A**. Propuesta de un sistema de transporte helicoidal para uva tipo mocil con una capacidad de 1 Tonelada/hora. [Tesis en Ingeniería Mecánica]. Arequipa, Universidad nacional de San Agustín,2019. [Consulta: 22 diciembre del 2022]. Disponible en: <http://www.academia.edu/34236208>.
- 7) **YAMUNAKE, F**. Algoritmo de diseño para un transportador de cangilones por métodos computacionales. [Tesis en ingeniería mecánica]. Trujillo, Universidad Nacional de Trujillo,2021. [Fecha de consulta: 28 diciembre del 2021]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16596>.
- 8) **JUAREZ, G**. Diseño de sistema para transporte de carga de 3 toneladas en planta de alimentos Gloria S.A y análisis de resultados por elementos finitos. [Tesis en ingeniería mecánica]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2021. [Fecha de consulta: 20 mayo del 2022] Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/89021cb6-2945-4529-8f43-643e1f35ab1f>.

- 9) **VASQUEZ, M.** El metodo de los elementos finitos aplicado al analisis estructural. Madrid, España 2001.[Fecha de consulta:08 de enero del 2022]. Disponible en <http://www.academia.edu/38827344>.
  
- 10) **TASAYCO, V.** Estudio de manejo de materiales granulares en la industria minera mediante el método de elementos discretos. [Tesis de Magister]. Perú: Universidad Católica Del Peru,2019. [Fecha de consulta:14 de octubre del 2022]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15429> .
- 11) **BRUCE , A.** El método sistemático para diseñadores. Inglaterra : Design, 1964.
- 12) **ITURRALDE, C.** Estudio de Elevadores de cangilones para el manipuleo de productos agrícolas. [Tesis en Ingeniería mecánica].Ecuador: Facultad de ingeniería Mecánica, Escuela superior Politécnica del Litoral de Guayaquil,1987. [En línea]. Disponible en : <https://www.yumpu.com/es/document/read/14351975>.
- 13) **BEGAMAQUINARIA.** Partes y componentes de Elevadores de Cangilones. México, Durango,2022. Disponible en <https://www.begamaquinaria.com>.
- 14) **MIRAVETE, A.** Los transportes en la ingeniería industrial. Área Ingeniería Infraestructura de los transportes. Universidad de Zaragoza, EDITORIAL Reverte 1998. ISBN 84-921349-5-X. Disponible en <http://www.reverte.com>.
- 15) **BUHLER.** El trigo, Producción de cereales y variedades de trigo. Suiza. Disponible en <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/es/media-downloads.html> .
- 16) **COAGUILA, V.** Control de calidad en la elaboración de productos derivados Alicorp S.A.A. [Tesis en Ingeniería Química]. Perú: Universidad Nacional de San Agustín,2018. [Fecha de consulta:19 de octubre del 2022]. Disponible en : <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7571>.
- 17) **TAPCO INC.** Cangilones para Elevadores, datos de densidades de trigo como material a granel USA 2006. Disponible en : <https://www.tapcoinc.com> .
- 18) **SIEMENS.** Motores Trifásicos serie 1LE0141 - IE2 Siemens. Tomada de “Características Generales de los Motores Eléctricos” (p. 9), por “SIEMENS ingenuity for life”, 2019. Disponible en : <https://assets.new.siemens.com>.
- 19) **BLESOLA S.A.C.** Planchas resistentes a la abrasión (AR400-AR450-AR500) – T21. Tomado de ficha técnica categoría: planchas, por BLESOLA Import Export S.A.C. Disponible en <https://blesola.com>.
- 20) **RENOLD.** Diagrama de “Acople Gearflex serie A de engranaje doble tipo DA”. Tomada de “Acoplamientos Gearflex” (p. 9), por RENOLD, 2012. Disponible en [www.renold.com](http://www.renold.com).
- 21) **GRAPHALLOY.** Soportes de pie partido. Tomada de plumber Bloks. Disponible en: Graphalloy - The Solution for Tough Bearing Problems.

- 22) **SKF**. Diagrama de Carga dinámica equivalente del rodamiento. Tomada de “Rodamientos SKF” (p. 92), 2019. Disponible en <https://www.skf.com>.
- 23) **GLOBAL INDUSTRIES INC**. Almacenamiento de granos, manipulación y acondicionamiento de los agricultores y clientes comerciales en los EE.UU. y alrededor del mundo. Tomado de “Elevador de cangilones.” (p. 17), 2016. Disponible en <https://millingandgrain.co/entrada/elear-y-transportar-382/>.
- 24) **MARTIN**. Elevador Descarga Centrifuga de Banda. Tomada de “Martin Elevadores de Cangilones”, p. 4, 2017. Disponible en [www.martinsprocket.com](http://www.martinsprocket.com).
- 25) **SYNTRON**. Elevator Bucket type 1. Tomada de “Material handling”, p.9, 2019. Disponible en [www.syntronmh.com](http://www.syntronmh.com).
- 26) **SCAFCO**. Elevadores de cangilones y transportadores. (p.7), 2022. Disponible en [www.SCAFCO.com/grain](http://www.SCAFCO.com/grain).
- 27) **TUHE LIFT**. Elevador de Carga Vertical hidráulico “PKL LIFT”. Tomado de “Tuhe lift”. Disponible [https://www.tuhelift.com/es/Elevador-de-carga-vertical-hidrulico\\_461.html](https://www.tuhelift.com/es/Elevador-de-carga-vertical-hidrulico_461.html).
- 28) **MAQCEN**. Elevador de Tijera Motorizado de JLG para aplicaciones que requieren grandes espacios de trabajo. Disponible en <https://maqcen.com>.
- 29) **BENTALL, R**. Contenedor cilíndrico y tolva cónica. Tomado de “Sistemas de almacenamiento de granos” (p. 22), 2022. Disponible en [www.bentallrowlands.com](http://www.bentallrowlands.com).
- 30) **CEMA**. Características de los materiales. Tomado de CEMA - Belt Conveyors for Bulk Materials 5th edition, (p. 30), 1997, por Engineering Conference of the Conveyor Equipment Manufacturers Association. Disponible en <http://fliphtml5.com/ucie/wbqd>.
- 31) **JORVEX**. Empalme vulcanizado ,Fajas Transportadoras (p. 8). Disponible en [www.jorvex.com](http://www.jorvex.com).
- 32) **ESBELT**. Tabla de bandas de transmisión del tipo ESPOT. Tomado de “Bandas transportadoras y proceso” (p. 7), por “ESBELT, bandas para transportadores”, 2022-23. Disponible en [www.esbelt.com](http://www.esbelt.com).
- 33) **GRUPO WEG**. Tabla de motores trifásicos de 4 polos y 1500 rpm. Tomado de “Motores Trifásicos Cerrados - W21 Alta Eficiencia” (p. 12), por “Grupo WEG”, 2022. Disponible en [www.weg.net](http://www.weg.net).
- 34) **PARAMAX**. Selección del motorreductor con características diseño establecidos. Tomado de “PARAMAX Serie 9000, Reductores y Unidades de Accionamiento” (p. B-74), por “Sumimoto Drive Technologies”, 2022. Disponible en <https://emeia.sumitomodrive.com/es/producto/paramax-9000-serie-motor-reductor>.
- 35) **ALVA, F**. Tabla de rodamiento rígido de bolas. Tomado de “Diseño de elementos de máquinas II” (p. 151), por Ing. Fortunato Alva Dávila, 2002. Disponible en <https://www.academia.edu/34913043/Engranajes>.

