

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**“DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPO
SEPARADOR DE SOLIDOS BASADO EN
TRANSPORTE HELICOIDAL PARA LA
OPTIMIZACION DE PROCESOS EN EL
TRATAMIENTO DE RILES”**

KEVIN ALFREDO PASTEN SMITH

**TRABAJO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO INDUSTRIAL**

**PROFESOR GUÍA
UDO RHEINSCHMIDT**

**PROFESOR CORREFERENTE
RAFAEL MENA**

OCTUBRE – 2019

Agradecimientos

Es bien sabido que el estado contemporáneo de todo ser vivo, a través del tiempo, es la expresión conjunta de todas sus capacidades y vivencias, plasmadas en cada cuanto de espacio que recorremos. En este contexto, si tuviera que referirme específicamente a la influencia de las personas en el desarrollo de mi formación, seguramente podría escribir un libro, donde cada persona que ha aportado hasta en la más mínima forma a esta evolución, poseería un capítulo de agradecimiento. Con esto quiero decir, que a veces pequeños y mínimos acontecimientos, pueden aportar de formas trascendentales, formas que no se pueden medir. Por esto, agradezco a toda persona que se sienta parte de esta aventura. No obstante, es bien sabido también que cada forma de expresión en el universo puede cuantificarse en magnitudes, valores que ponderan con mayor o menor relevancia, la participación que tiene los fenómenos en el desarrollo de la existencia.

Siendo más concreto, mi primera línea de agradecimientos directos es hacia mis amigos y conocidos que siempre demuestran su apoyo y preocupación por mis estudios. Agradezco también tanto a mis jefes, colegas y amigos de Kraken e ISMA, por darme la oportunidad de trabajar con ellos en el desarrollo de este proyecto y curtirme profesionalmente. Desde luego que agradezco a todos los profesores que influyeron en mi formación académica, pero particularmente a dos de ellos, al profesor Udo Rheinschmidt, por apoyar esta idea y el proyecto en general, siendo siempre optimista y entregando recomendaciones constructivas. Y también al profesor Rafael Mena, quien mostro siempre una excelente disposición a la hora de evaluar el proyecto y recomendar sabiamente aspectos de mejora.

Por último, agradecer a mis familiares, directos como indirectos, que siempre me han apoyado en cada aspecto de mi vida, con motivación, con ideas, con estabilidad. Cada uno de ellos ha sido fundamental en mi formación como individuo. No obstante, hay dos personas que merecen más que un agradecimiento, dos personas que han invertido toda su vida en hacer posible cada aspecto de la mía, permitiéndome llegar a ser quien soy, personas incondicionales que están siempre para mí, independiente de mi personalidad o actitudes. Dos personas que necesito para ser feliz y que merecen ser felices también. Esas personas son mis padres...mis papas, las dos partículas elementales que viajan conmigo por el tiempo-espacio, guiándome y protegiéndome de la hostilidad del universo.

Resumen

La presente monografía describe el procedimiento y fases de desarrollo para el diseño de un prototipo separador de sólidos, basado en un sistema mecánico de transporte helicoidal. Esto con el propósito de optimizar los procesos en el tratamiento de residuos industriales líquidos dentro de la industria vinícola, contemplando representativamente los factores más relevantes dentro de los tipos de sistemas mecánicos utilizados.

Para llevar a cabo el desarrollo de los modelos de prototipo, se considera en primera instancia los requerimientos solicitados por las empresas. Posteriormente se incurre en una fase de investigación sobre métodos de separación, sistemas de separación, mecánicas de filtración, equipos de filtración y transporte de materiales, información que será analizada para determinar el tipo de sistema mecánico que requieren las empresas.

Con la información disponible se desarrolla un modelado preliminar basado en aproximaciones funcionales, que posteriormente da lugar a un modelo optimizado con la consideración de parámetros más detallados. Se diseñan componentes personalizados y se generan planos de fabricación en el software de modelamiento Autodesk Inventor.

Finalmente, a petición de las empresas, se propone un modelo alternativo con el fin de reducir costos de fabricación, procurando conservar las características fundamentales del prototipo. Se analizan los componentes requeridos para la fabricación y se comparan con los disponibles en el mercado.

El desenlace de este proceso de diseño involucra recomendaciones en la ejecución de las etapas junto con la resolución de funcionamiento y propuestas de mejoramiento.

Abstract

This monograph describes the procedure and development phases for the design of a prototype solids separator, based on a mechanical helical transport system. This with the purpose of optimizing the processes in the treatment of liquid industrial waste within the wine industry, representatively contemplating the most relevant factors within the types of mechanical systems used.

In order to carry out the development of the prototype models, the requirements requested by the companies are considered in the first instance. Subsequently, a research phase is carried out on separation methods, separation systems, filtration mechanics, filtration equipment and transport of materials, information that will be analyzed to determine the type of mechanical system that companies require.

With the available information, a preliminary modeling based on functional approaches is developed, which later results in an optimized model with the consideration of more detailed parameters. Custom components are designed and manufacturing drawings are generated in the Autodesk Inventor modeling software.

Finally, at the request of the companies, an alternative model is proposed in order to reduce manufacturing costs, trying to preserve the fundamental characteristics of the prototype. The components required for manufacturing are analyzed and compared with those available in the market.

The outcome of this design process involves recommendations in the execution of the stages along with the operation resolution and improvement proposals.

Glosario

RIL: Residuos Industriales Líquidos

RIS: Residuos Industriales Sólidos

I+D: Innovación y desarrollo

Artesa: Recipiente, contenedor o carcasa que alberga el transportador helicoidal.

Brida: Elemento circular con perforaciones utilizado en la fijación de componentes, usualmente llamado flange.

CORFO: Corporación de Fomento de la Producción

Índice de Contenido

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	III
Glosario	IV
Índice de Contenido	V
Índice de Tablas	VIII
Índice de Ilustraciones	X
1.- Introducción	1
2.- Objetivos	2
2.1.- Objetivo General	2
2.2.- Objetivos Específicos	2
3.- Alcance	3
4.- Marco de referencia	4
4.1.- Organismos involucrados en el Proyecto	4
4.1.1.- Viña Siegel	4
4.1.2.- Isma consultores	4
4.1.3.- Kraken Spa	5
4.1.4.- CORFO	5
4.2.- Prototipo	6
4.2.1.- Definición Básica (RAE)	6
4.2.2.- Definición Manual de Frascati	6
4.2.3.- Definición Corfo	7
5.- Metodología de trabajo	8
5.1.- Identificación	11
5.2.- Investigación	11
5.3.- Diseño preliminar – Parámetros Base	12
5.4.- Modelación de diseño Preliminar	12
5.5.- Diseño Optimizado - Transportador Helicoidal	13
5.6.- Diseño y Modelado de Componentes	13
5.7.- Modelo Alternativo - Económico	14
5.8.- Planos de Fabricación - Modelo Optimizado	14
	V

5.9.-	Planos de Fabricación – Modelo Alternativo	14
6.-	Fases de Desarrollo	15
6.1.-	Identificación	15
6.1.1.-	Contexto	15
6.1.2.-	Descripción Específica de la Problemática	16
6.1.3.-	Resultados comerciales esperados	17
6.1.4.-	Registros y mediciones	18
6.1.5.-	Datos de la producción	25
6.1.6.-	Requisitos del proyecto	27
6.2.-	Investigación	28
6.2.1.-	Métodos de separación de fases	29
6.2.2.-	Sistemas de separación Sólido-líquido	30
6.2.3.-	Mecánicas de Filtración	36
6.2.4.-	Equipos de Filtración	39
6.2.5.-	Resolución de sistema mecánico	46
6.2.6.-	Transporte Helicoidal - Tornillo Sin Fin	49
6.3.-	Diseño preliminar – Parámetros Base	52
6.3.1.-	Selección tipo de hélice y “Paso”	54
6.3.2.-	Clasificación de Material	57
6.3.3.-	Velocidad de Giro	58
6.3.4.-	Diámetro de Tornillo	59
6.3.5.-	Área de relleno del Canalón	60
6.3.6.-	Velocidad de desplazamiento del transportador	61
6.3.7.-	Caudal Másico de Material procesable	62
6.3.8.-	Parámetros de modelo Preliminar	65
6.4.-	Modelación de diseño Preliminar	66
6.4.1.-	Módulo Inferior - Carcasa	67
6.4.2.-	Módulo Central - Tornillo	69
6.4.3.-	Módulo Central - Malla	70
6.4.4.-	Módulo Central - Carcasa	72
6.4.5.-	Módulo Superior - Boca de salida	74
6.5.-	Diseño Optimizado - Transportador Helicoidal	76
6.5.1.-	Procedimiento de Diseño	77
6.5.2.-	Factores Conocidos	78
6.5.3.-	Clasificación de material	82
6.5.4.-	Capacidad del transportador	85
6.5.5.-	Velocidad de giro del transportador	87

6.5.6.-	Diámetro de transportador	89
6.5.7.-	Limitación en tamaño de partículas	90
6.5.8.-	Cálculo de Potencia Total	91
6.5.9.-	Serie de componentes	98
6.5.10.-	Capacidad Torsional de los Componentes	100
6.5.11.-	Capacidad de Potencia de los Componentes	102
6.5.12.-	Deflexión del transportador	104
6.5.13.-	Empuje en transportador helicoidal	106
6.5.14.-	Expansión térmica en transportadores helicoidales	107
6.6.-	Diseño y Modelado de Componentes	108
6.6.1.-	Dimensionamiento de Transportador Helicoidal	109
6.6.2.-	Empaquetadura	135
6.6.3.-	Dimensionamiento de Malla	136
6.6.4.-	Rodamientos	142
6.6.5.-	Dimensionamiento de Carcasa	144
6.6.6.-	Ensamble final de prototipo optimizado	151
6.7.-	Modelo Alternativo - Económico	156
7.-	Conclusiones y Recomendaciones	162
7.1.-	Problemas en el desarrollo del Diseño	162
7.2.-	Problemas de Funcionamiento	165
7.3.-	Resultados Preliminares	166
	Bibliografía	168
	Anexos	170
	Planos de Fabricación - Modelo Optimizado	170
	Planos de Fabricación – Modelo Alternativo	177

Índice de Tablas

Tabla 1: Programación Inicial de Empresa Kraken Spa. (Kraken S. , 2017).....	8
Tabla 2: Mezcla de fases - métodos de separación. (Yactayo, 2010).....	30
Tabla 3: Equipos de filtración según origen de la presión de filtración. (SLA, 2010)....	39
Tabla 4: Descripción - tipos de transportadores helicoidales.....	51
Tabla 5: Tipos de hélice y características asociadas.....	54
Tabla 6: Clasificación de materiales según sus propiedades físicas. (Galbarro, 2018)...	57
Tabla 7: Velocidad máxima de giro - clase de material y diámetro. (Galbarro, 2018) ...	58
Tabla 8: Coeficiente de relleno según tipo de carga. (Galbarro, 2018).....	60
Tabla 9: Coeficientes de disminución según grado de inclinación de tornillo.....	62
Tabla 10: Resumen de parámetros para evaluación operativa.	65
Tabla 11: Evolución de bocetos para la generación del módulo inferior.....	67
Tabla 12: Evolución 3D para la generación de módulo inferior.	68
Tabla 13: Descripción de modelamiento para tornillo helicoidal.....	69
Tabla 14: Descripción de modelamiento para módulo de malla.	70
Tabla 15: Descripción de modelamiento para módulo de carcasa media.	72
Tabla 16: Descripción de modelamiento para módulo Superior.	74
Tabla 17: Guía - Diseño de transportador helicoidal. (MS&G, 2013)	77
Tabla 18: Valores de caudales RIL del año 2017 – Primer Semestre.....	79
Tabla 19: Valores de caudales RIL del año 2017 - Segundo Semestre.	79
Tabla 20: Propiedades características de materiales. (MS&G, 2013)	82
Tabla 21: Propiedades particulares de los materiales. (MS&G, 2013).....	83
Tabla 22: Propiedades más cercanas al material evaluado.	83
Tabla 23: Característica de los materiales con mayor similitud al evaluado.	84
Tabla 24: Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF1.	86
Tabla 25: Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial CF2.	86
Tabla 26: Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras CF3.....	86
Tabla 27: Diámetros y revoluciones por minuto para cargas de artesa de 15% y 30%...	88
Tabla 28: Diámetros y revoluciones por minuto para cargas de artesa de 15%.....	89
Tabla 29: Clases de materiales y descripción asociada.....	90
Tabla 30: Tamaño máximo de partícula según clase para helicoidal de 6 pulgadas.	90
Tabla 31: Parámetros para la determinación de HP_f	92
Tabla 32: Tabla de factor F_m para cada material seleccionado.	93
Tabla 33: Factor de hélice según tipo de helicoidal y porcentaje de carga de la artesa...	94
Tabla 34: Factor de paleta según número de paletas por helicoidal.	94
Tabla 35: Parámetros para la determinación de HP_m	94
Tabla 36: Factor “e” según tipo de transmisión. (MS&G, 2013).....	97
Tabla 37: Parámetros para la determinación de HP_i . (MS&G, 2013)	97
Tabla 38: Número de serie de componentes para los materiales de estudio.	98
Tabla 39: Grupos de componentes 2 y 3 para transportador de 6 pulgadas.....	98
Tabla 40: Parámetros de Tubo - Eje de helicoidal según designación de tamaño.....	99
Tabla 41: Capacidad torsional de Eje y Tubo según diámetro de Eje.	100
Tabla 42: Capacidad Torsional para pernos según diámetro de Eje.....	100

Tabla 43: Capacidad de potencia de Eje y Tubo según diámetro de Eje.	102
Tabla 44: Capacidad de potencia para pernos según diámetro de Eje.	102
Tabla 45: Características de helicoidal según designación de tamaño.	104
Tabla 46: Momento de inercia según tamaño de tubo cedula 40.	105
Tabla 47: Dimensiones para el diseño de eje con acoplamiento cerrado.....	110
Tabla 48: Dimensiones para perforaciones de eje con acoplamiento cerrado.	111
Tabla 49: Dimensiones para el diseño del eje motriz.	113
Tabla 50: Dimensiones para el ranurado del eje motriz.....	114
Tabla 51: Elementos de fijación para eje y tubo. (SODIPER, 2018)	117
Tabla 52: Dimensiones para tubo del transportador.	118
Tabla 53: Modelamiento 3D- Tubo del transportador.	124
Tabla 54: Parámetros para el modelamiento de la Hélice.....	125
Tabla 55: Vistas Modelo 3D - Hélice del Transportador.....	126
Tabla 56:Modelamiento 3D - Montaje entre Hélice y Tubo.....	126
Tabla 57: Secuencia de ensamble para Sección de Transportador Helicoidal.	131
Tabla 58: Tabla de pesos de componentes para Transportador Helicoidal.....	134
Tabla 59: Ejemplo de sección de malla individual y en conjunto de ensamble.....	135
Tabla 60: Ejemplo de empaquetadura en conjunto de ensamble con malla.....	135
Tabla 61: Características físicas de filtros de 6 pulgadas. (St, 2018)	138
Tabla 62: Modelación 3D -Tipo de malla Johnson.	138
Tabla 63: Representación 3D – Sección y conjunto de malla RLL.....	140
Tabla 64: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Inferior Base.	145
Tabla 65_ Modelamiento 3D - Módulo Carcasa Inferior Inclínada Izquierda.....	146
Tabla 66: Modelo 3D - Módulo de Carcasa Inferior Inclínada Derecho.	147
Tabla 67: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Media.....	148
Tabla 68: Modelamiento 3D para el Módulo Superior con Codo.	149
Tabla 69: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Superior en “T”.	149
Tabla 70: Modelamiento 3D - Compactador Escurreidor.	150
Tabla 71: Ensamble N°1 módulo inferior -modelo optimizado.	151
Tabla 72: Ensamble N°2 módulo inferior -modelo optimizado.	152
Tabla 73: Tercera parte Ensamble Modulo Inferior y Medio - Modelo Optimizado. ...	153
Tabla 74: Modelamiento 3D - Tolda de recepción.	158

Índice de Ilustraciones

Figura 1: Mapa conceptual CORFO para procesos de innovación. (CORFO, 2018).....	9
Figura 2: Diagrama CORFO - Generación de prototipos. (CORFO, 2018)	10
Figura 3: Procesos estándar para el desarrollo de productos. (CORFO, 2018).....	10
Figura 4: Fotografía receptáculo primario y secundario.....	16
Figura 5: Ubicación Viña Siegel. (Siegel, 2019).....	18
Figura 6: Fotografía - canales de RIL en zona de cubas de producto.....	19
Figura 7: Fotografía - canales de RIL en zona de alambiques de producto.....	19
Figura 8: Fotografía - canales RIL zonas adyacentes.	19
Figura 9: Fotografía - Muestra N°1 de material principal a tratar.....	20
Figura 10: Fotografía - Muestra N°2 de material principal a tratar.....	20
Figura 11: Fotografía - Vista isométrica derecha del receptáculo filtrador primario.	21
Figura 12: Fotografía - Vista isométrica izquierda del receptáculo filtrador primario....	21
Figura 13: Fotografía - Condiciones habituales del receptáculo secundario.	23
Figura 14: Fotografía - Pozos de recepción para filtrado.....	23
Figura 15: Fotografía - Pozos filtradores de tercer orden.	23
Figura 16: Fotografía - Estación de filtro parabólico.....	24
Figura 17: Fotografía - Piscinas de recepción final para RIL.	24
Figura 18: Diagrama - Zonas de generación de RILES en el proceso industrial.	25
Figura 19: Diagrama - Generación de RIS en el proceso productivo.	26
Figura 20: Esquema de operaciones mecánicas y térmicas - Separación sólido-líquido.	31
Figura 21: Esquema de fuerzas que originan la sedimentación y equipos asociados.....	32
Figura 22: Dibujo - Representación de sedimentación. (Yactayo, 2010).....	32
Figura 23: Representación gráfica de tamiz y esquema de tamizado.	33
Figura 24: Representación de funcionamiento filtros de gravedad. (SLA, 2010).....	40
Figura 25: Representación de funcionamiento filtros de Arena. (SLA, 2010).....	41
Figura 26: Esquema de componentes filtros de tambor rotativo. (SLA, 2010).....	42
Figura 27: Esquema de funcionamiento filtros de disco. (SLA, 2010)	43
Figura 28: Esquema de componentes filtros de prensa. (SLA, 2010)	44
Figura 29: Equipo de filtro prensa estándar en el mercado. (SLA, 2010)	45
Figura 30: Tornillo Vertical para lodos. (NUTECO, 2019).....	47
Figura 31: Tamiz tornillo con caja de recepción. (NUTECO, 2019)	48
Figura 32: Tornillo sin fin compactador de sólidos. (NUTECO, 2019).....	48
Figura 33: Tornillo sin fin con tolva para transporte de granos. (NUTECO, 2019)	48
Figura 34: Esquema de transportador helicoidal. (SLA, 2010).....	49
Figura 35: Autodesk Inventor - Boceto inicial de formas y espacios.	52
Figura 36: Dibujo Autodesk Inventor – Vista Lateral Inicial.	53
Figura 37: Dibujo Autodesk Inventor – Vista Isométrica Inicial.	53
Figura 38: Esquema - Hélice de Paso Medio. (MS&G, 2013).....	55
Figura 39: Esquema - Hélice de Paso Corto. (MS&G, 2013).....	56
Figura 40: Esquema - Diámetro y sentido de giro para tornillo.	59
Figura 41: Vista Lateral – Modelo 3D para inclinación de Tornillo.	63
Figura 42: Vista Isométrica – Modelo 3D para inclinación de Tornillo.....	63
Figura 43: Dibujo Autodesk Inventor – Inclinación Preliminar.....	64
Figura 44: Dibujo en detalle del tornillo sin fin con especificación de diámetro y paso.	65

Figura 45: Vista isométrica - Representación para mallas en ensamble.....	71
Figura 46: Vista Lateral – Ensamble de mallas en conjunto general.....	71
Figura 47: Vista Isométrica - Ensamble general con Módulo de carcasa media.....	73
Figura 48: Vista Lateral - Ensamble general con Módulo de carcasa media.....	73
Figura 49: Vista Lateral - Ensamble general completo.	75
Figura 50: Vista Isométrica - Ensamble general completo.	75
Figura 51: Vista Isométrica - Ensamble Modelo Preliminar.....	81
Figura 52: Código del material evaluado.	84
Figura 53: Grafico - Suma de potencias vs Fo. (MS&G, 2013).....	96
Figura 54: Esquema - Eje con acoplamiento cerrado. (MS&G, 2013).....	110
Figura 55: Esquema dimensional - Perforaciones para eje. (MS&G, 2013).....	111
Figura 56: Modelo 3D para eje de acoplamiento cerrado.	111
Figura 57: Esquema dimensional - Modelo para eje de acoplamiento cerrado.....	112
Figura 58: Esquema dimensional - Sección de eje motriz. (MS&G, 2013).....	113
Figura 59: Esquema dimensional - Ranurado en eje motriz. (MS&G, 2013).....	114
Figura 60: Modelo 3D para eje motriz.....	114
Figura 61: Esquema dimensional - Modelo de Eje Motriz	115
Figura 62: Esquema dimensional - Ranurado en modelo de Eje Motriz.	115
Figura 63: Modelo 3D para Eje Base.....	116
Figura 64: Esquema dimensional - Modelo de Eje Base.	116
Figura 65: Modelo 3D para tubo de transportador.	118
Figura 66: Modelo 3D - Tubo del transportador completo.	119
Figura 67: Detalle de Modelo 3D - Tubo de transportador completo.	119
Figura 68: Representación 3D - Problemas identificados en el tubo.....	120
Figura 69: Modelo 3D - Anillo de ajuste.	121
Figura 70: Modelo 3D - Tubo con pernos y anillos.....	121
Figura 71: Esquema – Re dimensionamiento Eje de acoplamiento cerrado.	122
Figura 72: Esquema - Segmentos de Tubo con segmentos de Eje de acoplamiento.	122
Figura 73: Esquema dimensional - Sección de tubo.	123
Figura 74: Esquema referencial - Montaje de secciones de tubo y eje.....	123
Figura 75: Esquema - Sentido de giro y forma de hélice. (MS&G, 2013)	125
Figura 76: Ilustración representativa de la intercepción entre los pernos y la hélice. ...	127
Figura 77: Esquema dimensional -Conjunto de Hélice.	127
Figura 78: Esquema dimensional final - Sección de Tubo.	128
Figura 79: Esquema dimensional final - Sección de tubo con anillos de fijación.....	129
Figura 80: Esquema dimensional final - Eje de acoplamiento cerrado.	129
Figura 81: Esquema dimensional final – Segmento Eje Motriz.....	130
Figura 82: Esquema dimensional final - Eje base del sistema.	130
Figura 83: Modelamiento – Montaje Sección de transportador y Eje Base.....	132
Figura 84: Modelamiento –Sección de Transportador y Eje de acoplamiento.	132
Figura 85: Modelo 3D transparente - Transportador Helicoidal ensamblado.....	133
Figura 86: Modelo 3D - Transportador Helicoidal ensamblado.	133
Figura 87: Esquema dimensional referencial - Transportador Helicoidal ensamblado.	134
Figura 88: Dirección de filtrado y dirección de flujo. (St, 2018).....	137
Figura 89: Esquema geométrico del enmallado. (Rivet, 2018).....	139
Figura 90: Representación 3D - Marco de malla RRL.	140
Figura 91: Representación 3D - Sección de Malla versión Plancha Perforada.....	141
Figura 92: Esquema - rodamientos de cargas combinadas. (SKF, 2015)	142
Figura 93: Esquema de rodamientos - desplazamiento axial. (SKF, 2015).....	143

Figura 94: Esquema - Rodamientos no desmontables. (SKF, 2015).....	143
Figura 95: Vista Isométrica y Lateral de Conjunto - Prototipo Optimizado.....	154
Figura 96: Vista Isométrica Instalación de Prototipo en Receptáculo.....	154
Figura 97: Vista lateral Instalación de Prototipo en Receptáculo.	155
Figura 98: Vista lateral transparente para Instalación de Prototipo en Receptáculo	155
Figura 99: Representación 3D - Modelo alternativo.	157
Figura 100: Representación 3D- Artesa de trasporte y descarga.	159
Figura 101: Representación 3D para la fabricación de Transportador Helicoidal.	160
Figura 102: Representación 3D – Conjunto Prototipo Alternativo.	161
Figura 103: Transparencia 3D – Conjunto Prototipo Alternativo.	161
Figura 104: Fotografía - Prototipo Alternativo Terminado.....	166
Figura 105: Fotografía - Sistema motriz del prototipo.	167
Figura 106: Fotografía - Tolva de recepción perforada.	167
Figura 107: Plano de Fabricación - Prototipo Optimizado.	170
Figura 108: Plano de Fabricación - Carcasa Inferior Base.	171
Figura 109: Plano de Fabricación - Carcasa Inferior Izquierda.	172
Figura 110: Planos de Fabricación - Carcasa Inferior Derecha.....	173
Figura 111: Plano de Fabricación - Modulo Carcasa Media.....	174
Figura 112: Plano de Fabricación - Modulo Superior.	175
Figura 113: Plano de Ensamble - Transportador Helicoidal.	176
Figura 114: Plano de Fabricación - Conjunto Prototipo Alternativo.....	177
Figura 115: Plano de Fabricación - Modulo Inferior.....	178
Figura 116: Plano de Fabricación - Modulo Medio.....	179
Figura 117: Plano de Fabricación - Transportador Helicoidal.	180

1.- Introducción

Habitualmente en la industria vinícola se presentan diversas irregularidades en el transcurso de los procesos productivos, lo que conlleva ineficiencias y pérdidas de recursos. Parte significativa de estos problemas se encuentra en el tratamiento de residuos industriales líquidos, principalmente la introducción involuntaria, accidental o intencional, de sólidos con variadas propiedades y tamaños dentro del canal de vertientes.

El lugar específico donde se pretende dar solución a estas problemáticas es la Viña Siegel, ubicada en Palmilla, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins, Chile. Estas incidencias representan un gasto de horas hombre, recursos y contaminación de áreas destinadas a diversos procesos, traduciéndose en una baja en los índices de productividad por la constante derivación de operadores de planta, que originalmente estaban destinados a labores de producción o mantención de áreas más críticas, para contrarrestar los inconvenientes producidos por derrames u obstrucciones de los canales.

Actualmente la viña intenta contrarrestar este efecto implementando un canasto metálico que funciona como filtro, lo que posteriormente resultará en la extracción manual de los contaminantes a cargo de un trabajador. En algunos casos no se dispone de personal para realizar esta labor, lo que implica retirar el canasto filtrador para evitar que se tape el ducto y se rebalse el caudal. Claramente esto produce inconvenientes para la siguiente etapa del proceso, generando conflicto entre áreas de trabajo.

Considerando estos antecedentes, la viña en conjunto con la compañía ISMA Consultores, busca generar un prototipo de sistema mecánico que sea capaz de retener estos sólidos contaminantes y además pueda extraerlos del receptáculo donde convergen, hacia un depósito de fácil transporte. Debe ser diseñado para operar bajo las condiciones de mínima y máxima producción de la planta, además de satisfacer las limitaciones espaciales del lugar de instalación. Para esto, se solicitan los servicios de la empresa Kraken Spa, un laboratorio de innovación y desarrollo tecnológico que llevará a cabo el diseño del prototipo.

2.- Objetivos

2.1.- Objetivo General

Diseñar un prototipo de separador de sólidos capaz de retener y transportar sólidos contenidos en caudales de residuos industriales líquidos, en el área de la industria vinícola.

2.2.- Objetivos Específicos

1. Determinar de forma certera las limitaciones del entorno o sistema donde se implementa el prototipo.
2. Plantear los cálculos mecánicos correspondientes para satisfacer el resultado esperado, tomando en cuenta el sistema de transporte requerido y sus normas.
3. Proponer un modelo preliminar basado en valores e indicadores concretos del proceso productivo.
4. Establecer un modelo concreto, con factores definidos que involucren parámetros certeros según el tipo de sistema mecánico implementado.
5. Generar modelo 3D en software Autodesk Inventor que cumpla las especificaciones mecánicas requeridas y las necesidades de innovación tecnológica.
6. Crear planos de fabricación normalizados.

3.- Alcance

Este proyecto tiene como finalidad el diseño de un tipo de prototipo, cuyo sistema mecánico sea capaz de separar y transportar sólidos contenidos en caudales de residuos industriales líquidos, específicamente para la industria vinícola.

Para llevar a cabo el desarrollo de forma fiable, se aplica una metodología de trabajo recomendada por fabricantes internacionales certificados en el área de la manufactura y el desarrollo de maquinaria especializada para el transporte y tratamiento de materiales.

En primera instancia, esto conlleva una fase de inspección en terreno con el objetivo de registrar las condiciones de operación requeridas. Seguido de un periodo de investigación y evaluación de posibilidades de sistemas mecánicos aptos para cumplir las funciones solicitadas.

Una vez seleccionados los sistemas, se propone un modelo preliminar de la geometría y parámetros de funcionamiento del prototipo en base a aproximaciones representativas, lo que posteriormente dará paso a un modelo concreto y más fidedigno, considerando parámetros que describen de mejor manera la interacción del sistema mecánico con el entorno y los materiales a procesar.

Finalmente se identifican y cotizan los componentes requeridos para la conformación del sistema, consumibles que pueden obtenerse en el mercado y partes que deben ser diseñadas y fabricadas. Los componentes personalizados son diseñados mediante el software de modelamiento Autodesk Inventor, donde no solo se ejemplifica esquemáticamente la disposición y funcionamiento del prototipo, sino que se generarán también los planos de fabricación requeridos para la posterior confección de este.

4.- Marco de referencia

4.1.- Organismos involucrados en el Proyecto

4.1.1.- Viña Siegel

Esta viña cumple el rol de patrocinante y beneficiaria del proyecto, se ubica específicamente en el Fundo San Elías S/N, Palmilla, Valle de Colchagua, sexta región, Chile. Se describen como: *“Una viña de arraigada tradición familiar y trayectoria, que por generaciones se ha abocado al arte de producir vinos con identidad, reflejados en su lugar de origen, y rescatando el compromiso y trabajo en familia”*. (Siegel, 2019)

Ejemplificando su nivel de producción, el presidente de la compañía declara en su memoria anual de 2016, que las exportaciones alcanzaron los 54 millones de cajas. La empresa relaciona su éxito en gran medida al aporte de I+D que implementan constantemente. Establecen en la memoria anual: *“Todas las investigaciones y proyectos ligados a la innovación y desarrollo del sector vitivinícola han contribuido a las 82 viñas que hoy forman parte del Consorcio. Los tres principales programas: Programa de Mejoramiento de la Calidad del Viñedo, Programa de Transferencia Tecnológica y Programa de Sustentabilidad, han sido un aporte importante para la industria”* (Siegel, 2019)

4.1.2.- Isma consultores

Es una empresa que provee servicios de proyectos ambientales e industriales. Posee alto compromiso con la legislación ambiental y laboral vigente. Asesora y provee diversos servicios a la Viña Siegel, siendo estos los encargados de llevar a cabo el proyecto. Se ubican en Condell 1190, Valparaíso, Piso 10, Valparaíso, Chile.

Ha tenido participación en proyectos de ingeniería ambiental como “Ciudad reciclaje” y “Optimización y control planta de tratamiento de RILES” de Asolam, además de prestar servicios de asesoría y auditoría en el “plan de manejo de residuos peligrosos” de SONAMAR y “Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental, SNIFA” en Viña Siegel.

4.1.3.- Kraken Spa

Kraken es la compañía encargada de llevar a cabo el diseño y desarrollo del prototipo. Con 15 proyectos exitosos realizados en 2 años de operación, se definen como: *“Un laboratorio de servicios de I+D a contratar, donde gracias al capital humano y la experiencia que poseemos somos capaces de completar y potenciar equipos de desarrollo para la realización y apoyo en el desarrollo de proyectos de distinta índole, desde IOT, hasta desarrollo de prototipos para la industria medioambiental”*. (Kraken L. , 2016)

Esta empresa entrega un servicio personalizado, ajustando sus capacidades a los requerimientos de los clientes, dentro de las cuales están el desarrollo de proyectos de innovación y tecnología, diseño e implementación de electrónica, diseño paramétrico y digitalización (Modelación 3D), generación de prototipos funcionales y de alta fidelidad, creación de imagen corporativa (Branding) y asesoría para la postulación de proyectos a fuentes de financiamiento. Su oficina se ubica en Condell 1190, Piso 10, Oficina 05, Valparaíso, Chile. Donde se relaciona con el Co-Work e incubadora de negocios iF Valparaíso 3IE asociado a la Universidad técnica Federico Santa María.

4.1.4.- CORFO

CORFO es el nombre con que se conoce a la Corporación de Fomento. Es la agencia del Gobierno de Chile, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo a cargo de apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país junto con fortalecer el capital humano y las capacidades tecnológicas.

Teniendo como principal objetivo, el de promover una sociedad de más y mejores oportunidades para todos (as) y contribuir al desarrollo económico del país. Teniendo como misión mejorar la competitividad y la diversificación productiva del país, a través del fomento a la inversión, la innovación y el emprendimiento, fortaleciendo, además, el capital humano y las capacidades tecnológicas para alcanzar el desarrollo sostenible y territorialmente equilibrado.

4.2.- Prototipo

La palabra "prototipo" es una palabra compuesta, de origen griego, cuyos componentes léxicos son “protos” (el primero) y “tipos” (tipo, impresión, modelo). Este concepto es de vital importancia, ya que define lo que se espera obtener tras el desarrollo del proyecto. Existen diversas definiciones de este concepto, dependiendo de la fuente en que se investigue.

4.2.1.- Definición Básica (RAE)

Si se recurre a la RAE (Real Academia Española) la definición se limita a:

1. m. Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa. (RAE, 2019)
2. m. Ejemplar más perfecto y modelo de una virtud, vicio o cualidad. (RAE, 2019)

4.2.2.- Definición Manual de Frascati

El manual de Frascati es una guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental, está publicado bajo la responsabilidad de la Secretaría General de la OCDE. Esta guía es utilizada a nivel mundial como un referente para la innovación y desarrollo tecnológico.