- 36) **ALMERCOS, LM.** Metodología de la Investigación Tecnológica. Universidad Nacional del centro del Perú. 2012. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1146>.
- 37) **LINCOLN.** Los enfoques cuantitativo cualitativo y mixto. Universidad Surcolombiana. 2011, México. Disponible en <https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>.
- 38) **GARCIA.** La investigación de la tecnológica. Universidad Nacional Del Callao. 2012, Perú. Disponible en <https://es.slideshare.net/slideshow/la-investigacion-tecnologica-50426982/50426982>.
- 39) **BARRIGA, B.** Métodos de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería, Sección de Ingeniería Mecánica, Lima, agosto, 2013. Disponible en <https://www.studocu.com/pe/document/pontificia-universidad-catolica-del-peru/proyecto-de-ingenieria-mecanica-1/capitulo-0-27-08-2013-bb/7834734>.
- 40) **CROSS, N.** Métodos de diseño. México: Limosa. Tercera edición. 2003. Disponible en [https://www.academia.edu/33266990/Cross2002Metodos\\_M%C3%A9todos\\_de\\_Dise%C3%B1o\\_Estrategias\\_para\\_el\\_Dise%C3%B1o\\_de\\_Productos](https://www.academia.edu/33266990/Cross2002Metodos_M%C3%A9todos_de_Dise%C3%B1o_Estrategias_para_el_Dise%C3%B1o_de_Productos).
- 41) **MOLINA, L.** Diseño y optimización del modelo geométrico para estabilizadores de perforación por medio de análisis DEM. [Tesis en Ingeniería mecánica].Perú: Facultad de ingeniería Mecánica, Universidad de ingeniería y tecnología- Lima, 2020. Disponible en [https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/170/1/Molina%20Vilchez\\_Tesis](https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/170/1/Molina%20Vilchez_Tesis).
- 42) **AGUIRRE, J.** Diseño de un elevador de cangilones para un sistema de recirculación de arena de moldeo con capacidad de 50 ton/día. Ecuador.2012. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24529>.
- 43) **PIÑEIRO, J.** Simulación de una cinta transportadora de partículas utilizando el método de elementos discretos. [Tesis en Ingeniería mecánica].Santiago de Chile. Facultad de ingeniería Mecánica, Universidad de Chile. 2019. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171056>.
- 44) **GOMEZ, D.** Anexo III – VDI 2225. Master en Ingeniería Mecánica. Universidad de Oviedo.[https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48097/tfmdavidgomezan\\_exoiiiiruo.pdf;jsessionid=A439680BD7619F114829A80E3E5F0E35?sequence=7](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/48097/tfmdavidgomezan_exoiiiiruo.pdf;jsessionid=A439680BD7619F114829A80E3E5F0E35?sequence=7).
- 45) **CASTILLO, J.** La investigación e innovación en diseño: enfoque un proceso ascendente. Colombia. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Disponible en <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/4217>.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Acero al carbono 1045 laminado en frío

H



AISI : 1045      W N°: 1.1191  
DIN : CK 45

Tipo de aleación promedio : C 0,45 Si 0,3 Mn 0,7 %  
Color de identificación : Rojo - Blanco - Rojo  
Estado de suministro : Dureza natural 193 HB máx.

**ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD**  
**Gran pureza de fabricación y estricto control de calidad.**

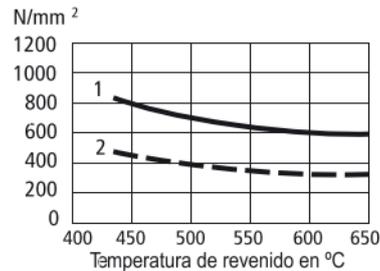
**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

**Forjar:** 1100 - 850 °C  
**Normalizar:** 840 - 870 °C  
**Recocer:** 650 - 700 °C  
Enfriamiento lento en el horno  
**Temple: al agua (\*)** 820 - 850 °C  
**Dimensiones menores:** al aceite 830 - 860 °C  
**Revenido:** Según el uso 100 - 300 °C  
**Nitrurado:** en baño de sal 580 °C

**SOLDADURA:** Con soldadura especial de alta resistencia.  
Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda un precalentamiento entre 200-300°C. Electrodo BÖHLER UTP 76/ UTP 6020

28



1.- Resistencia a la tracción  
2.- Límite de Fluencia

Estado	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
	Diámetro mm.	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (Lo = 5d) mín. %	Contracción mín. %
Natural	-	370	650	15	35
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	-

(\*) Soldadura y Tratamiento Térmico: Consultar con Departamento Técnico.

www.voestalpine.com/highperformancemetals/peru  
www.bohlerperu.com

voestalpine  
ONE STEP AHEAD.

Nota: tomada de Aceros Bohler del Perú.

## ANEXO 2

### Resistencia mínima a la tensión y a la fluencia

#### HOJA TÉCNICA



AISI 1045



<b>Equivalencia:</b>	ASTM A 29/A29M - 16: 1045	DIN 1.1191	JIS S45C / S48C			
<b>Composición Química:</b>	%C	%Mn	%P	%S	----	----
	0.43 - 0.50	0.60 - 0.90	0.040 máx.	0.050 máx.	----	----
<b>Condición de Suministro:</b>	Recocido con una dureza estimada (SAE J414a) 179 HBN (~ 89 HRB) como Estirado en frío.					
<b>Propiedades mecánicas (aprox. a temperatura ambiente):</b>	Resistencia a la tensión MPa (Lb/in <sup>2</sup> )	Límite elástico MPa (Lb/in <sup>2</sup> )	% Elongación en 2.0"	Reducción de área %		
	630 (91,000)	530 (77,000)	12	35		

• Los valores señalados son estimados mínimos y en acabado de estirado en frío, no son mandatorios, y deben tomarse solo como referencia en las características generales de estos aceros (SAE J414a).

• Valores especiales deben ser consultados y acordados con el fabricante.

#### CARACTERÍSTICAS

- Acero de medio carbono con muy buena forjabilidad en caliente.
- Buena soldabilidad, pero deben de tomarse precauciones para evitar la fractura alrededor de la zona soldada.
- Responde fácilmente a endurecimiento por temple y revenido convencional, sea total o superficial (inducción o flama).
- Su maquinabilidad es regular de acuerdo a SAE J414a, corresponde a 55 % con respecto al acero 1212 AISI (100 % como referencia).
- Como acabado de laminado en caliente, sus propiedades mecánicas y dureza, están por debajo de las anteriormente señaladas.
- Como acabado de laminado en caliente, puede presentar defectos inherentes de laminación (proceso de conformado en caliente), tales como, grietas, traslapes, descarburización, ovalamiento, picaduras, oxidación, etc.; mismas que de no eliminarse, pueden afectar el uso final del producto.
- Como acabado de estirado en frío (directo de la laminación en caliente), puede presentar los mismos defectos que como laminado en caliente, salvo en una menor profundidad; referirse a la norma ASTM A108-13.
- Como pelado y enderezado, los defectos inherentes al proceso de laminación en caliente, pueden haberse eliminado, sin que esto sea una garantía, a menos que, de esta manera haya sido expresado y acordado.
- El proceso de estirado en frío, confiere un nivel de endurecimiento superficial, además de mejorar ligeramente su maquinabilidad.
- Como acabado de maquinado burdo o rectificado (flechas para bomba de pozo profundo), se encuentra libre de defectos superficiales.

#### APLICACIONES

- Sus principales aplicaciones están destinadas a la elaboración de partes de transmisión y aplicaciones mecánicas como flechas, pernos, impulsores, rotulas, tornillería, flechas para pozo profundo, entre otros.
- Con amplias aplicaciones en la manufactura de partes y componentes para maquinaria, sector automotriz y agroindustrial.
- Al ser empleado como anclaje de sujeción en la industria de la construcción u horquilla de sujeción en la industria de autobuses, debe tomarse en consideración que el proceso de doblado en frío se haga de forma lenta, uniforme y en un solo evento, colocando como mandril guía de doblado una barra que tenga al menos dos veces el diámetro de la barra a ser doblada, de lo contrario, se corre el riesgo de generar fisuras o fracturas en la parte exterior del doblez.
- Puede sustituir al acero 1018 AISI, siempre y cuando, no sea sometido a procesos de soldadura, y de hacerlo, deben tomarse en consideración las recomendaciones de esta práctica.
- Puede sustituir a un acero grado maquinaria (baja aleación) del tipo 4140 o 4340, siempre y cuando, no existan exigencias mecánicas elevadas.

especiales@serviacero.com  
www.serviacero.com/especiales

León: Tel. (477) 800 27 00  
Tel. (33) 3811 42 48  
Guadalajara: Tel. (444) 821 17 00  
San Luis Potosí:

Querétaro: Tel. (442) 210 22 90  
Monterrey: Tel. (81) 4738 54 00  
México: Tel. (55) 6379 05 11

1 de 2

*Nota:* Tomada de serviacero.

## ANEXO 3

### Rodamiento 6208-2z



**SKF®**

#### 6208-2Z

Rodamiento rígido de bolas con sellos o placas de protección

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas con sellos o placas de protección son especialmente versátiles, tienen baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos. El sellado integral puede prolongar significativamente la vida útil del rodamiento porque mantiene el lubricante en los rodamientos y los contaminantes fuera.

- El sellado integral prolonga la vida útil del rodamiento
- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción y capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

#### Overview

#### Dimensiones

Diámetro interno	40 mm
Diámetro exterior	80 mm
Ancho	18 mm

#### Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	32.5 kN
Capacidad de carga estática básica	19 kN
Velocidad de referencia	18 000 r/min
Velocidad límite	9 000 r/min
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer

#### Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Placa de protección en ambos lados
Tipo de sellado	Sin contacto
Lubricante	Grasa

*Nota:* Tomada de SKF.