En su versión 2015 - Medición de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación - Se define de forma concisa: *“Un prototipo es un modelo original fabricado para mostrar todas las características técnicas y de funcionamiento del nuevo producto.”* Se entregan además reseñas y características habituales que comprenden los prototipos: *“Los prototipos se crean casi por completo a partir de materiales existentes y empleando tecnología existente, y a menudo se construyen para ser usados simultáneamente para I+D y para suministrar el servicio primario al cual se destinan”* (OCDE, 2015)

4.2.3.- Definición Corfo

Tomando en cuenta que CORFO es el organismo fiscalizador y patrocinador económico del proyecto, es relevante tener en cuenta las características consideradas por la institución para la clasificación de prototipos. CORFO postula cuatro definiciones operacionales en su “Glosario de Conceptos Corporativos” para la categorización de prototipos:

4.2.3.1.- Prototipo

Prueba o piloto que se fabrica de un producto, y que sirve de modelo para fabricar o testear otros iguales. Tiene las características técnicas y de funcionamiento del producto final. Existe un ciclo de retroalimentación para evaluarlos si no son satisfactorios.

4.2.3.2.- Prototipo Experimental

Es cuando su comportamiento operacional y funcional fue probado bajo condiciones experimentales o de laboratorio (condiciones controladas).

4.2.3.3.- Prototipo Productivo

Es cuando su comportamiento operacional y funcional fue verificado (o probado bajo condiciones reales en una muestra representativa a escala masiva y la aceptación de sus atributos fue probada por parte de los usuarios.

4.2.3.4.- Prototipo Tecnológico Comercializable

Es cuando su comportamiento operacional y funcional fue verificado (o probado) bajo condiciones reales en una muestra representativa.

En su cuadernillo técnico para la generación de prototipos, se expone además la utilidad de los prototipos:

“Los prototipos se desarrollan en las etapas tempranas de estos proyectos y con una intención estratégica: decidir si es factible y si vale la pena continuar con el proyecto “. “Los prototipos tienen como propósito determinar si esta propuesta de solución se basa en supuestos correctos y cómo podría desarrollarse un modelo de negocios viable a partir de esta”. (CORFO, 2018)

5.- Metodología de trabajo

Durante este capítulo se establece la modalidad de trabajo y los pasos a seguir para asegurar un producto final que cumpla con los parámetros de funcionamiento impuestos, con las necesidades de innovación requeridas y características estéticas solicitadas.

Inicialmente la empresa Kraken cuenta con una programación de trabajo, ideada previamente para la postulación a los fondos CORFO. En esta se asigna la cantidad de tiempo correspondiente al desarrollo de cada etapa y las actividades a realizar.

Tabla 1: Programación Inicial de Empresa Kraken Spa. (Kraken S. , 2017)

Etapa		Tareas	Fecha inicio	Fecha Término	Observación
Investigación		Levantamiento de información	8/03/2018	22/03/2018	Comienzo con visita a Viña, Segunda visita a terreno el 22 de marzo, con cierre de investigación y levantamiento de información jueves 29 de marzo
		"Generación idea"	22/03/2018	29/03/2018	Tener claridad de qué tipo de soluciones plantear
Diseño Conceptual		Planteamiento de tipos de soluciones	29/03/2018	10/04/2018	Termina con la presentación de soluciones, con aproximación de Forma
Diseño de Máquina		Calculo Estructura	10/04/2018	24/04/2018	*Revisar
		Cálculos de materiales	24/04/2018	08/05/2018	*Revisar
		Modelación 3D	08/05/2018	22/05/2018	
		Planos de producción	22/05/2018	05/06/2018	
Producción e Implementación		Comienzo de producción del prototipo funcional	05/06/2018	05/07/2018	
		Instalación y evaluación de funcionamiento	05/07/2018	10/07/2018	*Consultar posibilidad de generar pruebas,
		Marcha Blanca de funcionamiento	10/07/2018	31/07/2018	Analizar funcionamiento del prototipo y solución de problemas en caso de existir

No obstante, se implementa una optimización del plan de trabajo, definiendo de forma más específica las actividades y los resultados esperados de cada etapa.

Cabe destacar que tanto la programación inicial como la propuesta optimizada, tienen estrecha relación con las metodologías recomendadas por CORFO. En el siguiente esquema se aprecia una modalidad propuesta por CORFO, para el desarrollo de los procesos de innovación dentro de un proyecto, enmarcando las etapas generales para la confección de un producto acorde a las exigencias I+D.

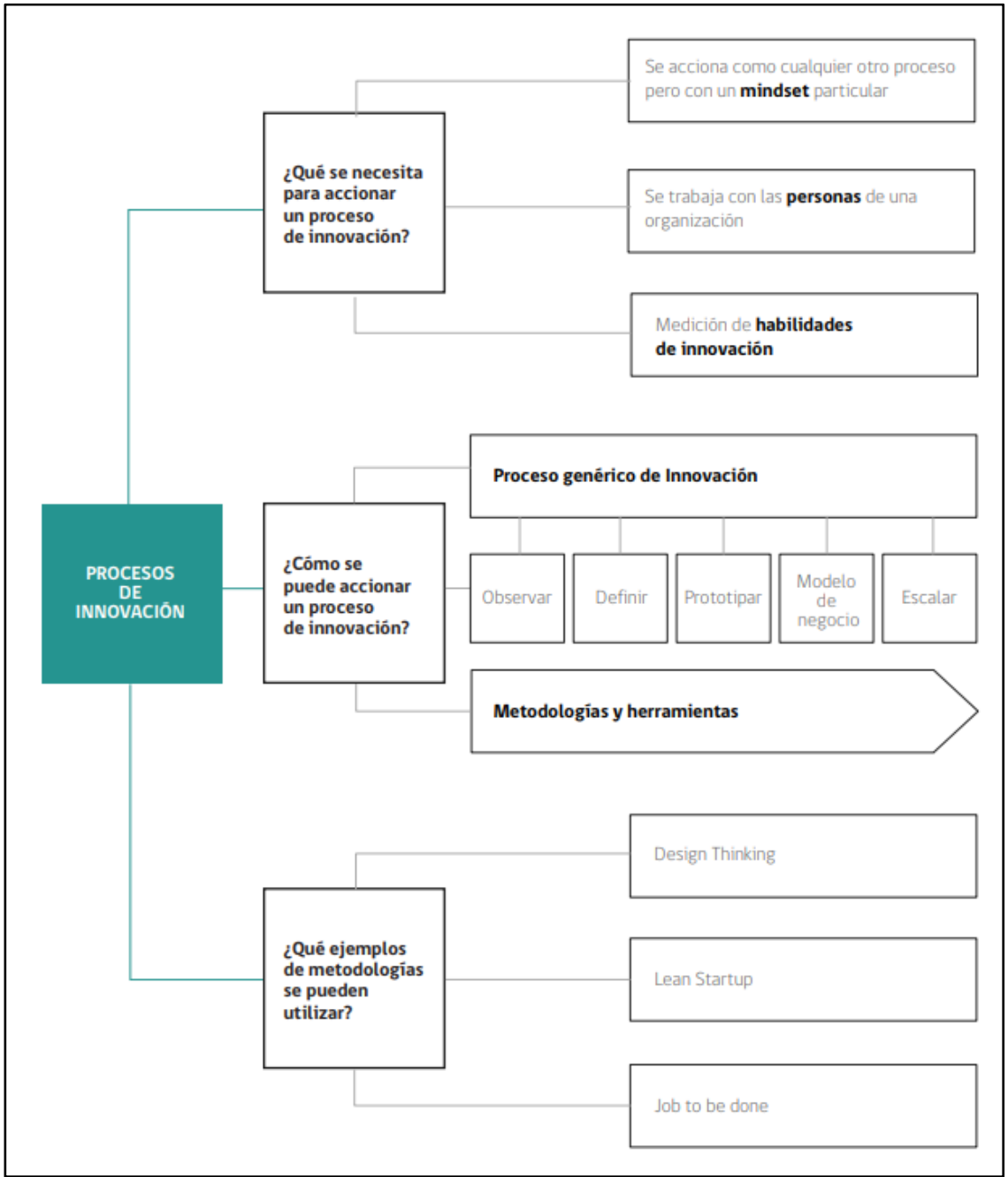


Figura 1: Mapa conceptual CORFO para procesos de innovación. (CORFO, 2018)

También se consideran guías y recomendaciones propuestas por el organismo para la generación de prototipos.

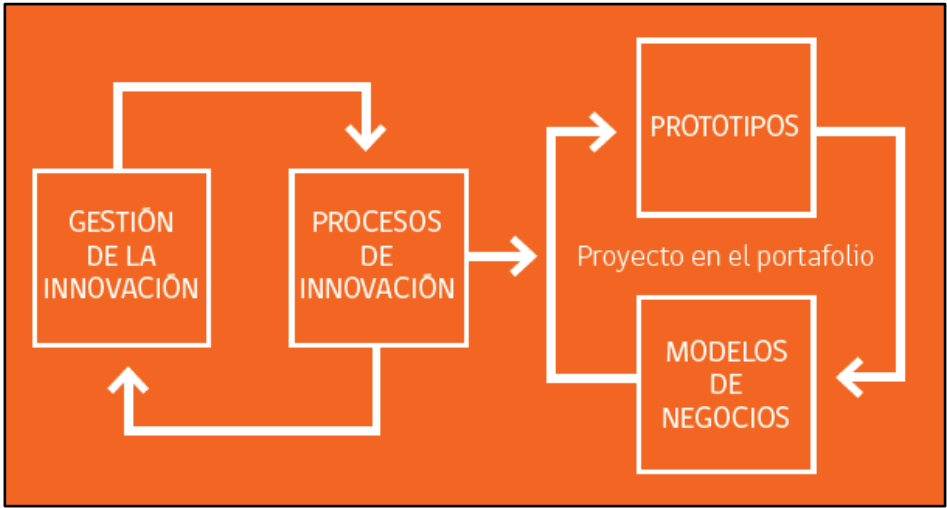


Figura 2: Diagrama CORFO - Generación de prototipos. (CORFO, 2018)

Existen infinidad de metodologías de trabajo en la literatura de diseño de productos, basados en las particularidades de cada incursión, aunque usualmente siguen líneas altamente probadas en el mercado. En este caso, se establecen las actividades en función de los requerimientos de la empresa que solicita el prototipo y se asocian a las recomendaciones de la corporación de fomento.

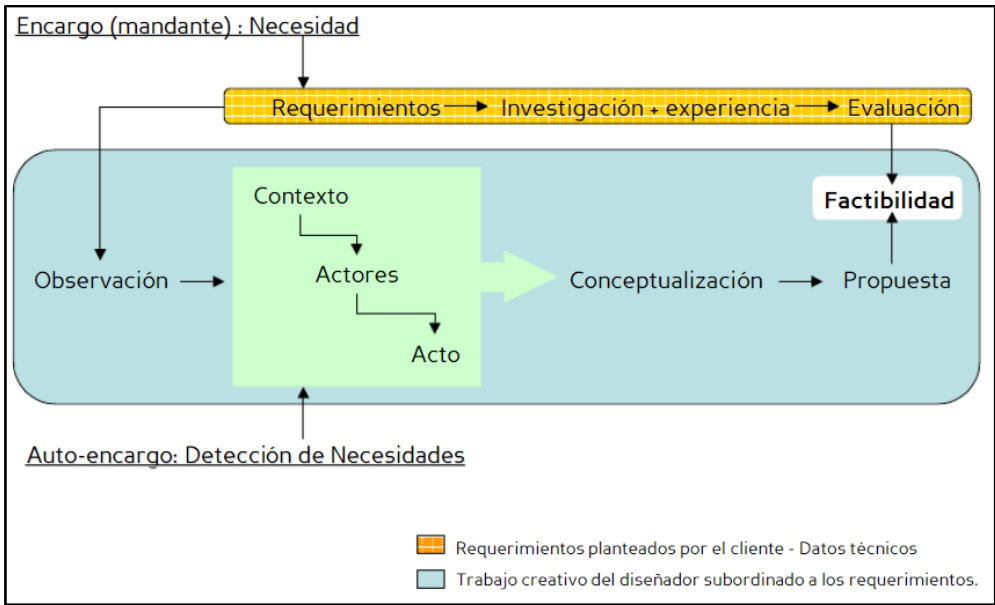


Figura 3: Procesos estándar para el desarrollo de productos. (CORFO, 2018)

La metodología final propuesta, se basa en consideraciones propuestas tanto por fabricantes internacionales certificados en el área de la manufactura y el desarrollo de maquinaria especializada para el transporte y tratamiento de materiales, como la guía para el desarrollo de prototipos basado en los estándares de CORFO, considerando, además, las fuentes de diseño en la literatura del diseño de productos. Cada etapa está constituida a su vez en fases de desarrollo e informativas que aseguran el objetivo general de dicha etapa y explican las decisiones a tomar.

5.1.- Identificación

Se identifican los parámetros, características y requerimientos para el desarrollo del proyecto.

1. Contexto
2. Descripción específica de la problemática
3. Resultados comerciales esperados
4. Registros y Mediciones
5. Datos de la Producción
6. Requisitos del proyecto

5.2.- Investigación

Se establece un periodo de investigación aplicada para la recopilación de datos que permita el desarrollo de un sistema mecánico capaz de cumplir los requerimientos propuestos.

1. Métodos de separación de fases
2. Sistemas de separación Solido-Líquido
3. Mecánicas de Filtración
4. Equipos de Filtración
5. Resolución de sistema mecánico
6. Transporte Helicoidal - Tornillo sin fin

5.3.- Diseño preliminar – Parámetros Base

Considerando la amplia información disponible, se incurre en un proceso de diseño preliminar. Se utilizan aproximaciones y supuestos utilizados en diversas fuentes literarias para realizar cálculos de operación básicos y determinar factores fundamentales para el funcionamiento del prototipo.

1. Selección tipo de hélice y “Paso”.
2. Clasificación de material.
3. Velocidad de giro.
4. Diámetro de tornillo.
5. Área de relleno del canalón.
6. Velocidad de desplazamiento del transportador.
7. Flujo másico de material procesable.
8. Parámetros de modelamiento preliminar.

5.4.- Modelación de diseño Preliminar

Tras determinar los parámetros operativos y dimensionales básicos del sistema, se propone una aproximación de forma, que posteriormente se somete a juicio y aprobación del equipo de trabajo. Las piezas se modelan de forma simplificada y estimada, constituyendo módulos.

1. Módulo Inferior – Carcasa.
2. Módulo Central – Tornillo.
3. Módulo Central – Malla.
4. Módulo Central – Carcasa.
5. Módulo Superior – Boca de salida.

5.5.- Diseño Optimizado - Transportador Helicoidal

Establecido el modelo de sistema mecánico que se implementara, se involucran nuevos parámetros y variables al modelo, generando así un sistema que satisfaga las exigencias reales de la industria, incluso en los periodos de mayor exigencia, tomando en cuenta las propiedades reales calculadas del material y aplicando una metodología de cálculo mecánico basada en la literatura y recomendaciones de fabricantes internacionales certificados en el área de la manufactura y el desarrollo de maquinaria especializada para el transporte y tratamiento de materiales.

1. Procedimiento de Diseño.
2. Factores Conocidos.
3. Clasificación de Material.
4. Capacidad del Transportador.
5. Velocidad de Giro del Transportador.
6. Diámetro del Transportador.
7. Limitación en Tamaño de Partículas.
8. Cálculo de Potencia Total.
9. Serie de Componentes.
10. Capacidad Torsional de los Componentes.
11. Capacidad de Potencia de los Componentes.
12. Deflexión del Transportador.
13. Empuje en Transportador Helicoidal.
14. Expansión Térmica en Transportadores Helicoidales.

5.6.- Diseño y Modelado de Componentes

En este capítulo se analizan las dimensiones y los componentes necesarios para la fabricación del prototipo.

1. Dimensionamiento del Transportador.
2. Empaquetadura.
3. Dimensionamiento de Malla.
4. Rodamientos.
5. Dimensionamiento de Carcasa.
6. Ensamble Final de Prototipo Optimizado.

5.7.- Modelo Alternativo - Económico

Este modelo es creado a petición de las empresas que patrocinan y dirigen el proyecto. Tras la evaluación económica del diseño optimizado, se establece que el costo de fabricación propuesto en diversas cotizaciones excede los presupuestos manejados por las compañías, por tanto, se modifican ciertos aspectos del prototipo, enfatizando su sencillez y eficacia a la hora de realizar el objetivo principal.

Las secciones anteriormente señaladas, representan los capítulos de desarrollo del documento, no obstante, parte importante del proceso de desarrollo que no se establece dentro de los capítulos, es la creación de planos de fabricación. Esto se debe a que, como fase, no involucra mayores actividades ni particularidades destacables, sin embargo, tanto el Capítulo “5.6.- Diseño y Modelado de Componentes”, como el Capítulo “5.7.- Modelo Alternativo – Económico”, poseen una sección ilustrando su respectivos plano de conjunto.

5.8.- Planos de Fabricación - Modelo Optimizado

Tras el modelado de componentes, se incurre en la generación de planos de fabricación con los que se cotizara la construcción del prototipo en la industria metalmecánica. Este es parte del Capítulo 5.6 y se exponen planos de conjunto y sub ensambles, no obstante, para detalles dimensionales sobre los componentes individuales del sistema, se puede recurrir a los anexos.

5.9.- Planos de Fabricación – Modelo Alternativo

Tal como el modelo optimizado, este capítulo expone de forma breve, los planos de fabricación tanto del conjunto completo, como de los sub ensambles, para así contemplar con cierto nivel de detalle, las características y dimensiones.