# ANEXO 4

## Cangilón HD-MAX

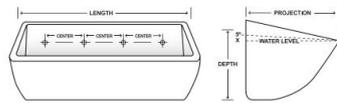


**HD-MAX® HEAVY DUTY**  
High Speed Centrifugal Discharge 210 - 900 FPM



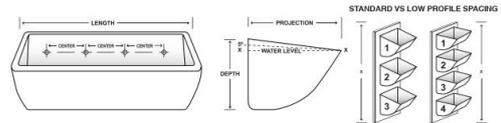
### HD-MAX® HEAVY DUTY: STANDARD PROFILE

The **HD-MAX** Heavy Duty elevator bucket is engineered to exceed the performance requirements of the standard bucket. This bucket is designed with thicker walls and a reinforced front lip to increase bucket life and reduce breakage. Replacing existing Standard Duty buckets with the **HD-MAX** will create longer bucket life and less frequent replacements. Standard spacing is nominal projection + 2". The most common applications include grain, fertilizer, pellets, corn, wheat, soybeans and other agricultural applications. The **HD-MAX** bucket stands second to the **TIGER-TUFF** in strength and thickness.



### HD-MAX® HEAVY DUTY: LOW PROFILE

The **HD-MAX** Low Profile bucket has a reduced height modification for closer vertical spacing on the belt. The low profile system allows more buckets per foot of elevator belt. When upgrading to **HD-MAX** Heavy Duty Low Profile buckets, horsepower requirements must be evaluated due to increased capacity.



### AVAILABLE MATERIALS

	POLYETHYLENE	NYLON	URETHANE	FDA NYLON
<b>Color</b>	Red, White	Tan	Green	White
<b>Application</b>	Grain & Food Products	Hot, high impact, abrasive dense products	Heavy abrasion, sticky materials	Hot, high impact, abrasive food grade products
<b>Temperature Range</b>	-120° F to + 180° F (210° F Intermittent)	-60° F to + 300° F (350° F Intermittent)	-60° F to + 180° F (210° F Intermittent)	-60° F to + 300° F
<b>FDA Approved Material</b>	Yes	No	Yes	Yes
<b>Comments</b>	Economical, high density polyethylene. FDA approved material for handling food grade products.	Best for high heat applications, with tough impact and abrasion needs.	Most flexible and abrasion resistant. Resists product sticking and sharp cutting particles.	Best for high heat food grade applications, with tough impact and abrasion needs.

### APPLICATIONS



**FOOD**  
Barley, Beans, Corn, Cotton Seed, Coffee, Flour, Grains, Nuts, Rice, Sunflower, Oats, Salt, Sugar, Wheat, etc.



**FEED**  
Bone Meal, Pellets, Meat Scrap, etc.



**OTHER**  
Seeds, Grass Seed, Fertilizer, Perlite, Potash, Sawdust, Minerals, etc.

CALL TODAY, TOLL FREE 1-800-527-0657 OR VISIT US ONLINE AT [WWW.MAXILIFT.COM](http://WWW.MAXILIFT.COM)