6.- Fases de Desarrollo

6.1.- Identificación

En esta fase, se contemplan aspectos descriptivos del proyecto, como el contexto que lo origina, la problemática implicada y los objetivos comerciales esperados. Se describen las mediciones y registros efectuados en terreno, incluyendo datos productivos entregados por la empresa. Se identifican los parámetros físicos, climatológicos y los factores externos más relevantes que puedan condicionar el funcionamiento del prototipo. Finalmente, se analizan los requerimientos del proyecto de forma más detallada, destacando que gran parte de la información registrada, pertenece a citas textuales de los documentos oficiales postulados por las empresas, con el fin de reflejar las explícitas y específicas aspiraciones de los patrocinantes.

6.1.1.- Contexto

El proyecto tiene sus orígenes dentro de la empresa Isma Consultores, en la búsqueda de un sistema mecánico capaz de optimizar los procesos productivos de la industria vinícola, específicamente el tratamiento de residuos industriales líquidos. El proyecto se patrocina en gran medida gracias a capital CORFO.

En vista de esta necesidad, se le encomienda a la compañía Kraken S.P.A. el diseño y desarrollo de un prototipo de separador de sólidos con características de I+D para la retención y extracción de contaminantes en el tratamiento de residuos industriales líquidos. Kraken lidera y establece la programación de las actividades para el desarrollo del proyecto, debido a sus características de innovación y desarrollo tecnológico. En el documento escrito donde ambas partes acuerdan los detalles del proyecto, se establece el objetivo general del proyecto:

“Diseñar y desarrollar un prototipo funcional que permita poner en el mercado un producto compacto, adaptable y por, sobre todo, atractivo para la solución de los problemas generados por los sólidos abundantes en los residuos líquidos industriales provenientes de la producción de vino, mejorando el funcionamiento y operación de las instalaciones de producción.” (Kraken, 2017)

6.1.2.- Descripción Específica de la Problemática

Para este caso se opta por citar textualmente la problemática desde el documento escrito que conjuntamente han establecido las empresas ISMA Consultores y Kraken S.P.A. en la postulación a los fondos CORFO, ya que es la declaración formal en la que se basa el desarrollo del proyecto:

“Actualmente una de las deficiencias que poseen las empresas vitivinícolas, radica en sus sistemas de tratamiento. Estos se ven afectados principalmente por la generación de orujo (Hollejo de la uva, después de exprimida y sacada toda la sustancia.), lo que, sumado a algunos desechos inorgánicos ajenos al proceso productivo, produce obstrucción en las canaletas, rejillas y tuberías. Este problema se acrecienta durante los meses de vendimia (recolección o cosecha de las uvas, generalmente refiriéndose a las que servirán a la producción de vino o licor), ya que la generación de residuos aumenta, ocasionando derrames, obstrucción de tuberías, problemas de olores molestos y contaminación de suelos al interior de la viña. Otros problemas ocasionados corresponden a la quema de equipos como bombas instaladas en las plantas de tratamiento generando gastos adicionales en los procesos productivos.

Actualmente las empresas vitivinícolas no cuentan con trabajadores u operarios para desempeñar la función de limpieza de tuberías y canaletas, ya que no se sabe en qué lugar se producirá el atascamiento.” (Kraken, 2017)

A continuación, se exponen evidencias graficas del problema en los receptáculos primarios.



Figura 4: Fotografía receptáculo primario y secundario.

6.1.3.- Resultados comerciales esperados

Según el postulado oficial:

“El producto final que se espera obtener pretende llegar a toda la industria vitivinícola nacional y extranjera. Este genera una solución aplicada en el origen del problema y es capaz de reemplazar equipos que alcanzan la misma eficiencia en el filtrado, pero no son capaces de adaptarse a los lugares previos donde se genera el problema principal.

La innovación del producto apunta a un equipo capaz de realizar el filtrado del residuo industrial líquido previo a su envío a una planta de tratamiento de aguas y posee la capacidad de adaptarse a las diversas geometrías de las canaletas y/o ductos que las diferentes plantas productoras de vino, esperando obtener un diseño paramétrico que pueda adaptarse fácilmente a las necesidades de instalación y operación.

Con la operación del equipo en planta se reducirá la mano de obra destinada por las plantas procesadoras para la limpieza de canastos, rejillas y destape de ductos. El equipo solucionará eficazmente los problemas de obstrucción de canaletas y ductos que generan tiempos muertos en la producción, además reducirá el riesgo de rebalses que pueden terminar en derrames de residuos líquidos, que son sancionados duramente por las autoridades ambientales y de salud.

Se espera un diseño compacto, basado en componentes mecánicos livianos y de fácil mantención e instalación. Solo bastará con energía eléctrica para su funcionamiento, no necesitará de un manejador experto, más bien solo un operador que accione su funcionamiento al comienzo y término de los procesos que generan residuos líquidos. Una vez validado el producto será adaptado a procesos similares que posean dificultades de operación en el transporte de residuos industriales líquidos con alta carga de sólidos en su origen.” (Kraken, 2017)

6.1.4.- Registros y mediciones

Tras establecer los requisitos y resultados esperados, la primera acción a realizar es medir e identificar en terreno el lugar donde se espera instalar el sistema mecánico, con el fin de establecer los factores que influyen en el prototipo. La evaluación no se limita solo al sitio donde se desea instalar el equipo, es necesario identificar las fases previas y posteriores, para contemplar un panorama más completo y con mejores consideraciones a la hora de detallar ciertas funciones.

El lugar designado es la Viña Siegel, situada en el valle de Colchagua, Palmilla, sexta region de Chile.



Figura 5: Ubicación Viña Siegel. (Siegel, 2019)

Para identificar los factores que influyen en la problemática, es necesario generar una idea del tipo de material con el que tratara el sistema mecánico. En general estas primeras etapas del proceso productivo involucran cubas y alambiques de uva. A continuación, se presentan ilustraciones que ejemplifican de mejor manera el contexto directo del proceso productivo.



Figura 6: Fotografía - canales de RIL en zona de cubas de producto.



Figura 7: Fotografía - canales de RIL en zona de alambiques de producto.



Figura 8: Fotografía - canales RIL zonas adyacentes.

A partir de estas imágenes, se puede apreciar el tipo de exposición al que se enfrentan los canales de residuos líquidos, lo que permite intuir el tipo de contaminantes que pueden ingresar al sistema mecánico y la facilidad con que diversos elementos pueden intervenir el proceso. De estas cubas se extrae una muestra del material que compone la mayor parte de los sólidos contenidos en el flujo. Posee ramas, hojas, hollejo de uva, semillas y diversos materiales biológicos derivados del proceso del vino. Su aspecto y densidad es similar a un lodo húmedo entintado.



Figura 9: Fotografía - Muestra N°1 de material principal a tratar.



Figura 10: Fotografía - Muestra N°2 de material principal a tratar.

Una vez en conocimiento del contexto previo al contacto con el prototipo, se evalúa el entorno específico en el que debe operar el sistema. Se analiza un receptor semi cúbico, colector estándar de residuos líquido-sólidos (Filtro primario), cuyas dimensiones aproximadas son 0,6[m] x 0,6[m] de área transversal y 0.5[m] de profundidad. El diámetro de los ductos de entrada y salida es 0,2[m] y se ubican a una profundidad aproximada de 0,3[m].



Figura 11: Fotografía - Vista isométrica derecha del receptáculo filtrador primario.



Figura 12: Fotografía - Vista isométrica izquierda del receptáculo filtrador primario.

Al evaluar las condiciones de operación actual, se comprueban empíricamente las consecuencias del problema. Queda una visión más clara del tipo de contaminantes que ingresa al ducto y los inconvenientes que producen. Además, se identifica el entorno físico directo alrededor del receptáculo para verificar los espacios utilizables, el tipo de anclaje a utilizar, la forma de remoción del material extraído y los riesgos para el funcionamiento del prototipo. Durante este análisis, se acuerdan algunos parámetros condicionantes para hacer el prototipo adaptable a los recursos y operaciones de la fábrica:

- a) El punto de salida de los sólidos expulsados por el sistema mecánico, debe estar sobre 1[m] por sobre el nivel del receptor (nivel del suelo), esto le facilita a la empresa la implementación de recipientes estándar de aproximadamente 1[m³] para la remoción de material.
- b) Se espera implementar un sistema que sea capaz de compactar y estrujar el material antes de salir del prototipo, dentro de las posibilidades económicas del proyecto, con el fin de extraerlo con el menor contenido de líquido posible. Esto puede propiciar la futura utilización del material en otras actividades y además sirve para aumentar la cantidad de masa que los recipientes pueden albergar, reduciendo así los costos de operación que implica el transporte del material cuando se llena el contenedor.
- c) El prototipo debe estar adaptado a condiciones climáticas extremas y variables para soportar estar a la intemperie durante días abrumadoramente soleados y calurosos, así como días y noches sumamente frías y húmedas, además de resistir lluvias y vientos fuertes.
- d) Debido a la naturaleza de los riles, de su pH y las prácticas habituales de la fábrica, se vierte en el flujo constantemente hidróxido de sodio (soda caustica) y ácido sulfúrico. El material del prototipo que entre en contacto con el flujo debe resistir estos ataques químicos fuertes.

Posteriormente se inspeccionan los filtros y receptáculos que le suceden, para nuevamente comprobar las problemáticas consecuencias de los ineficientes sistemas artesanales de filtrado y la aglomeración de material no deseado. Son justamente estos desenlaces los que conllevan gastos significativos para la viña.



Figura 13: Fotografía - Condiciones habituales del receptáculo secundario.



Figura 14: Fotografía - Pozos de recepción para filtrado.



Figura 15: Fotografía - Pozos filtradores de tercer orden.

Pese a este sin número de receptores y pozos, la viña cuenta con un filtro parabólico justo antes del depósito final, el cual termina de filtrar los últimos vestigios de los contaminantes, tales como pepas, orujos y partículas pequeñas. Debido a esto, se establece que el prototipo no necesariamente debe filtrar todas las partículas, basta con los contaminantes de volúmenes más grandes.



Figura 16: Fotografía - Estación de filtro parabólico.

Finalmente, tras todos estos sistemas de filtrado, el líquido llega a las piscinas de tratamiento final.



Figura 17: Fotografía - Piscinas de recepción final para RIL.

6.1.5.- Datos de la producción

Como información complementaria, la empresa entrega datos del proceso productivo extraídas de la declaración de impacto ambiental presentada por Siegel, junto con indicadores y cifras necesarias para calcular las características mecánicas del sistema. Es de vital importancia contar con esta información, puesto que el mecanismo debe ser diseñado para operar con holgura en las situaciones de mayor exigencia, así como bajar la intensidad en momentos de flujos débiles. Para contemplar el proceso, se cuenta con algunos diagramas de flujo proporcionados por la viña:

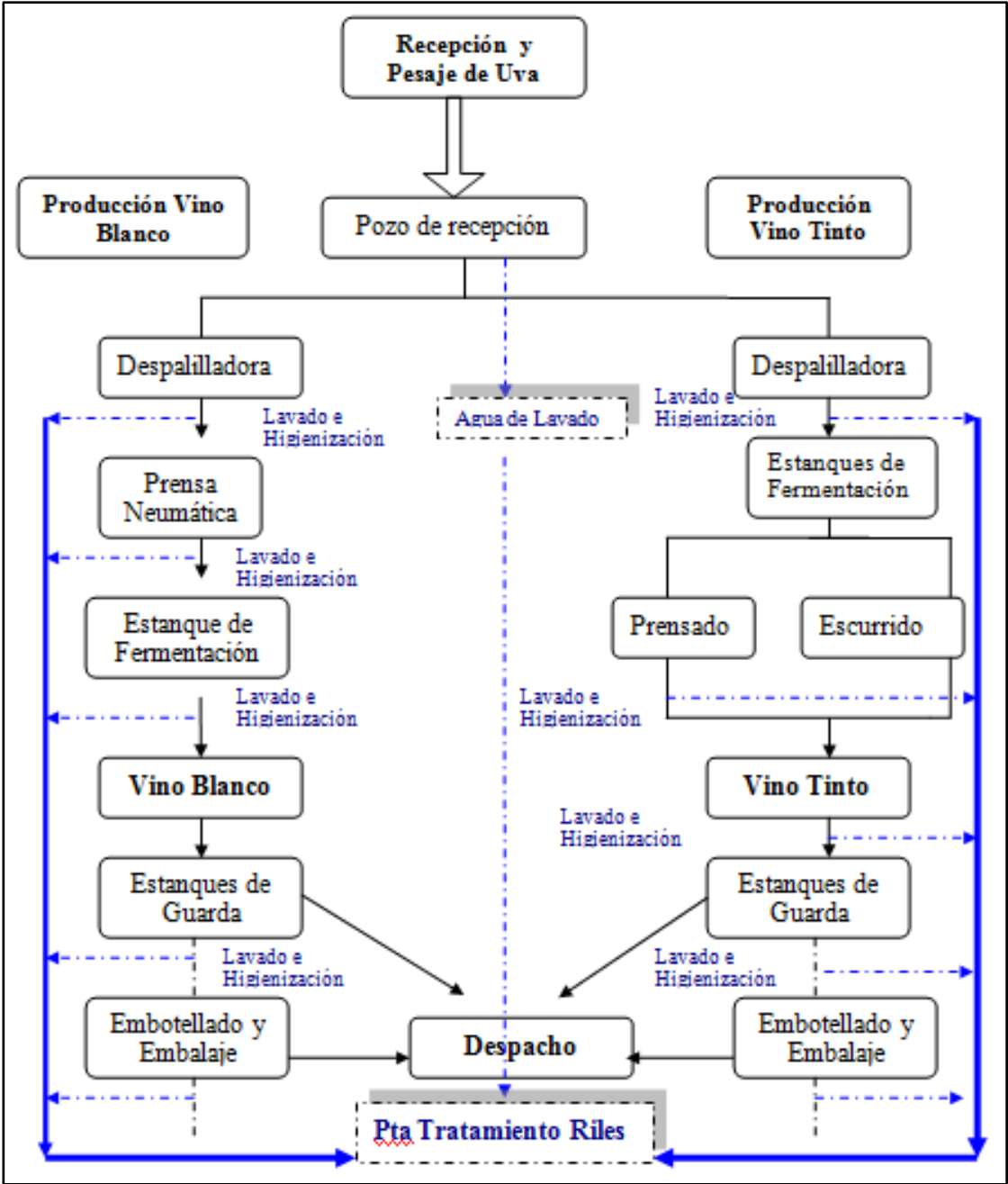


Figura 18: Diagrama - Zonas de generación de RILES en el proceso industrial.

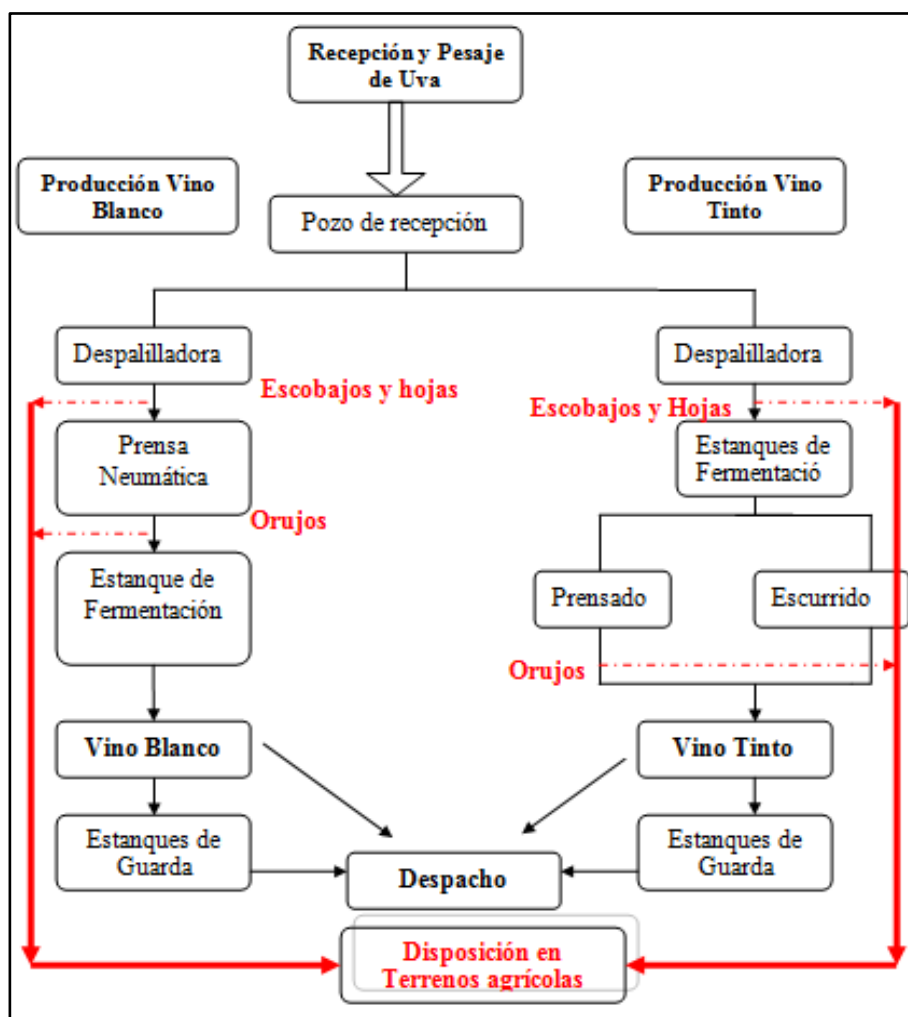


Figura 19: Diagrama - Generación de RIS en el proceso productivo.

Datos a considerar (extraído de la Declaración de impacto ambiental de la empresa Siegel):

1. El periodo de Vendimia se da entre febrero y mayo, aproximadamente 60 días
2. El periodo de pre y post vendimia 203 días
3. La relación de producción y RILES en litros es de 2:1
4. La producción anual de RILES es de 32.380 [m³/año]
5. La producción de RILES en periodo de pre y post vendimia es de 20 [m³/día]
6. Concentración de sólidos suspendidos totales 500-600 mg/L
7. Lavado de maquinaria y equipos: el proceso de lavado se realiza cada vez que se realice algún trabajo y se esté en contacto con mosto (jugo de uva) o vino, esto incluye cualquier tipo de maquinaria o manguera. El primer lavado con soda cáustica al 1%, enjuague con abundante agua, segundo lavado con ácido cítrico al 1%, enjuague con abundante agua. (Carga de sólidos suspendidos totales: 13-15 kg/día.

6.1.6.- Requisitos del proyecto

En el documento escrito formulado por ambas partes, se establecen de forma general los requisitos que debe satisfacer el prototipo:

“Se espera un equipo compacto, con diseño modular, de fácil instalación, soporte y apoyos simples, extremadamente versátil para adaptarse a cualquier área, necesitando una mínima superficie para realizar la operación de retiro continuo de orujo y otros residuos sólidos, teniendo la posibilidad de trabajar en diferentes ángulos.”

No obstante, tras acuerdos verbales entre las empresas, se especifican dichos requerimientos y lo que se espera obtener, planteando todas las cualidades deseables y tratando de abarcar la mayor cantidad de características favorables. Para eso se clasifican en necesidades de primer orden y de segundo orden, con el fin de implementar primero lo fundamental y agregar características manteniendo el balance económico.

Características de primer orden

1. Separar material sólido del líquido.
2. Retener y extraer sólidos contenidos en el flujo.
3. Equipo Compacto.
4. Adaptativo a las posibles geometrías en lugares de instalación.
5. Funcionamiento automático (dependencia de la corriente eléctrica).
6. Fácil operación.
7. Debe ser reproducible.
8. Debe ser sustentable y sostenible.
9. Resistencia a condiciones climáticas extremas.
10. Resistencia a los ataques químicos.

Características de segundo orden

11. Diseño modular (secciones de ensamble de fácil armado).
12. Prensar o compactar el material antes de expulsarlo.
13. Sistema de soportes simples y regulables.
14. Atractivo visual y funcionalmente.
15. Fácil de instalar

6.2.- Investigación

Al poseer una concepción específica del contexto del proyecto y la información sobre lo que se espera, se incurre en una fase prolongada de investigación, tomando en cuenta que las características más importantes del prototipo son su capacidad separar sólidos y líquidos, transportar el material separado y ser versátil a la hora de la instalación.

Se inicia recopilando la información necesaria para desarrollar estas capacidades, principalmente identificando los métodos de separación de fases existentes, considerando claro, la geometría del lugar de instalación y el tipo de operación que deberá realizar el sistema mecánico. Luego se establecen los tipos de sistemas de separación basados en los métodos seleccionados, para continuar con las mecánicas de operación del tipo de sistema elegido.

También se analizan las diversas posibilidades de equipos y sistemas mecánicos capaces de cumplir los objetivos propuestos, basados en las condiciones de operación y el tipo de fuerzas disponibles, contemplando las ventajas y desventajas de cada uno.

Finalmente se propone una resolución en cuanto a la selección del sistema mecánico deseado para el prototipo, utilizando conocimientos adquiridos, información de la literatura, recomendaciones de profesionales del área mecánica, pero más predominante aún, criterios de evaluación económica y funcional de los ejecutivos a cargo del proyecto, manteniendo así los parámetros financieros y operacionales.

6.2.1.- Métodos de separación de fases

El tipo de método a utilizar se define de acuerdo a los tipos de componentes de la mezcla y a sus propiedades particulares, así como las diferencias más importantes entre las fases.

La separación es la operación en la que una mezcla se somete a algún tratamiento que la divide en al menos dos sustancias diferentes. En el proceso de separación, las sustancias conservan su identidad sin cambio alguno en sus propiedades químicas. Existen principalmente dos tipos de métodos para la separación de mezclas que abarcan las diversas combinaciones de cualidades. (UNAM, 2019)

6.2.1.1.- Métodos de separación por difusión

Este grupo de operaciones para la separación de los componentes de mezclas, que se basan en la transferencia de material desde una fase homogénea a otra, utilizan diferencias de presión de vapor o de solubilidad. La fuerza impulsora de la transferencia es una diferencia o gradiente de concentración, de la misma forma que una diferencia o un gradiente de temperatura, constituye la fuerza impulsora de la transferencia de calor. (UNAM, 2019)

6.2.1.2.- Métodos de separación mecánicos

La separación mecánica se puede aplicar a mezclas heterogéneas. Las técnicas se basan en diferencias físicas entre las partículas, tales como el tamaño, la forma o la densidad. Se aplican para separar líquidos de líquidos, sólidos de gases, líquidos de gases, sólidos de sólidos y sólidos de líquidos. Dentro de los cuales se encuentran:

- a) Filtración
- b) Tamizado
- c) Procesos de sedimentación por gravedad

(UNAM, 2019)

6.2.2.- Sistemas de separación Sólido-líquido

Considerando los métodos planteados, se exponen los tipos de sistemas de separación solido-liquido utilizados a nivel industrial, para encontrar un común denominador en la selección.

En este tipo de procesos de separación, el componente líquido siempre se encuentra en fase continua mientras que el componente sólido puede estar en forma dispersa o continua. En este caso analizamos los sistemas basados en una fase continua líquida y una fase dispersa sólida.

Tabla 2: Mezcla de fases - métodos de separación. (Yactayo, 2010)

	Fase continua		
Fase dispersa	Sólido	Líquido	Gas
Sólido		Sedimentación	Sedimentación
		Clarificación	Eliminación de polvo
		Filtración	Filtración
		Centrifugación	Molienda
		Clasificación	Clasificación
		Molienda	
		Flotación	
Líquido	Cromatografía	Sedimentación Centrifugación	Sedimentación
Gas	Desgasificación	Flotación	Cromatografía de gases

Mantener un proceso de separación sólido-líquido eficiente requiere considerar el conjunto de estas operaciones. La economía de la separación sólido-líquido en una secuencia de etapas con diferentes procesos depende, además de los aspectos individuales de cada etapa, en encontrar los puntos óptimos de transición entre una etapa y la otra.

La separación de sólido y líquidos de una mezcla se puede realizar mediante métodos mecánicos y térmicos. Las operaciones térmicas de secado y vaporización pueden separar totalmente la mezcla de sólidos y líquidos, cosa que no logra ninguna de las operaciones mecánicas. Sin embargo, las operaciones térmicas raramente se utilizan por sí solas en empresas debido a su alto consumo de energía. Cuando se utilizan, van precedidas de operaciones mecánicas y las complementan para disminuir la humedad residual de la fase sólida.

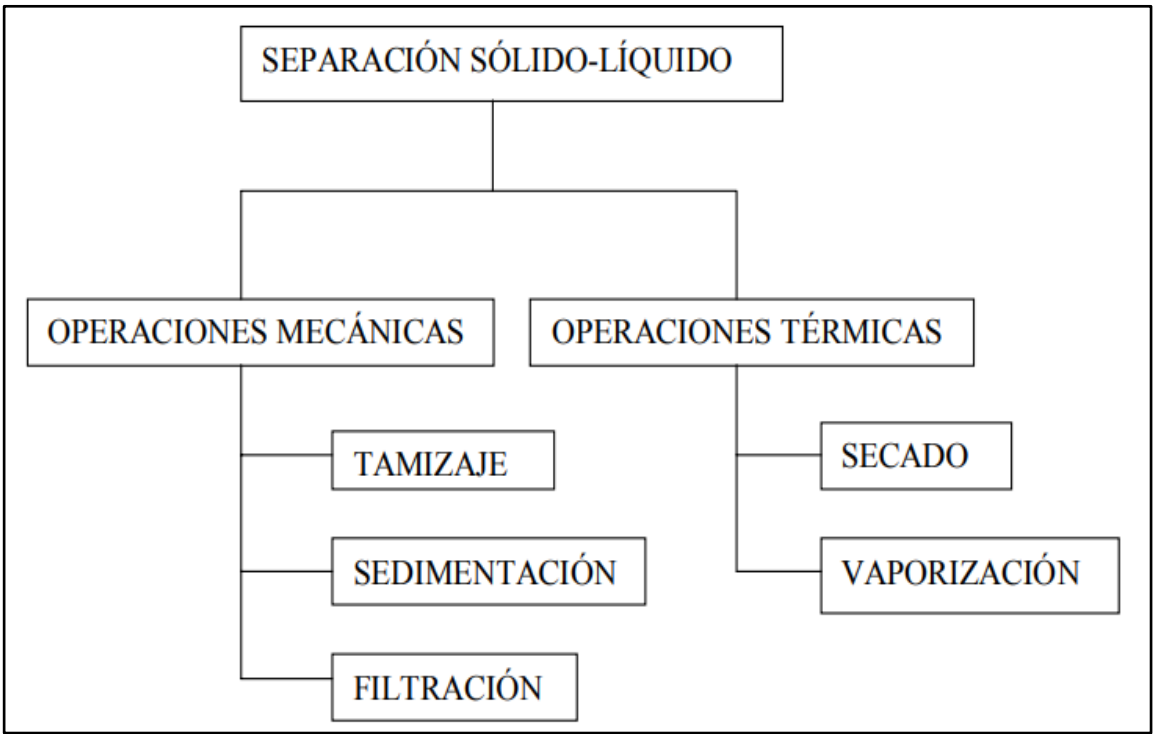


Figura 20: Esquema de operaciones mecánicas y térmicas - Separación sólido-líquido.

De acuerdo a la información manejada, se establece que la separación sólido-líquido será a través de operaciones mecánicas, debido a las expectativas del prototipo, tanto en su funcionamiento como en costos.

Se contemplan tres sistemas principalmente, que reúnen las características necesarias para las operaciones: Sedimentación por gravedad, separación por tamizado y separación por filtración.

6.2.2.1.- Procesos de sedimentación por gravedad

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re-suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

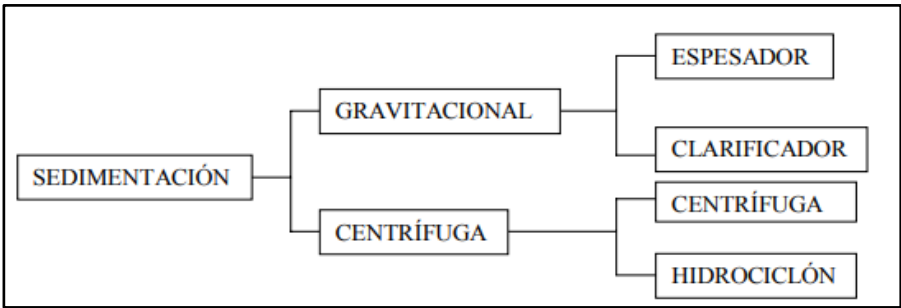


Figura 21: Esquema de fuerzas que originan la sedimentación y equipos asociados

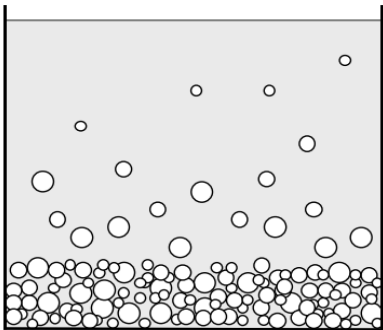


Figura 22: Dibujo - Representación de sedimentación. (Yactayo, 2010)

6.2.2.2.- Sistemas de separación por Tamizado

El tamizado consiste en la separación de una masa de partículas en dos o más fracciones tal que cada una de ellas sea más uniforme en tamaño que la masa original. Es una operación unitaria de tipo mecánico cuyo fin es separar o clasificar, lo cual se logra usando una superficie perforada uniformemente, el tamiz, que actúa como clasificador de partículas en función de su tamaño y de su forma geométrica.

Idealmente las partículas que son más grandes que las aberturas son retenidas sobre la superficie, a esta fracción se le denomina Rechazo, mientras que las más pequeñas pasan por el clasificador siendo esta fracción el Cernido.

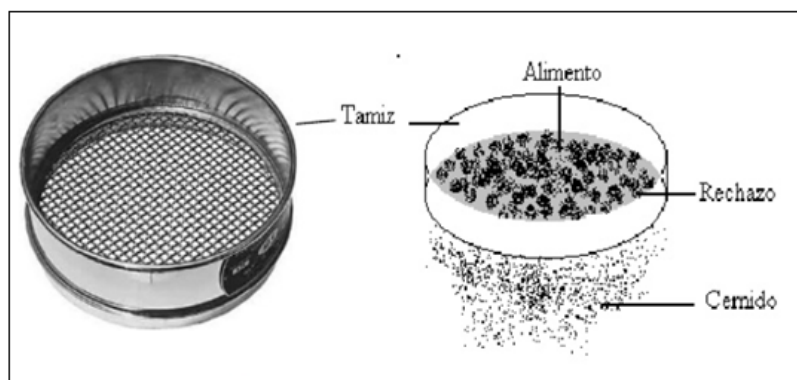


Figura 23: Representación gráfica de tamiz y esquema de tamizado.

El tamizado puede realizarse en seco (material en polvo) o puede realizarse de forma húmeda, el cual se lleva a cabo con adición de agua u otro fluido (solventes, esmaltes, etc.). Los tamices industriales pueden estar constituidos por barras paralelamente dispuestas formando un plano sobre el que se desliza el material a tamizar, por chapas agujereadas, o por tejidos. El material de que pueden confeccionarse los hilos es muy variado: metales de muchas clases, seda, nylon, crin, etc., según las características del producto que se tamiza. Así, para productos con cantos muy vivos y de gran dureza se emplean hilos de acero al manganeso; para productos húmedos, finos y corrosivos, se usan hilos de bronce fosforoso, de aceros austeníticos o de vidrio. Las mallas cuadradas se aconsejan para tamizar productos de grano plano -escamas- o alargado. Las mallas alargadas-rectangulares, trapezoidales, etc. se suelen emplear para tamizar formas cúbicas; constituyen los tamices de mayor superficie útil. (Yactayo, 2010)

Hay ciertas causas que determinan la imposibilidad de una separación neta de tamaños por el tamizado, quedando retenida una parte de los finos con los granos gruesos que constituyen el rechazo del tamiz, y pasando también una cierta cantidad de gruesos a formar parte del producto fino o cernido. Esto último se debe, casi siempre, a irregularidades de la superficie tamizadora, bien porque el tejido esté mal construido, o porque se sitúen entre las mallas algunas partículas de forma irregular y de tamaño muy próximo al de la luz de la malla, y que por la presión y rozamiento de las que se mueven por encima de ellas originen corrimiento de los hilos que dilatan las mallas y, por tanto, aumentan la luz.

Pero lo más frecuente es que sean los finos los que no pasen totalmente y contaminen el rechazo del tamiz. Las causas principales de esto son:

- a) Si el producto está húmedo, se aglomeran los finos y se comportan como gruesos, por lo que no pasan el tamiz.
- b) El frotamiento electriza a las partículas pulverulentas y provoca también su adherencia.
- c) La gran energía superficial de los polvos muy finos es origen también de una mayor adherencia, por la que quedan unidos a los granos gruesos formando parte, indebidamente, del rechazo.

Para eliminar estas acciones de adherencia se emplea en ciertos casos un chorro de agua (tamizado por vía húmeda). Otras causas secundarias que afectan el proceso son:

- d) Falta de tiempo necesario para que todas las partículas hayan tenido la posibilidad de encontrar la malla por la que pueden pasar y que hayan pasado.
- e) Cuando la parrilla es inclinada. Tales cribas no ofrecen a las partículas la dimensión real de sus aberturas, sino la proyección horizontal de éstas que, indudablemente, es menor.

(Yactayo, 2010)

6.2.2.3.- Sistemas de separación por Filtración

Estos sistemas se basan en la separación de partículas sólidas o semisólidas que se encuentran suspendidas en un fluido. Este flujo pasa a través de un medio poroso, fibroso o granular, llamado medio filtrante, a través de una fuerza impulsora en un período de tiempo determinado. Tiene por objetivo la clarificación de líquidos, recuperación de sólidos y líquidos o facilitar otras operaciones como secado y lavado de materiales.

En principio, podría considerarse que el material filtrante actúa como un tamiz, reteniendo entre sus mallas a las partículas del precipitado. Sin embargo, en general, esta concepción es errónea, pues es posible obtener filtrados completamente limpios empleando medios filtrantes cuya luz de mallas sea mayor que el diámetro de las partículas del precipitado. Es más, en muchas filtraciones industriales ocurre efectivamente así.

Al igual que el tamizado, en la filtración los poros del material filtrante resultan también parcialmente bloqueados por el precipitado y, pasados los primeros instantes, ya no es el medio filtrante el que determina las posibilidades de separación, sino el propio precipitado; se forma una torta a cuyo través ha de pasar el filtrado, siendo necesario para ello vencer una cierta resistencia mediante el empleo de presiones apropiadas.

La correcta elección del material filtrante es condición precisa para obtener una buena filtración. El estado físico del material filtrante y estado superficial determinarán la mayor o menor adherencia del precipitado y, con ello, la posibilidad de efectuar una filtración con medios más o menos permeables. El medio filtrante debe retener el precipitado, pero sin que la deposición de este sobre él o en el interior de sus poros cierre el paso al líquido.