**Maxi-lift Inc.**

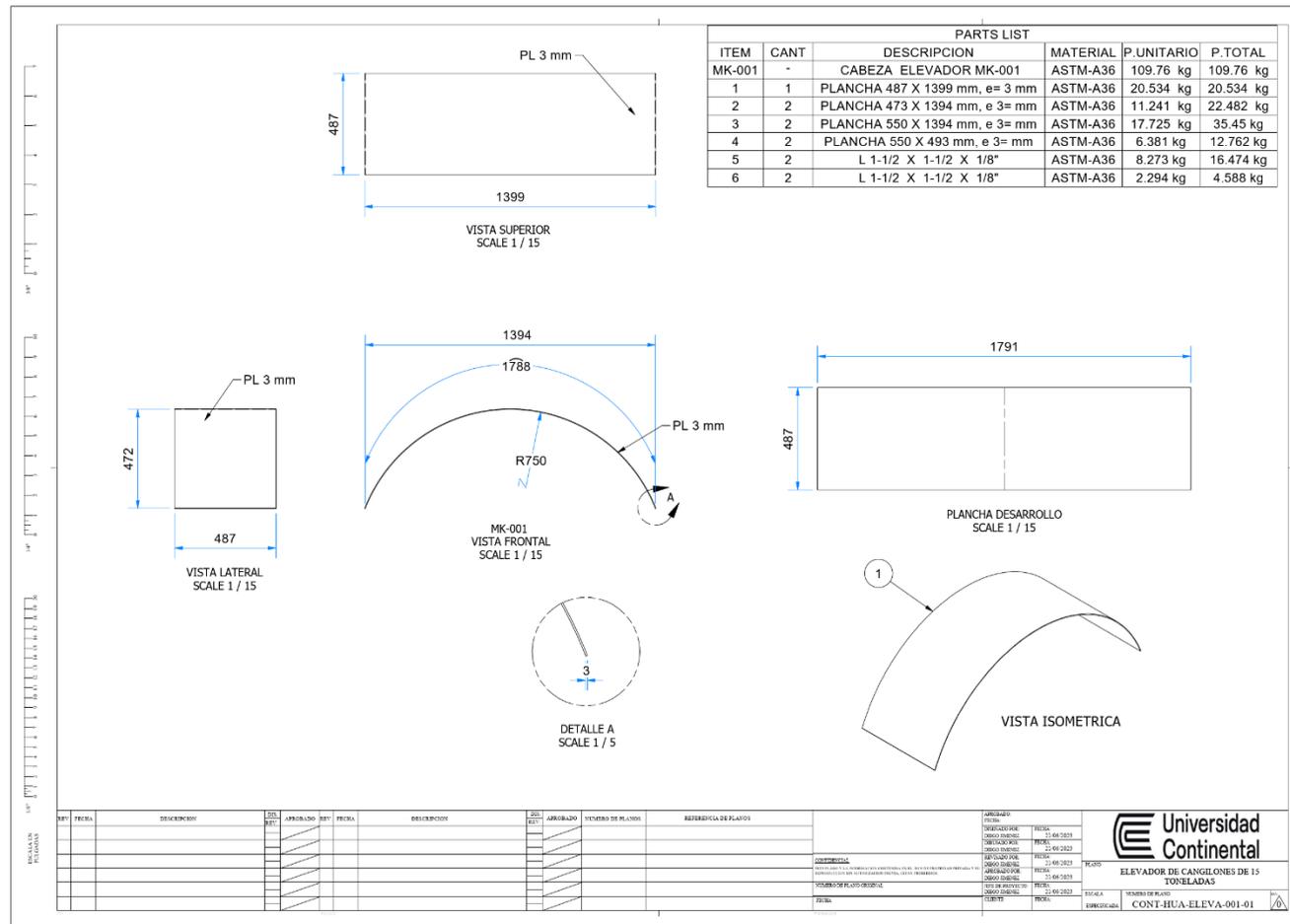


27

*Nota: Tomada de MAXI-LIFT INC.*

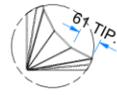
# ANEXO 5

## Planos

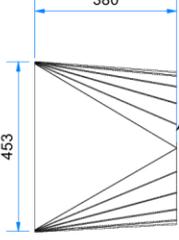




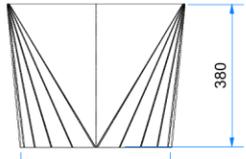




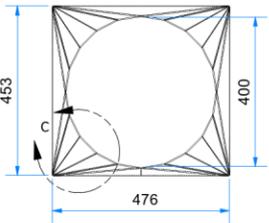
DETAIL C  
SCALE 1 / 10



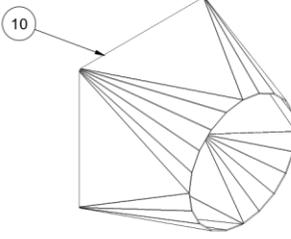
VISTA LATERAL  
SCALE 1 / 10



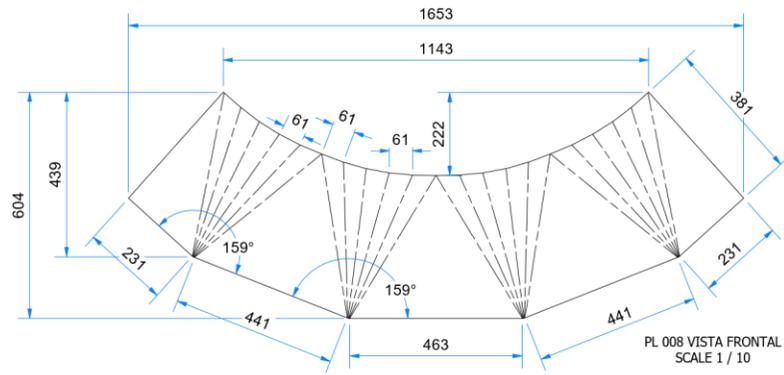
VISTA SUPERIOR  
SCALE 1 / 10



MK-002  
VISTA FRONTAL  
SCALE 1 / 10



VISTA ISOMETRICA



PL 008 VISTA FRONTAL  
SCALE 1 / 10

PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
MK-002	-	CABEZA ELEVADOR MK-002	ASTM-A36	67.130 kg	67.130 kg
7	2	PLANCHA 994 X 420 mm, e=3 mm	ASTM-A36	9.892 kg	19.784 kg
8	1	PLANCHA 493 X 420 mm, e=3 mm	ASTM-A36	4.873 kg	4.873 kg
9	1	PLANCHA 300 X 458 mm, e=3 mm	ASTM-A36	4.873 kg	4.873 kg
10	1	PLANCHA 476 X 400 mm, e=3 mm	ASTM-A36	14.072 kg	14.072 kg
11	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	3.736 kg	7.452 kg
12	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	1.218 kg	2.436 kg
13	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	2.651 kg	5.302 kg
14	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	1.326 kg	2.652 kg

Escala en milímetros

REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

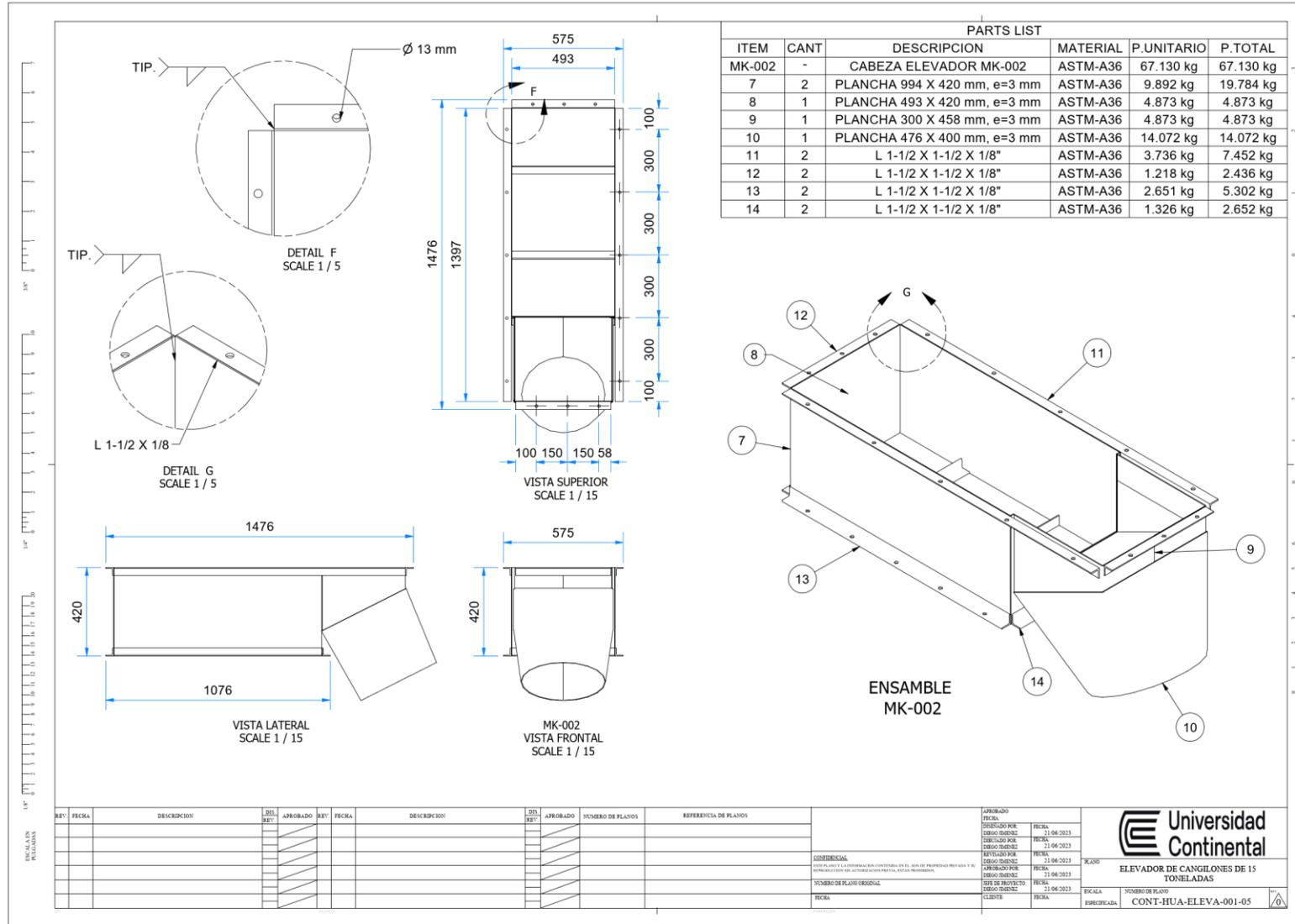
ANULADO	FECHA
DESIGNADO POR:	FECHA: 21/06/2023
DISEÑADO POR:	FECHA: 21/06/2023
REVISADO POR:	FECHA: 21/06/2023
APROBADO POR:	FECHA: 21/06/2023
DATE DE PROYECTO	FECHA: 21/06/2023
NUMERO DE PLANOS	FECHA: 21/06/2023
FECHA	FECHA: 21/06/2023

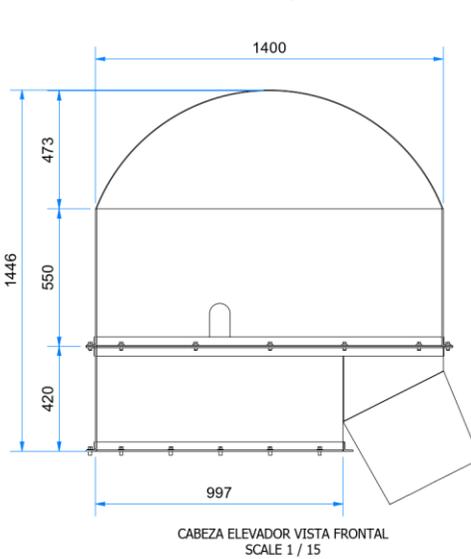
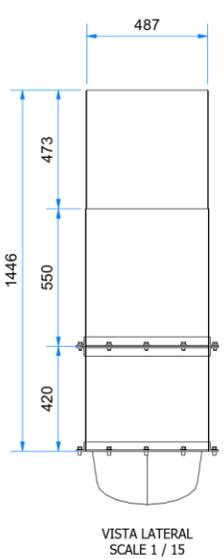
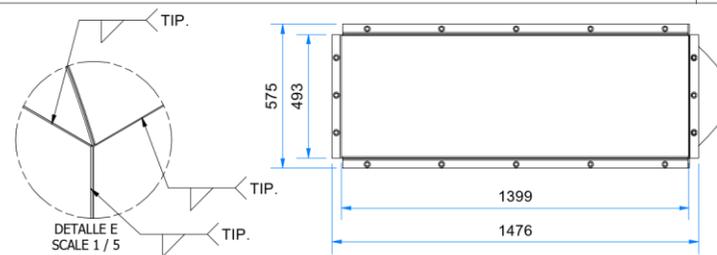
**Universidad Continental**

PLANO: ELEVADOR DE CANGLONES DE 15 TONELADAS

FECHA: 21/06/2023

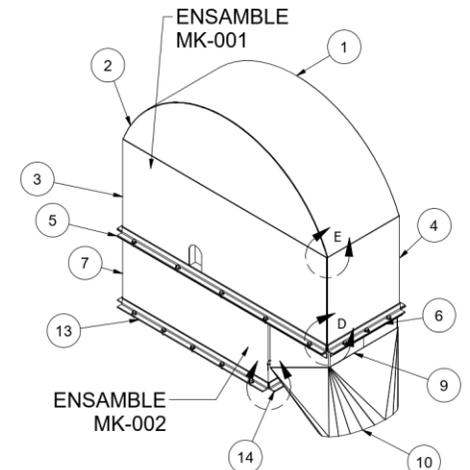
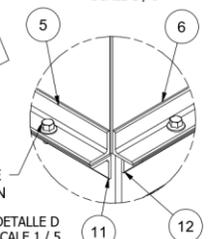
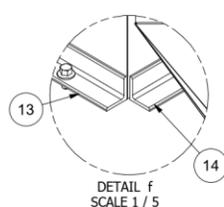
NUMERO DE PLANOS: CONT-HUA-ELEVA-001-04





PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
MK-001	-	CABEZA ELEVADOR MK-001	ASTM-A36	109.76 kg	109.76 kg
1	1	PLANCHA 487 X 1399 mm, e= 3 mm	ASTM-A36	20.534 kg	20.534 kg
2	2	PLANCHA 473 X 1394 mm, e= 3 mm	ASTM-A36	11.241 kg	22.482 kg
3	2	PLANCHA 550 X 1394 mm, e= 3 mm	ASTM-A36	17.725 kg	35.45 kg
4	2	PLANCHA 550 X 493 mm, e= 3 mm	ASTM-A36	6.381 kg	12.762 kg
5	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	8.273 kg	16.474 kg
6	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	2.294 kg	4.588 kg

PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
MK-002	-	CABEZA ELEVADOR MK-002	ASTM-A36	67.130 kg	67.130 kg
7	2	PLANCHA 994 X 420 mm, e=3 mm	ASTM-A36	9.892 kg	19.784 kg
8	1	PLANCHA 493 X 420 mm, e=3 mm	ASTM-A36	4.873 kg	4.873 kg
9	1	PLANCHA 300 X 458 mm, e=3 mm	ASTM-A36	4.873 kg	4.873 kg
10	1	PLANCHA 476 X 400 mm, e=3 mm	ASTM-A36	14.072 kg	14.072 kg
11	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	3.736 kg	7.452 kg
12	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	1.218 kg	2.436 kg
13	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	2.651 kg	5.302 kg
14	2	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM-A36	1.326 kg	2.652 kg



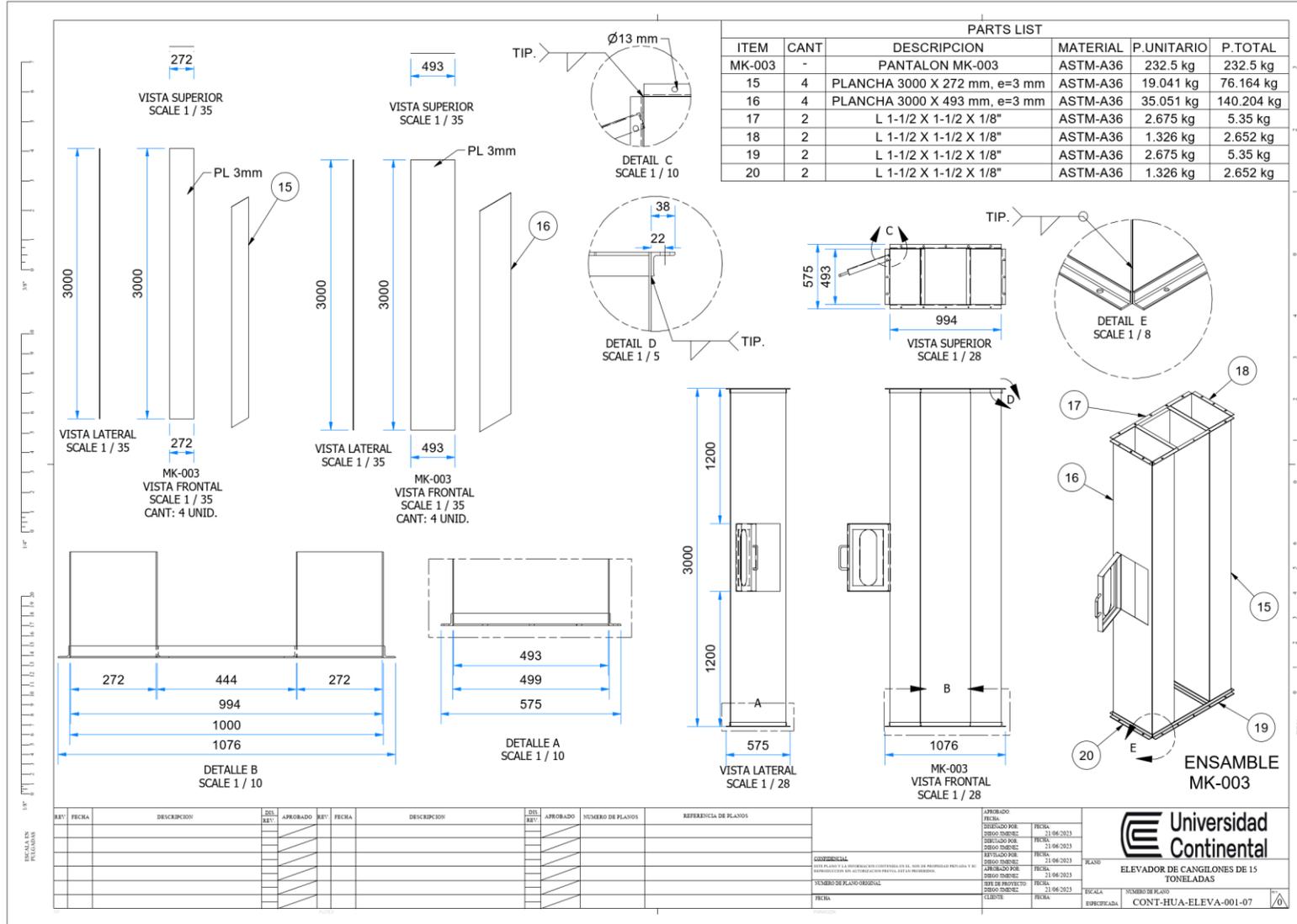
REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO	FECHA	REVISADO	FECHA	REVISADO	FECHA	REVISADO	FECHA	REVISADO	FECHA