Además, los materiales deben presentar:

1. Poca resistencia al flujo.
2. Gran resistencia química frente a los productos que han de filtrarse.
3. Suficiente resistencia mecánica para soportar la presión de trabajo.
4. Buena resistencia al desgaste.
5. Superficie lo más lisa posible para poder separar de ella el precipitado sin pérdidas.

(Yactayo, 2010)

6.2.3.- Mecánicas de Filtración

Tras una evaluación efectuada por ambas empresas y considerando la idea preconcebida en su planteamiento del sistema operativo, se decide utilizar atributos de sistemas combinados entre filtración y tamizado, por sus características físicas de operación. En la filtración deben identificarse tres factores primordiales para el diseño del proceso:

1) Naturaleza de los sólidos

- a) Tipo de partículas suspendidas.
- b) Tamaño de partículas suspendidas.
- c) Densidad de partículas suspendidas.
- d) Resistencia de partículas suspendidas

2) Medio filtrante

- a) Tamaño mínimo de partícula
- b) Permeabilidad
- c) Resistencia al flujo
- d) Resistencia al calor
- e) Resistencia a productos químicos

3) Fuerza impulsora

A. Filtros por gravedad: La fuerza impulsora es la presión de la columna de líquido sobre el medio filtrante, un ejemplo es el filtro de arena abierto.

B. Filtros a vacío: La fuerza impulsora es la succión del lado de la salida del filtrado por medio de vacío, operan en forma cíclica y continua son ejemplos el filtro de hojas, el filtro de tambor rotatorio.

C. Filtros a presión: La presión está dada por la fuerza motriz.

D. Filtros centrífugos: La fuerza impulsora es la centrífuga se usan para separar sólidos de tamaño de partícula muy pequeña o de suspensiones diluidas.

Como las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante son activas para distancias relativamente pequeñas, la filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos. (Yactayo, 2010)

Los mecanismos que pueden realizar transporte son:

1. Cernido
2. Sedimentación
3. Intercepción
4. Difusión
5. Mecanismos de transporte combinados.

6.2.3.1.- Cernido

El cernido, en general, actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes, capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en las constricciones. (Yactayo, 2010)

6.2.3.2.- Sedimentación

La sedimentación sólo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso, cuya velocidad de asentamiento sea alta y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja. Algunas partículas más pequeñas y floculantes pueden quedar retenidas en regiones donde la velocidad de escurrimiento sea pequeña debido a la distribución parabólica de velocidad en el régimen laminar. (Yactayo, 2010)

6.2.3.3.- Intercepción

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar y, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente. Debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas. (Yactayo, 2010)

6.2.3.4.- Difusión

Las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido. Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento browniano, y se debe al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua. (Yactayo, 2010)

6.2.3.5.- Mecanismos de transporte combinado

Es probable que todos los mecanismos actúen simultáneamente durante la filtración; sin embargo, el grado de importancia de cada uno de ellos depende de las características de la suspensión y del medio filtrante. La eficiencia del medio filtrante para remover partículas de la suspensión por acción de los mecanismos de transporte puede expresarse adecuadamente como una función de la intercepción, difusión, sedimentación y acción hidrodinámica. (Yactayo, 2010)

6.2.4.- Equipos de Filtración

Para llevar el estudio a un plano más práctico, se analizan los equipos de filtración más utilizados en el área industrial, con el fin de basar el prototipo en modelos de sistemas mecánicos cuya eficacia y eficiencia han sido probadas y estudiadas. A partir de esta información, identificar los mecanismos y metodologías más útiles y óptimos para este caso aplicado. Con esto se dimensiona el volumen aproximado que requieren estos tipos de sistemas, el costo de fabricación, costo de operación, efectividad según los materiales a tratar, etc.

En el segmento anterior se establecieron tres factores primordiales para el diseño del proceso; la naturaleza del material, características del medio filtrante y el tipo de fuerza disponible para la operación. De estos, el primer punto a abordar es el tipo de fuerza disponible para la operación.

Para que el filtrado atraviese el material filtrante y la capa de precipitado, se necesita vencer una cierta resistencia mediante la aplicación de presiones. La forma en que se aplique esta presión nos servirá para establecer una clasificación de los filtros:

Tabla 3: Equipos de filtración según origen de la presión de filtración. (SLA, 2010)

Origen de la Presión de filtración	Tipo de filtro
La carga hidrostática del mismo líquido	FILTROS DE GRAVEDAD
La depresión producida por una succión practicada por la parte opuesta del material filtrante.	FILTROS DE VACÍO
Una presión adicional obtenida mediante bomba	FILTROS DE PRESIÓN
La fuerza centrífuga	CENTRÍFUGA

6.2.4.1.- Filtros de Gravedad - Filtro de Arena

Es el método de filtración más tradicional y sencillo. En un filtro por gravedad el flujo de filtrado se produce debido a la presión hidrostática de la columna de material para filtrar, que permanece por encima de la superficie de la torta o el medio de filtro. Esta presión es siempre relativamente baja. Suelen utilizarse en casos donde requieren velocidades muy elevadas.

La gravedad es la única fuerza impulsora que hace al líquido atravesar el filtro y que se efectuó la separación. Ofrece una máxima superficie de filtración, lo que hace que su efecto sea más rápido. Su utilidad principal es separar el sólido del líquido cuando lo que se quiere recuperar es el líquido.

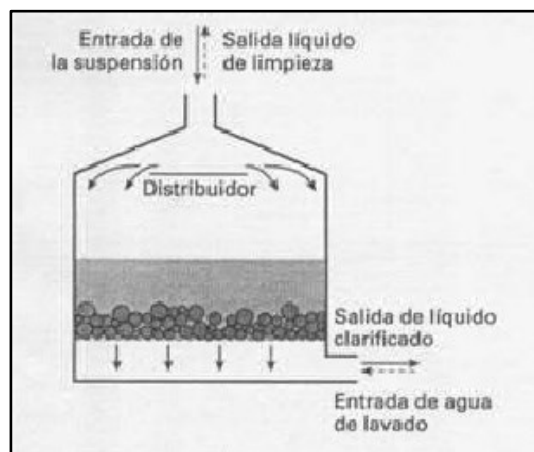


Figura 24: Representación de funcionamiento filtros de gravedad. (SLA, 2010)

Un buen ejemplo de este tipo de filtros es el Filtro de Arena, de constitución sencilla pero muy eficaz, se emplean especialmente en el tratamiento de aguas, cuya cantidad de impurezas es pequeña en comparación con el volumen de líquido a tratar. Son muy eficaces en la retención de sustancias orgánicas, pues la filtración se da por todo el espesor de la arena. De esta manera se acumulan grandes cantidades contaminantes antes de que sea necesaria su limpieza. Este filtro consiste en un tanque que puede resistir presiones dinámicas y estáticas a las que se somete. Es llenado de arena tamizada de un tamaño determinado. El tanque puede variar entre metal o plástico reforzado. La filtración se observa en el momento que el agua atraviesa la arena y a su vez se van reteniendo las impurezas contenidas en el agua.

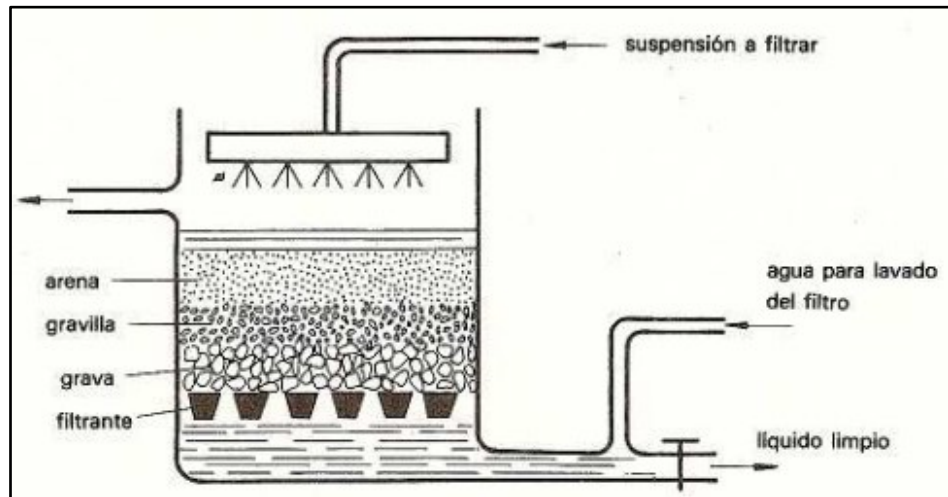


Figura 25: Representación de funcionamiento filtros de Arena. (SLA, 2010)

El material filtrante, arena, debe ser de una granulometría clasificada de menor a mayor, desde la entrada a la salida del líquido a tratar. Cuando la filtración disminuye, por taponamiento de los espacios porosos con las impurezas, se procede al paro de la operación y lavado del filtro. Esta operación tiene lugar por inversión del sentido de la filtración, removiendo la arena y desplazando al sedimento.

Además de los tradicionales filtros de arena verticales, también existen filtros horizontales más adecuados en aquellos casos en que se requiere tratar grandes volúmenes de agua optimizando el espacio disponible.

El lavado de los filtros de arena es un proceso fundamental que, realizado correctamente, permite restablecer la capacidad de filtración. Con el tiempo, el lecho filtrante se colmata con las partículas retenidas y es necesario eliminarlas. Al mismo tiempo, debido al desarrollo bacteriano, el lecho también se apelmaza con lo cual se requiere disgregar de nuevo el medio para permitir un paso homogéneo del agua por todo el lecho filtrante. (SLA, 2010)

6.2.4.2.- Filtro de Vacío - Tambor Rotativo

El fundamento de los filtros al vacío se basa en la presión atmosférica, fuerza que impulsa el líquido para que atravesase el filtro cuando se aplica el vacío al sistema. Permite la filtración de aquellas suspensiones en las que la fuerza de gravedad no es suficiente para el proceso. En estos filtros la separación sólido-líquido se da debido a la presión que imprime una bomba de vacío bajo la superficie donde se encuentra el producto.

El equipo más utilizado dentro de esta categoría es el Filtro de Tambor Rotatorio. En este, el producto a filtrar llega de forma continua a la cuba del filtro. Un agitador pendular en la misma cuba impide la sedimentación de los sólidos que lleva en suspensión.

El tambor que gira en la cuba es el elemento filtrante, su superficie exterior está dividida en celdas recubiertas por la tela filtrante. De esta superficie, un tercio se encuentra sumergida en la solución a filtrar, adaptando su velocidad de rotación a las características de la filtración y el producto.

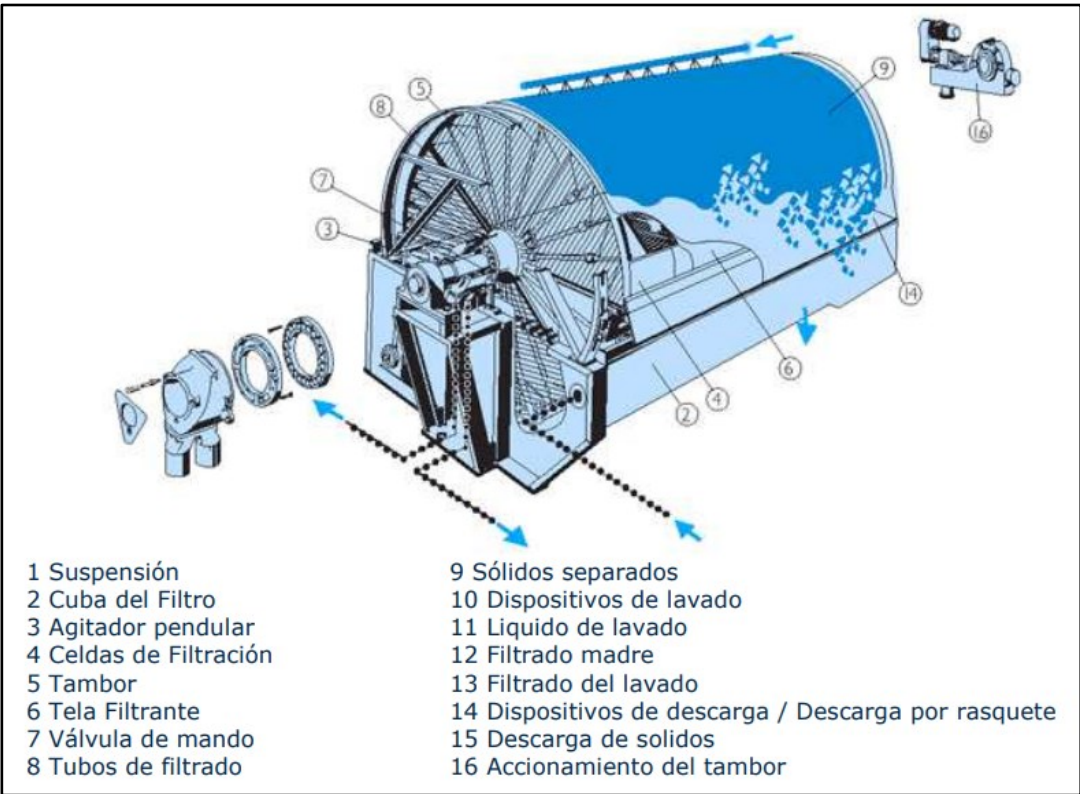


Figura 26: Esquema de componentes filtros de tambor rotativo. (SLA, 2010)

El vacío aplicado al filtro, creado por una bomba exterior, llega a las celdas a través de un cabezal de control y las tuberías consiguientes, dando lugar a la absorción del líquido a través de la tela filtrante, depositándose así el sólido sobre la misma tela filtrante y como una capa uniforme.

El cabezal de control automático tiene por misión dividir el tambor en distintas secciones para que en su rotación las celdas pasen sucesivamente por las zonas de filtración, lavado y desecado de la torta de sólidos producidos y su descarga. El filtrado llega desde el cabezal hasta un separador de filtrado auxiliar, desde donde se descarga por bomba o pie barométrico. Si hay un lavado de torta el líquido usado se entrega sobre el tambor por medio de boquillas, y el filtrado que se obtiene con él puede separarse de la inicial por una salida independiente.

Una variante de los filtros rotatorios de tambor son los denominados Filtros de disco, en vez de tambor, tienen su superficie de filtración constituida por discos de superficie permeable.

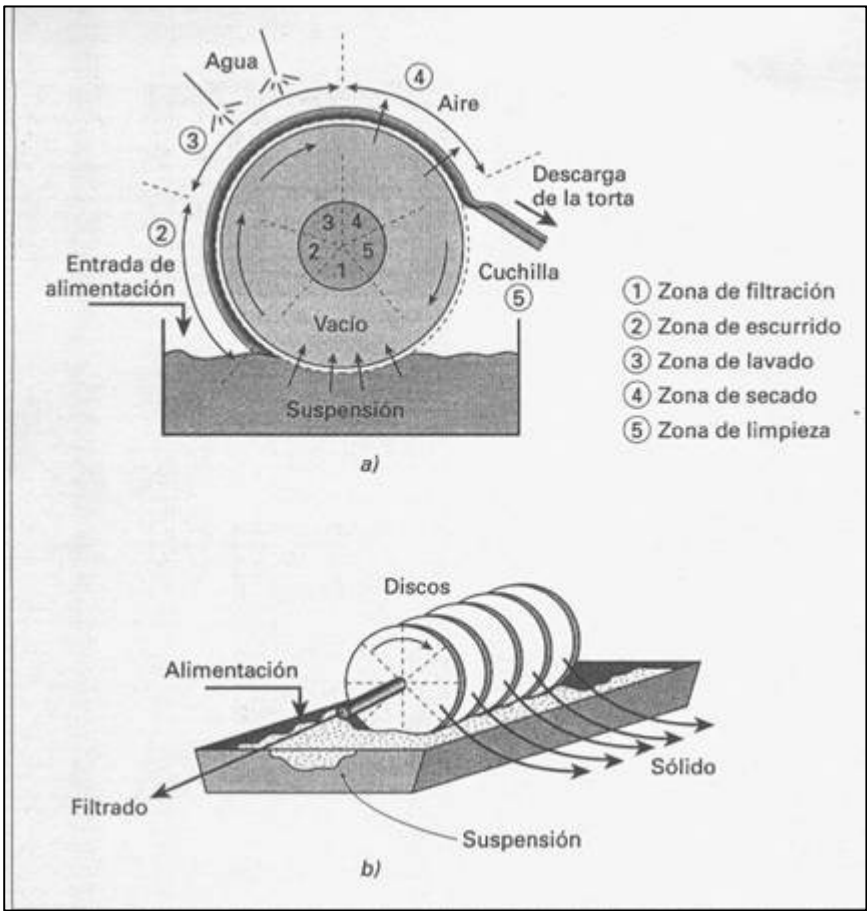


Figura 27: Esquema de funcionamiento filtros de disco. (SLA, 2010)

6.2.4.3.- Filtro de presión - Prensa Discontinua

El filtro de prensa realiza la separación líquido-sólido a partir de la presión aplicada a una suspensión que atraviesa un medio filtrante reteniendo los sólidos del fluido. Tiene una estructura de placas cubiertas con un medio filtrante, donde al bombear una suspensión bajo presión por un canal, los sólidos del fluido son atrapados en las placas y el líquido atraviesa el medio filtrante sea de tela, marcos con huecos o membranas, el líquido obtenido es descargado por un conducto que posteriormente es recogido y almacenado.