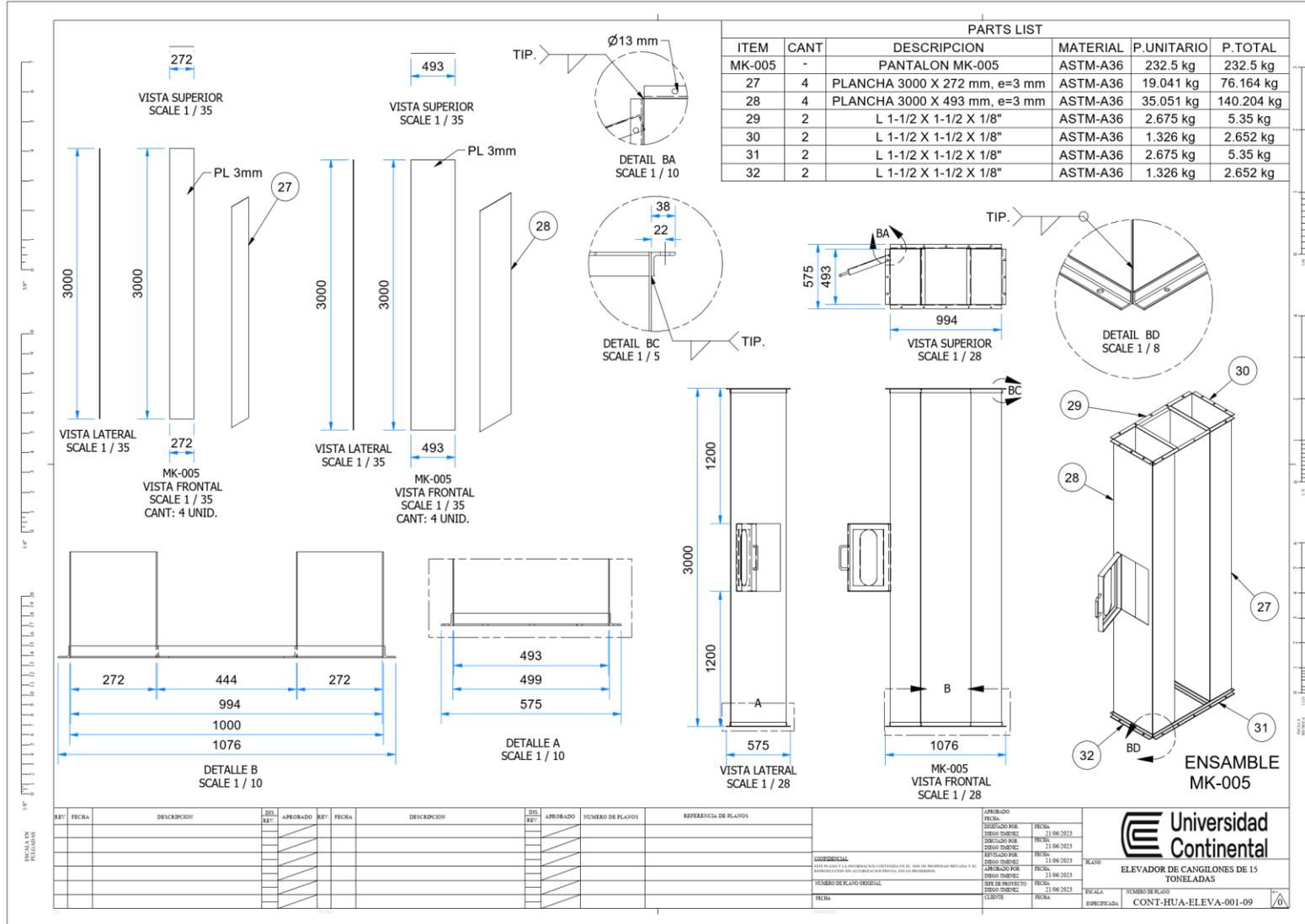
**Universidad Continental**

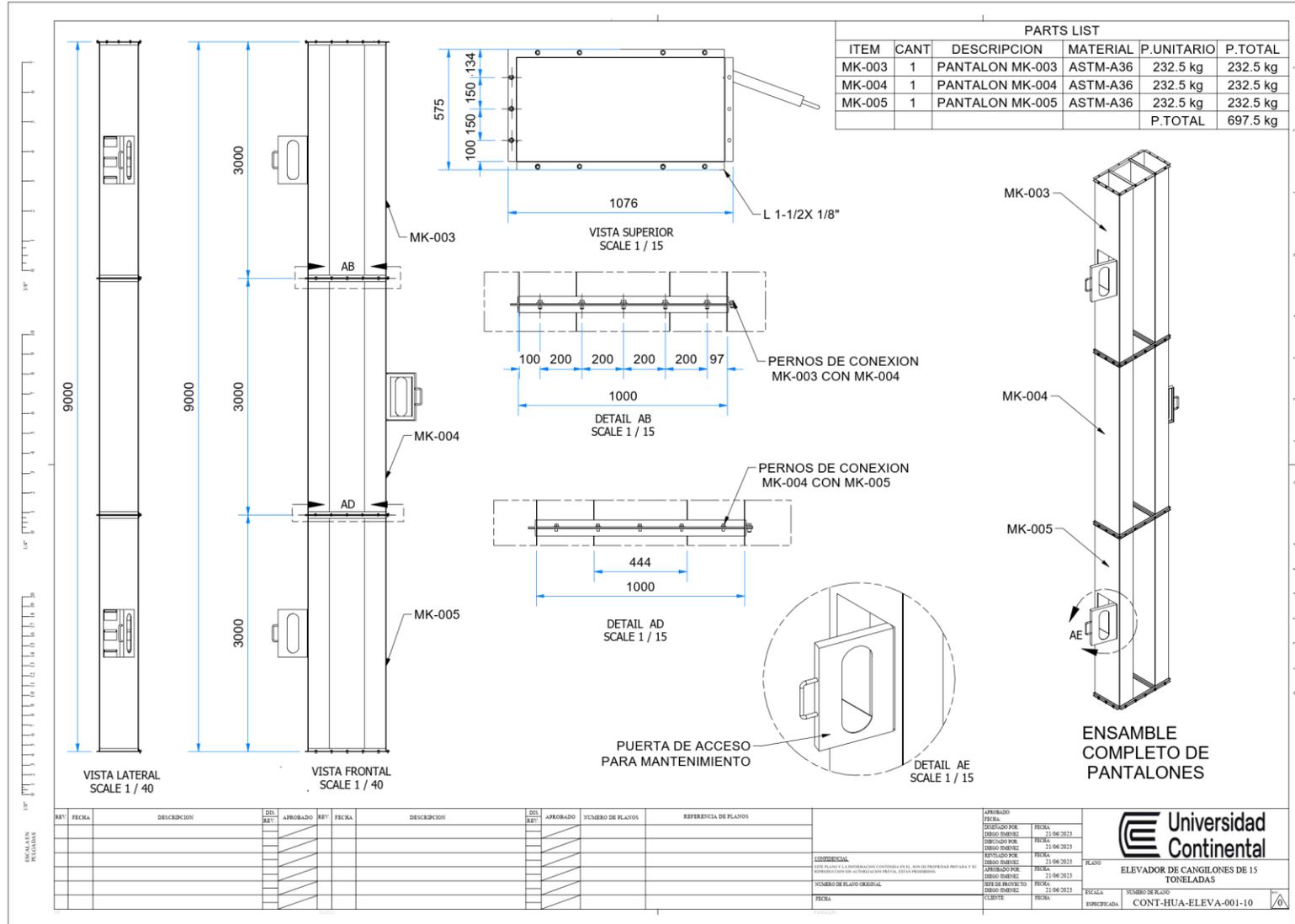
ELEVADOR DE CANGILONES DE 15 TONELADAS

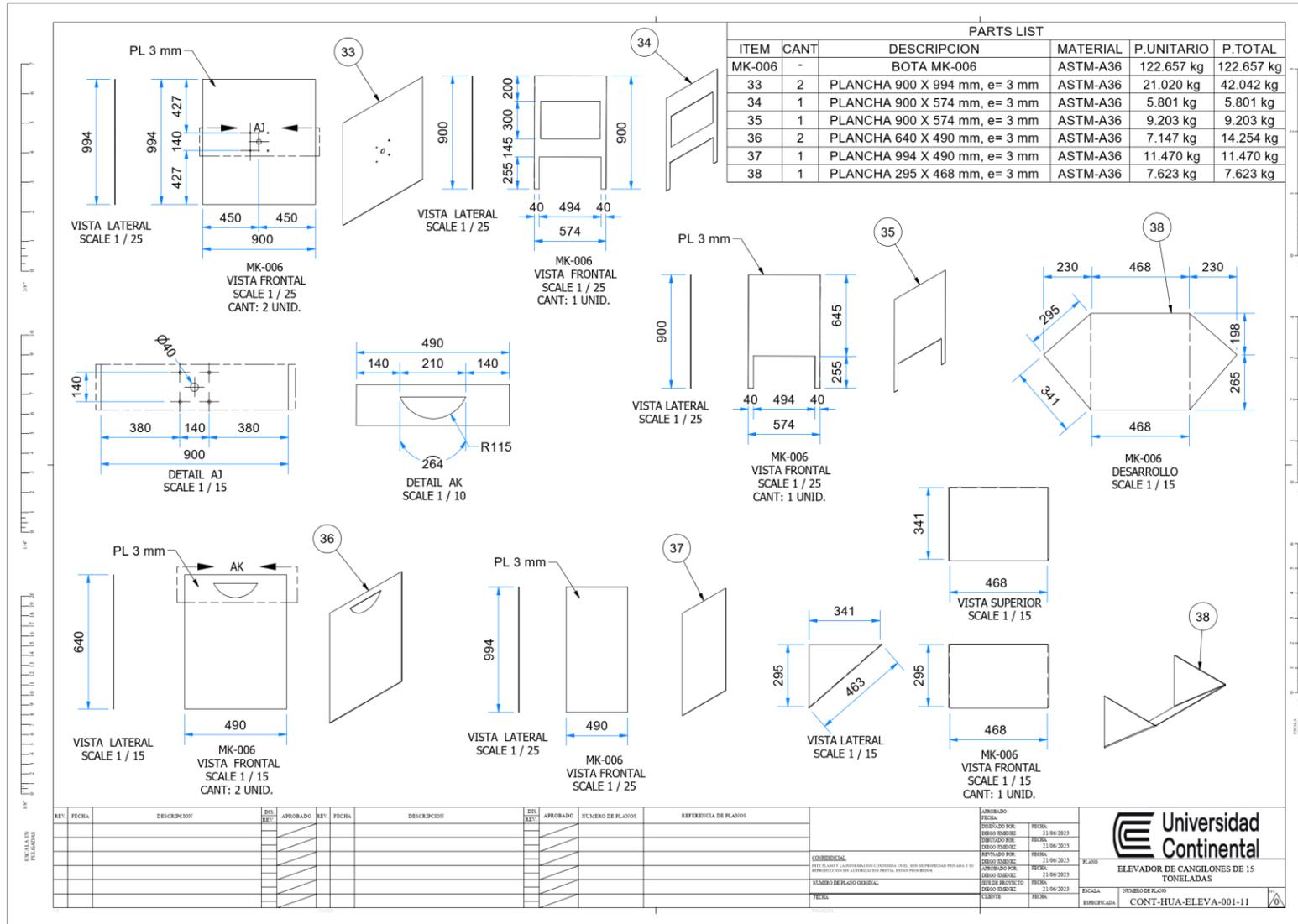
CONT-HUA-ELEVA-001-06







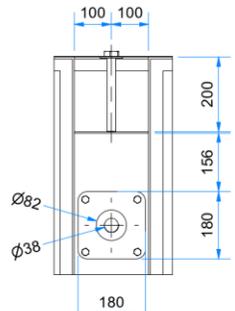




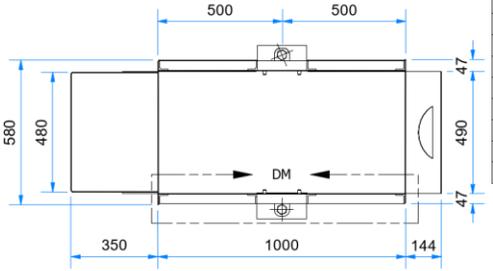
REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	REV	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO: [Signature]  
 FECHA: 21-06-2023  
 DISEÑADO POR: [Signature]  
 FECHA: 21-06-2023

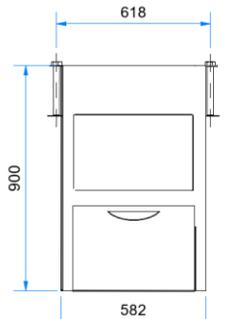
**Universidad Continental**  
 ELEVADOR DE CANGILONES DE 15 TONELADAS  
 TERCERA VISTA DE BLOQUE  
 CONT-HUA-ELEVA-001-11



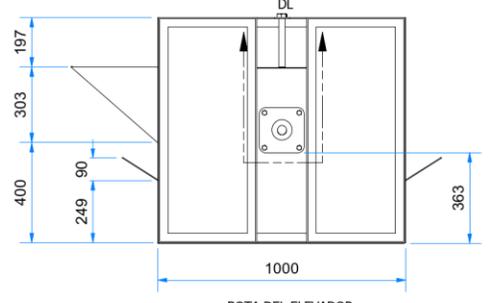
DETAIL DL  
SCALE 1 / 10



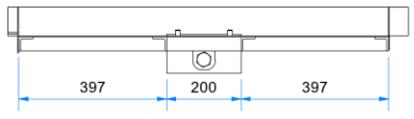
VISTA SUPERIOR  
SCALE 1 / 15



VISTA LATERAL  
SCALE 1 / 15

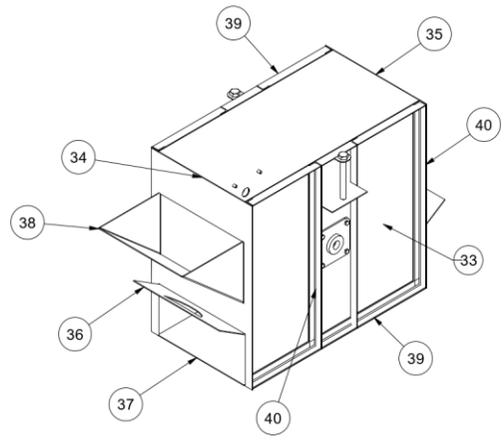


BOTA DEL ELEVADOR  
SCALE 1 / 15



DETAIL DM  
SCALE 1 / 10

PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
33	2	PLANCHA 900 X 994 mm, e= 3 mm	ASTM A-36	21.020 kg	42.042kg
34	1	PLANCHA 900 X 574 mm, e= 3 mm	ASTM A-36	5.801 kg	5.801 kg
35	1	PLANCHA 900 X 574 mm, e= 3 mm	ASTM A-36	9.203 kg	9.203 kg
36	2	PLANCHA 640 X 490 mm, e= 3 mm	ASTM A-36	7.147 kg	14.254 kg
37	1	PLANCHA 994 X 490 mm, e= 3 mm	ASTM-A-36	11.470 kg	11.470 kg
38	1	PLANCHA 295 X 468 mm, e= 3 mm	ASTM A-36	7.623 kg	7.623 kg
39	4	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM A-36	2.675 kg	10.70 kg