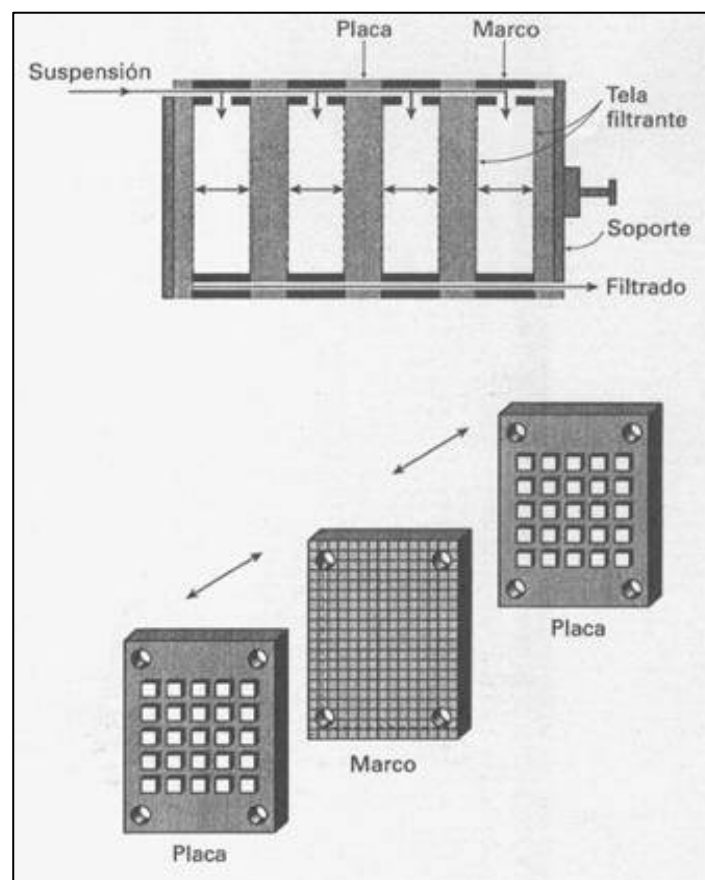


Figura 28: Esquema de componentes filtros de prensa. (SLA, 2010)

Los filtros prensa son un método simple y confiable para lograr una alta compactación. Los sólidos se bombean entre cada par de bastidores y una vez llenos, mediante un tornillo se van oprimiendo unos contra otros expulsando el agua a través de la tela. Los filtros prensa pueden comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados. Al igual que el líquido, los sólidos se recuperan al final del filtrado en tolvas o tanques de almacenamiento.

Actualmente los filtros prensa tienen un uso preferencial en muchas industrias por los altos rendimientos obtenidos, factor determinante en la industria pesada y minera, donde se exigen respuestas muy efectivas con equipos de nivel técnico especial. No obstante, el filtro prensa no es adecuado para un trabajo en continuo; para este fin, se recurre a los filtros de tambor rotatorio.

El funcionamiento específico del equipo consiste en bombear el lodo líquido a las cámaras que se encuentran rodeadas por lonas filtrantes. Al bombear la presión se incrementa y el lodo es forzado a atravesar las lonas, provocando que los sólidos se acumulen y formen una pasta seca. Posteriormente, el pistón hidráulico empuja la placa de acero contra las placas de polietileno haciendo la prensa. El cabezal y el soporte terminal son sostenidos por rieles de las barras de soporte. El filtrado pasa a través de las lonas y es dirigido hacia los canales de las placas y puertos de drenado del cabezal para descarga. Para remover la pasta compactadas, se hace retroceder el pistón neumático, relajando la presión y separando cada una de las placas, para permitir que la pasta compactada caiga desde la cámara.

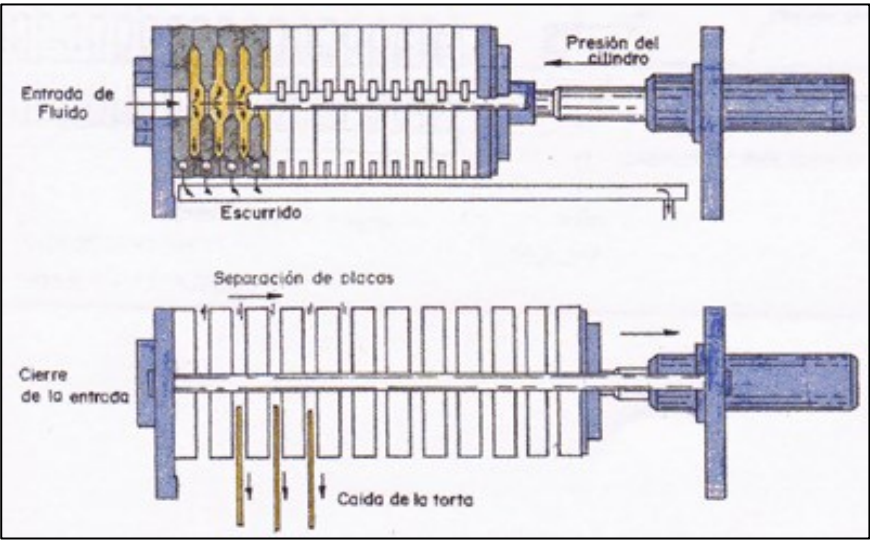


Figura 29: Equipo de filtro prensa estándar en el mercado. (SLA, 2010)

6.2.5.- Resolución de sistema mecánico

Luego de un periodo de evaluación, se establece que el prototipo basará su funcionamiento en una combinación de los sistemas expuestos. Esto colinda con la idea preconcebida por las empresas, de generar un producto que abarque las mejores características de cada sistema en el mercado, aplicado al caso concreto, llevándolo así a entrar dentro de una nueva categoría de filtros compactos y económicos dirigido a operaciones de RIL.

A partir de esta nueva información, se plantean de mejor manera algunas especificaciones y requerimientos del sistema. Esto se debe a que los ejecutivos encargados del desarrollo de proyecto, poseían ya una idea aproximada de lo que esperaban obtener. Se espera una maquina funcionalmente similar a un filtro de prensa, pero con características de trabajo continuo, cuyo sistema de filtración sea mediante un elemento estático como un tamiz y con un sistema de transporte automático para los sólidos retenidos.

Tras estas proposiciones, se piensa en un sistema de arrastre de material eficiente y fácil de adquirir, con capacidad para transportar en forma vertical o inclinada los desechos, considerando un espacio de operación reducido. Es por esto y basándose en experiencia del equipo de trabajo, que se propone utilizar un tipo de transportador helicoidal, específicamente un tornillo sin fin, un conjunto mecánico muy eficaz y minimalista para realizar operaciones a bajo costo. Cabe destacar que el principal criterio de resolución por parte de los supervisores del proyecto, se basa en casos experimentados o conocidos por ellos, quienes evalúan y determinan la factibilidad y utilidad de la información dispuesta.

Se plantea que este transportador helicoidal este rodeado por un tipo de tamiz a lo largo del tornillo, idealmente una malla rígida, lo que provocara el filtrado del material. Cubierto por una carcasa de acero inoxidable capaz de retener el fluido separado de los sólidos y devolverlo al afluente. Con esto se espera que el flujo ingrese en el sistema e inmediatamente exista una retención de los sólidos portados y el líquido tenga la opción de seguir su flujo original. Mientras ingresa el caudal, el tornillo sin fin desplaza el material sólido retenido a lo largo de su superficie, mientras que escurre el contenido líquido del material a través de la malla que rodea el tornillo.

Actualmente en el mercado existen algunos equipos basados en tornillo sin fin, pero son excesivamente caros de fabricar y de operar, ya que están pensados para trabajos sumamente específicos o empresas que priorizan efectividad en las operaciones más que el balance económico sustentable de un producto. Aunque la mayoría de los equipos basados en tornillo sin fin, son para transportar material sólido a granel o en algunos casos muy particulares, transportar mezclas sin importar el contenido líquido. No tienen como finalidad filtrar ni separar fases, sólo como mecanismos de transporte. A esto se le suma el hecho de la poca versatilidad a los cambios, debido a sus grandes volúmenes y forma de instalación.

Usualmente equipos de esta naturaleza o similares involucran gastos por sobre los 10 millones de pesos chilenos tan solo para su adquisición y en sus versiones más básicas, pudiendo llegar a los 15 e incluso 20 millones en algunos casos de equipos más complejos o exigentes, tomando en cuenta que usualmente son utilizados en industrial de gran y constante flujo de material, como son el transporte de sólidos a granel, justificando económicamente la inversión. Debe además considerarse que es poco frecuente la fabricación de equipos a medida dentro del país, lo que implica buscar empresas internacionales especializadas en estos sistemas de transporte, asegurando así un correcto diseño del equipo casi duplicando las cifras. A continuación, se presentan algunos ejemplos de equipos del mercado que realizan labores similares basados en transportadores helicoidales.



Figura 30: Tornillo Vertical para lodos. (NUTECO, 2019)



Figura 31: Tamiz tornillo con caja de recepción. (NUTECO, 2019)



Figura 32: Tornillo sin fin compactador de sólidos. (NUTECO, 2019)



Figura 33: Tornillo sin fin con tolva para transporte de granos. (NUTECO, 2019)

6.2.6.- Transporte Helicoidal - Tornillo Sin Fin

Los transportadores de tornillo sin fin son instalaciones transportadoras para materiales a granel, que se basan en el principio de funcionamiento del tornillo de Arquímedes. El elemento transportador es un metal plano moldeado en forma de hélice (hélice de tornillo sin fin). Esta, rota alrededor del eje longitudinal y transporta el material a granel en una artesa o un tubo en reposo en dirección axial, que a su vez sirve como elemento portante. Es posible transportar el material en horizontal, vertical o en un plano inclinado. Durante el transporte del material a granel también pueden llevarse a cabo etapas de procesamiento como mezclado, deshidratación o compresión. También es posible enfriar o secar durante el transporte.

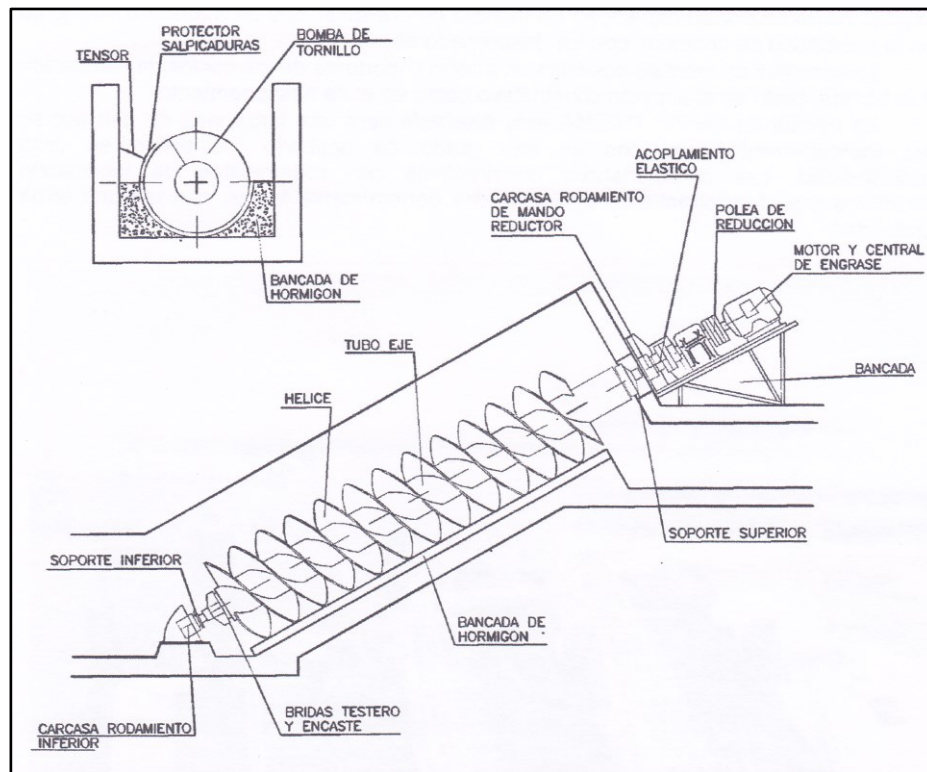


Figura 34: Esquema de transportador helicoidal. (SLA, 2010)

Los transportadores de tornillo sin fin tienen una estructura sencilla, pero su uso sólo es razonable para longitudes de transporte relativamente cortas. Y debido al rozamiento del material a granel en la artesa del tornillo, la potencia necesaria de un transportador de tornillo sin fin es considerablemente superior que la de una banda transportadora o un elevador de cangilones.

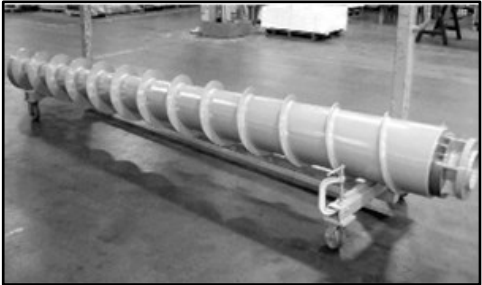
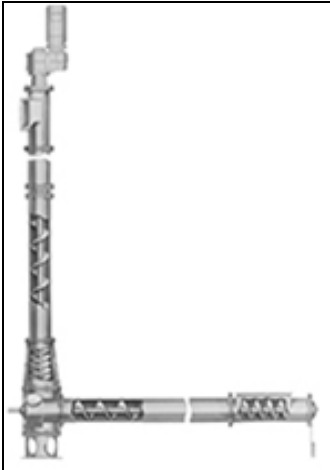
La gravedad y el rozamiento del material a granel contra las paredes de la cuba evitan que el producto gire con el tornillo. Si con un elevado nivel de llenado el rozamiento con la pared es demasiado pequeño, entonces el producto rota en dirección transversal al eje del tornillo como un rodillo al comienzo del tornillo y no puede ser transportado. Por esta razón, para el transporte vertical hay que generar un rozamiento con la pared a través de fuerza centrífuga, para lo que se requiere un elevado número de revoluciones.

El caudal de transporte depende del número de revoluciones, de los diámetros interior y exterior, de la inclinación, del nivel de llenado y del rozamiento del medio con el tornillo. Se alcanza un caudal de transporte máximo, cuando el rozamiento con el transportador helicoidal es pequeño en comparación con el rozamiento con la pared de la artesa. Si se transportan líquidos, entonces baja el rendimiento a medida que aumenta el desgaste, porque las cámaras ya no están completamente separadas entre sí y se crea un flujo de retorno. Un transportador de tornillo sin fin está compuesto, normalmente, por los siguientes elementos constructivos:

1. La artesa del tornillo sin fin, en función de la forma constructiva con cubierta
2. El transportador helicoidal, compuesto por la rosca sin fin, el árbol del tornillo con eje de accionamiento, el árbol de cojinetes y las obturaciones
3. Una unidad de accionamiento, compuesta por un acoplamiento de eje o una transmisión por cadena
4. El propio accionamiento
5. El apoyo del eje del tornillo sin fin
6. Una entrada y una salida

La artesa del tornillo sin fin abarca la longitud completa del transportador helicoidal. Así se evita que el material a granel se desvíe hacia los lados y hacia abajo. Por lo tanto, debe estar adaptada perfectamente al transportador helicoidal. En el caso de artesas metálicas se puede aumentar la estabilidad con una pared de artesa que arriba y lateralmente tenga pliegos. Si se debe transportar material a granel que genera un elevado desgaste, también se pueden utilizar chapas de desgaste recambiables en el suelo de la artesa. Además, se pueden aplicar listones en dirección de transporte, que favorecen la formación de una capa de material a granel en la pared de la artesa. Así se reduce el desgaste y aumenta el rozamiento en la pared de la artesa, lo que a su vez mejora la capacidad de transporte. Existen variedades de transportadores helicoidales, en función del tipo de trabajo a realizar, materiales a transportar, geometrías de los lugares de instalación, etc.

Tabla 4: Descripción - tipos de transportadores helicoidales.

Tipo de transportador	Descripción
Transportadores Helicoidales Horizontales 	➤ Son los transportadores más comunes y utilizados. ➤ Pueden crearse grandes longitudes de transportación. ➤ Se lleva a cabo un análisis para determinar las características del tornillo, estableciendo las formas y tamaños para la perfecta manejabilidad de los materiales a transportar.
Transportadores Helicoidales Inclınados 	➤ Para la mayoría de las aplicaciones se recomienda un transportador helicoidal con artesa tubular y el helicoidal de paso reducido y un diámetro mayor ➤ Pueden funcionar con ángulos de hasta 70°. ➤ Se requiere una potencia adicional para compensar el efecto de la gravedad y el material a granel retrocede.
Transportadores Helicoidales Verticales 	➤ Los transportadores helicoidales verticales o elevadores son transportadores de tornillo que permiten elevar los materiales para trasladarlos a otras alturas o para ser distribuidos en contenedores, almacenes, etc. ➤ Funcionan completamente verticales y ahorran mucho espacio. ➤ Se recomiendan alturas de hasta 9 metros

6.3.- Diseño preliminar – Parámetros Base

Tras la aceptación del modelo basado en tornillo sin fin, los inversionistas y ejecutivos de las empresas solicitan una aproximación de forma utilizando consideraciones válidas y representativas para establecer una percepción más concreta y visualmente atractiva para clientes. Para esto es necesario identificar certeramente las variables que dominan el funcionamiento de este tipo de transportador, con el fin de realizar un dimensionamiento lo más real posible y que así los ejecutivos puedan evaluar la rentabilidad y conveniencia de este modelo.