40	8	L 1-1/2 X 1-1/2 X 1/8"	ASTM A-36	2.423 kg	19.384 kg
				P.TOTAL	122.657 kg



ENSAMBLE  
MK-006

REV	FECHA	DESCRIPCION	APROBADO	FECHA	DESCRIPCION	APROBADO	FECHA	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO		FECHA	
DESIGNADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
REVISADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
APROBADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
REVISADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
APROBADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
REVISADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
APROBADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
REVISADO POR:	FECHA:	31/06/2023	
APROBADO POR:	FECHA:	31/06/2023	

**Universidad Continental**

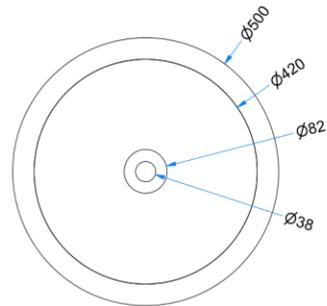
ELEVADOR DE CANGILONES DE 15 TONELADAS

MEMBERO DE ICAAP

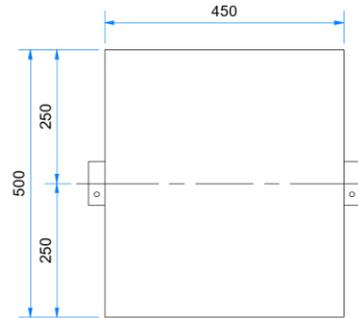
CONT-HUA-ELEVA-001-12



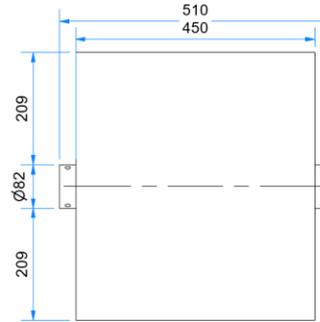
PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
41	1	POLEA MOTRIZ DIAMETRO = 500mm	ASTM A-36	187.22 kg	187.22 kg



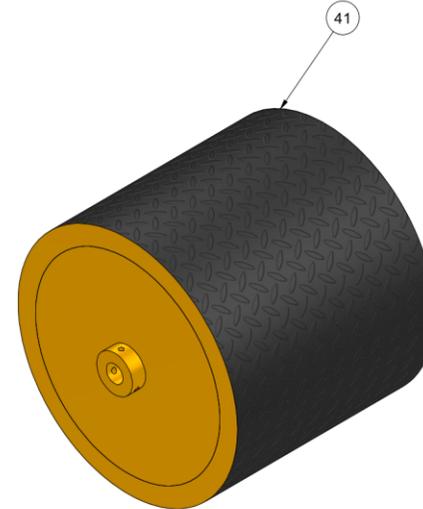
VISTA LATERAL  
ESCALA 1 / 7



VISTA SUPERIOR  
ESCALA 1 / 7



VISTA FRONTAL  
ESCALA 1 / 7



REV	FECHA	DESCRIPCION	DISE	APROBADO	REV	FECHA	DESCRIPCION	DISE	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL MISMO SON DE PROPIEDAD PRIVADA Y SU REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA ESTA PROHIBIDA.

APROBADO	FECHA	TRACIA
DISEÑADO POR	FECHA	

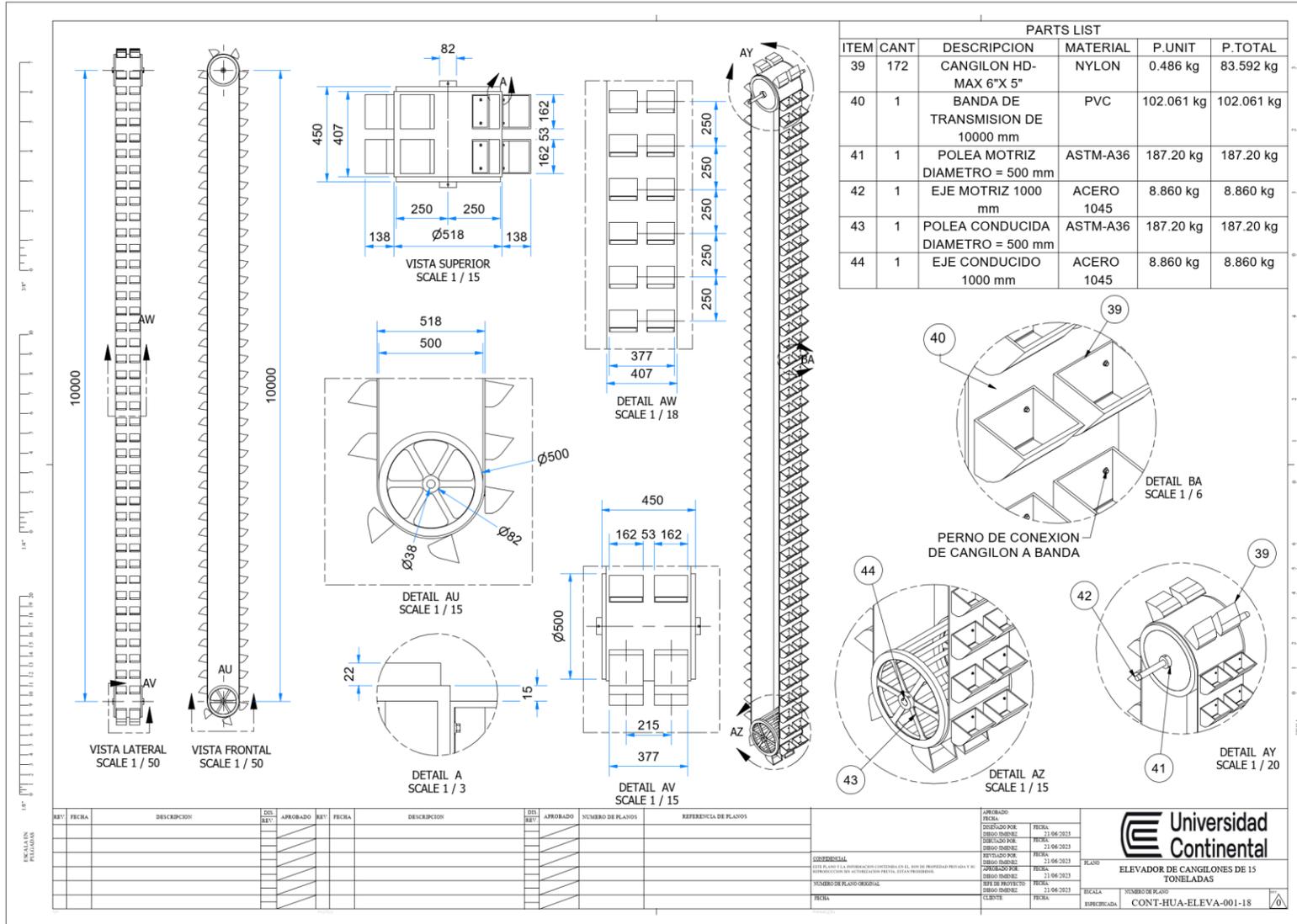
**Universidad Continental**  
ELEVADOR DE CANGILONES DE 15 TONELADAS

TRACIA: EMBREAJADA  
NUMERO DE PLANOS: CONT-HUA-ELEVA-001-14









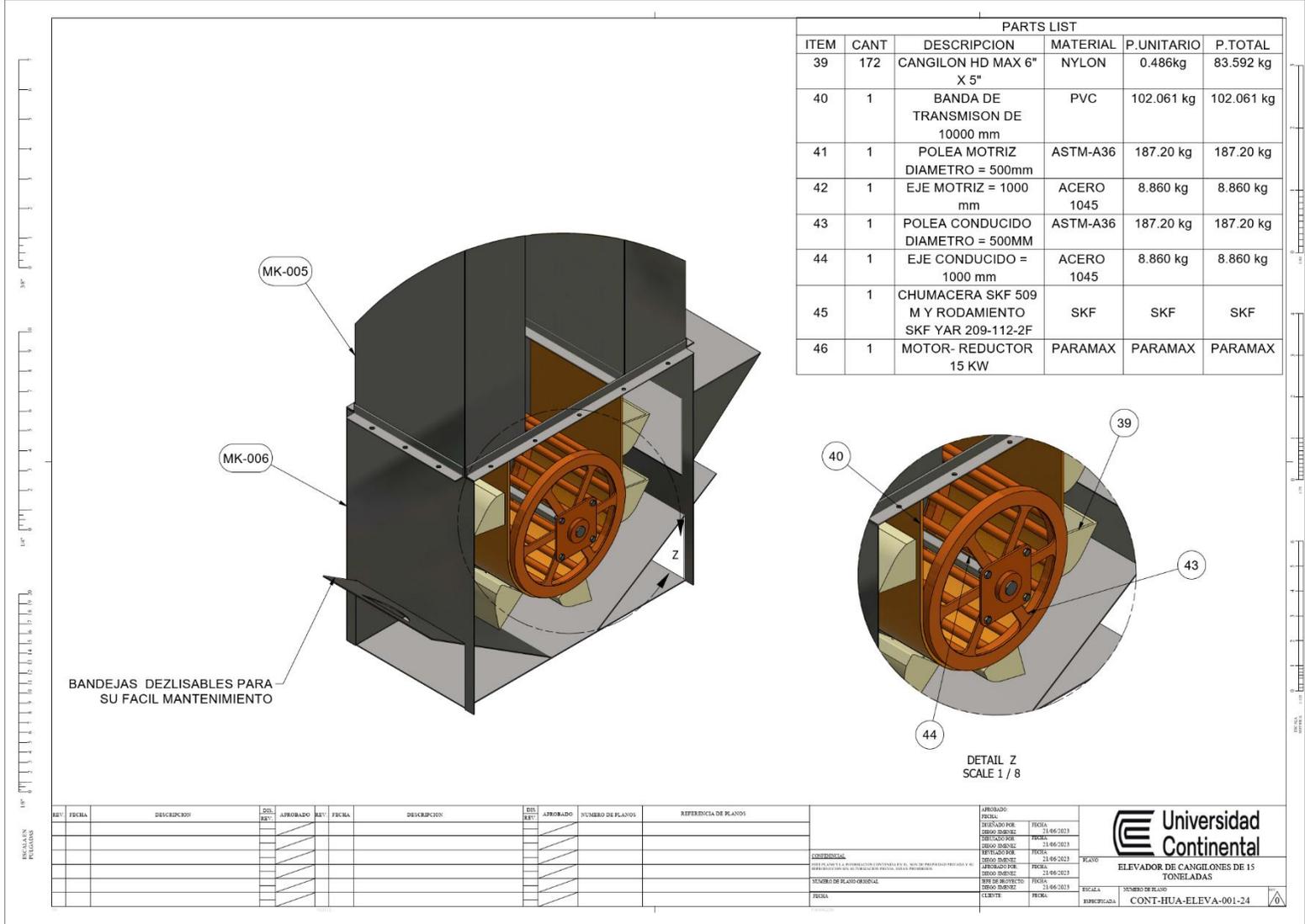












PARTS LIST					
ITEM	CANT	DESCRIPCION	MATERIAL	P.UNITARIO	P.TOTAL
39	172	CANGILON HD MAX 6" X 5"	NYLON	0.486kg	83.592 kg
40	1	BANDA DE TRANSMISION DE 10000 mm	PVC	102.061 kg	102.061 kg
41	1	POLEA MOTRIZ DIAMETRO = 500mm	ASTM-A36	187.20 kg	187.20 kg
42	1	EJE MOTRIZ = 1000 mm	ACERO 1045	8.860 kg	8.860 kg
43	1	POLEA CONDUcido DIAMETRO = 500MM	ASTM-A36	187.20 kg	187.20 kg
44	1	EJE CONDUcido = 1000 mm	ACERO 1045	8.860 kg	8.860 kg
45	1	CHUMACERA SKF 509 M Y RODAMIENTO SKF YAR 209-112-2F	SKF	SKF	SKF
46	1	MOTOR- REDUCTOR 15 KW	PARAMAX	PARAMAX	PARAMAX

REV	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIA DE PLANOS

APROBADO FECHA: 11-06-2013 DISEÑADO POR: [blank] REVISADO POR: [blank] DISEÑADO POR: [blank] REVISADO POR: [blank]	FECHA: 11-06-2013 FECHA: 11-06-2013	TRAZO ELEVADOR DE CANGILONES DE 15 TONELADAS UNIVERSIDAD CONTINENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CONT-HUA-ELEVA-001-24
---	--	---