Para este diseño, se consideran algunos parámetros geométricos y otros parámetros de operación, generando así una idea completa del sistema. Dentro de los factores netamente dimensionales se analizan el tipo de hélice a usar, diámetro del tornillo, paso del tornillo y el área de relleno del canalón. En cuanto a los parámetros operativos que se calculan, están el tipo de material a tratar, velocidad de giro del tornillo, velocidad de desplazamiento y el flujo másico de material procesable. Utilizando la herramienta digital Autodesk Inventor, se generan bocetos iniciales para comenzar el dimensionamiento de los componentes.

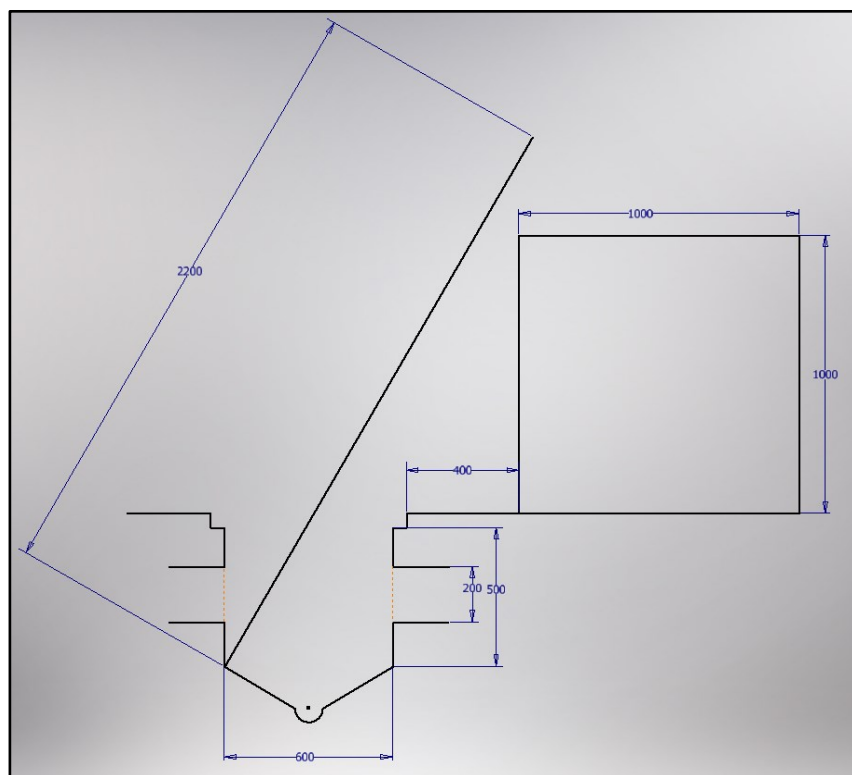


Figura 35: Autodesk Inventor - Boceto inicial de formas y espacios.

Se generan, además, dibujos complementarios que permiten una mejor comprensión de los espacios disponibles y la orientación de los elementos.

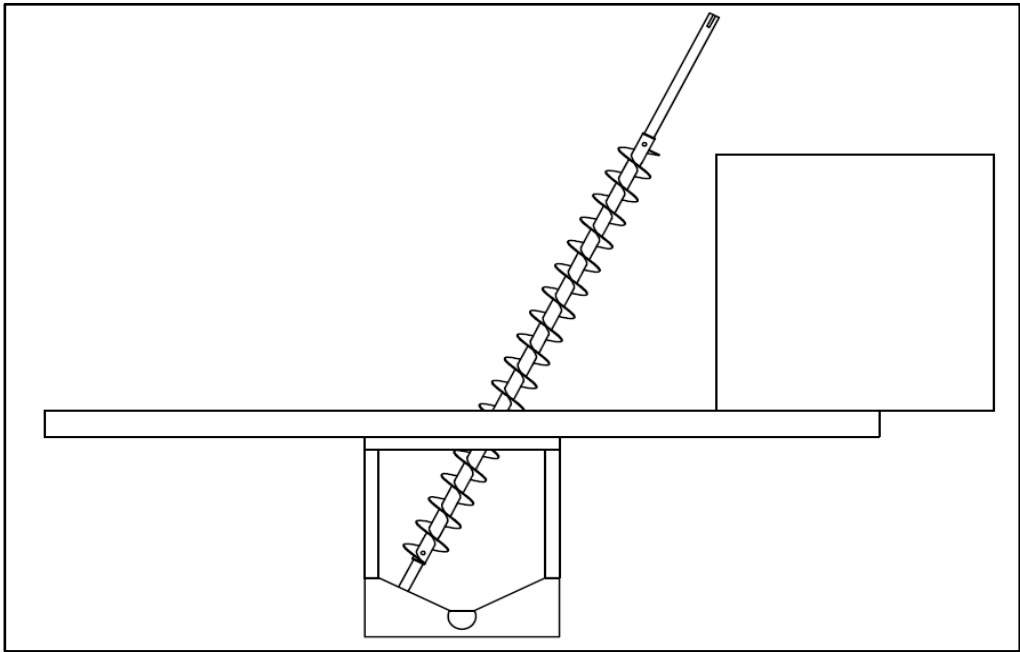


Figura 36: Dibujo Autodesk Inventor – Vista Lateral Inicial.

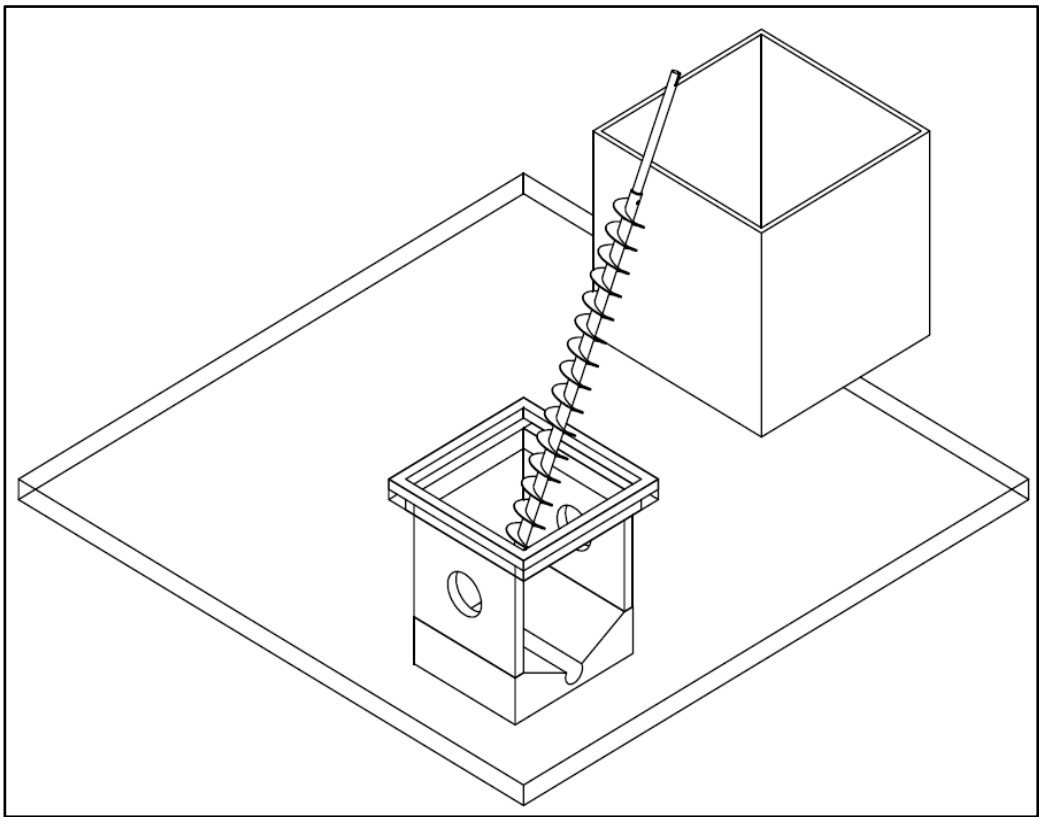
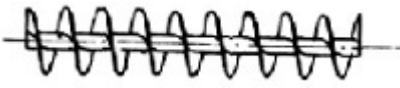
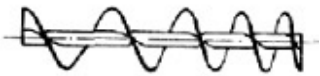
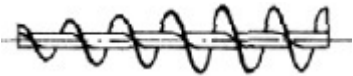
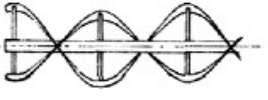


Figura 37: Dibujo Autodesk Inventor – Vista Isométrica Inicial.

6.3.1.- Selección tipo de hélice y “Paso”

Mediante la comparación y análisis de diversas fuentes de información, se resume y expone las características determinantes para la selección de hélices. La elección se basa en el tipo de material a transportar y de la función a realizar.

Tabla 5: Tipos de hélice y características asociadas.

Tipo de Hélice	Tipo de material a transportar o aplicación
Hélice continua - paso = diámetro 	➤ Tipo de hélice normal para transporte de sólidos en posición horizontal
Hélice de gran paso 	➤ Se utiliza para productos que fluyen muy bien. Su Paso equivale a 1,5 o 2 veces el Diámetro.
Hélice de pequeño paso paso = $\frac{2}{3}$ Diámetro/ $\frac{1}{2}$ Diámetro 	➤ Se utiliza en tornillos sin fin inclinados o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia del producto en el transportador.
Hélice de paso variable 	➤ Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.
Hélice de diámetro variable 	➤ Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.
Hélice de cinta 	➤ Tipo de hélice adecuada para productos que producen atascamiento.
Hélice mezcladora 	➤ Se utiliza como equipo mezclador

Tras una evaluación realizada por el equipo, se propone un tipo de hélice mixta, que combine las características ventajosas de una hélice paso corto, pudiendo así impulsar el material de forma inclinada, y una hélice de paso variable para implementar las características de compresión de material. No obstante, se presume que el costo de este tipo de hélice es demasiado elevado considerando que debe ser un sistema de bajo presupuesto, esto se debe al nivel de detalle que representa para una industria metalmecánica.

Se establece que para el primer modelo se utilizara una hélice paso corto, ya que la principal característica del tornillo es su funcionamiento de forma inclinada. Para la compresión, se pretende implementar o diseñar un componente capaz de realizar el trabajo y así abaratar el costo del objetivo.

Para seleccionar de forma adecuada una hélice de paso corto, se recurre a catálogos de fabricantes internacionales con productos establecidos y probados, en este caso Martin's Sprocket & Gear, identificando principalmente dos que cumplen los requerimientos.

6.3.1.1.- Hélice Sencilla Paso Medio

- ❖ En la literatura o catálogos de fabricantes internacionales puede encontrarse como “Half Pitch, Single Flight”.
- ❖ Su característica se basa en que el “Paso” equivale a $\frac{1}{2}$ del diámetro requerido por el sistema.
- ❖ Es muy útil en alimentadores helicoidales y para manejar materiales extremadamente fluidos. Se recomienda para aplicaciones inclinadas mayores a 25°

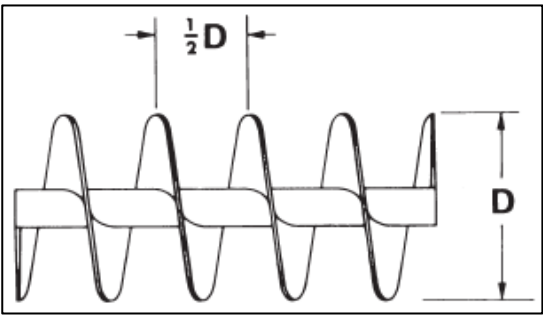


Figura 38: Esquema - Hélice de Paso Medio. (MS&G, 2013)

6.3.1.2.- Hélice Sencilla Paso Corto

- ❖ En la literatura o catálogos de fabricantes internacionales puede encontrarse como “Short pitch, Single flight”.
- ❖ Su característica se basa en que el “Paso” equivale a $\frac{2}{3}$ del diámetro requerido por el sistema.
- ❖ El paso corto reduce el flujo de los materiales que tienden a formar flujos. Se utilizan en alimentadores helicoidales. Es muy útil para aplicaciones inclinadas menores a 25° .

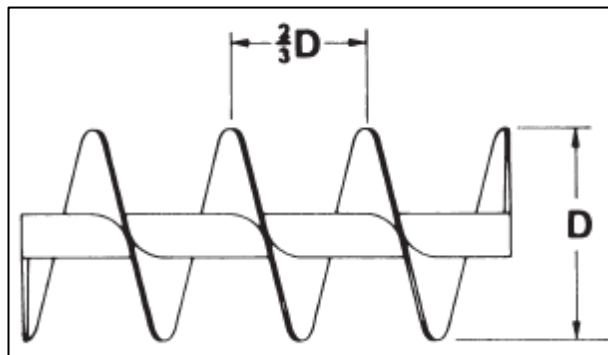


Figura 39: Esquema - Hélice de Paso Corto. (MS&G, 2013)

Se opta por la hélice sencilla de paso medio con giro de mano izquierda, debido a sus características de operación, no descartando la alternativa de paso corto, ya que se espera la disposición de la empresa que fabricará las partes, para tomar la decisión definitiva.

6.3.2.- Clasificación de Material

Se clasifica el material en base a sus propiedades físicas más relevantes, no obstante, pese a que esta clasificación es representativa, son parámetros aproximados.

Tabla 6: Clasificación de materiales según sus propiedades físicas. (Galbarro, 2018)

Clase	Características	Ejemplos
Materiales Clase I	❖ Materiales polvorientos ❖ No abrasivos ❖ Peso específico ~ 0.4 – 0.7 [t/m³] ❖ Fluye fácilmente	• Cebada, trigo, malta, arroz • Harina de trigo y similares. • Carbón en polvo. • Cal hidratada y pulverizada.
Materiales Clase II	❖ Materiales que se presentan en granos o pequeños tamaños ❖ No abrasiva ❖ Peso específico ~ 0,6 - 0,8 [t/m³]. ❖ Fluyen fácilmente.	• Alumbre en polvo. • Haba de soja. • Granos de café, cacao, maíz. • Cal hidratada.
Materiales Clase III	❖ Materiales de pequeño tamaño, mezclados con polvos. ❖ Semi abrasivos ❖ peso específico ~ 0,6 - 1,2 [t/m³].	• Carbón vegetal. • Leche en polvo. • Sal. • Azúcar refinada.
Materiales Clase IV	❖ Materiales granulares o pequeños tamaños en mezcla con polvos. ❖ Semi-abrasivos o abrasivos. ❖ Peso específico 0,8 - 1,6 [t/m³].	• Cemento. • Arcilla. • Azufre. • Arena.
Materiales Clase V	Materiales abrasivos, troceados o en polvo. NO es aconsejable utilizar transportadores de tornillo sin fin para transportar esta clase de material.	• Cenizas • Hollines • Cuarzo pulverizado • Arena sílicea

Basándose en lo observado durante la inspección en terreno, se considera que el material se encuentra entre el tipo II y III. Se opta por la clase III, siendo el caso más conservador, ya que el material se comporta de forma similar a un tipo de lodo. Esto se podría considerar como una mezcla semi abrasiva.

6.3.3.- Velocidad de Giro

La velocidad de giro de los transportadores de tornillo depende, entre otros factores, de la naturaleza del material a transportar. Una buena aproximación sitúa la velocidad de giro entre los rangos:

- 1) $n \approx 50 \text{ r.p.m}$ → Para materiales pesados
- 2) $n < 150 \text{ r.p.m}$. → Para materiales ligeros

Se utiliza el caso más conservador, considerando el material como pesado, ya que el equipo debe funcionar en ocasiones bajo full carga de desechos, lo que conlleva mayor potencia de operación y por ende mayor gasto de recursos. Se utiliza “ $n \approx 50 \text{ r.p.m}$.”. En general, se cumple que la velocidad de giro de un transportador de tornillo es inversamente proporcional a:

- A. El peso a granel del material a transportar
- B. Del grado de Abrasividad del material a transportar
- C. Diámetro del tornillo.

Pese a que la velocidad de giro no es directamente un parámetro físico necesario para una aproximación de forma, está estrechamente relacionada con el diámetro del transportador, ya que, según la clase de material y el diámetro del tornillo, se puede establecer la velocidad máxima de giro.

Tabla 7: Velocidad máxima de giro - clase de material y diámetro. (Galbarro, 2018)

Diámetro Tornillo [mm]	Velocidad máxima [rpm] según clase de material				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

6.3.4.- Diámetro de Tornillo

La dimensión del diámetro cumple de forma muy representativa ser inversamente proporcional a la velocidad de giro del eje, es decir, para velocidades de giro más elevadas supondrá un tornillo de hélices más estrechas. Se cumple de manera muy certera la relación entre el diámetro máximo de partícula a transportar y el diámetro aproximado del tornillo. Esta relación varía para materiales homogéneos y materiales heterogéneos

- 1) **Materiales homogéneos:** El diámetro del tornillo equivale al menos a 12 veces el diámetro de los sólidos a transportar.
- 2) **Materiales heterogéneos:** el diámetro del tornillo equivale a 4 veces el mayor diámetro de los sólidos a transportar.

Debido a la naturaleza de los sólidos derivados del proceso del vino y el hecho de que estén contenidos en un fluido, convierte la masa en una mezcla heterogénea, esto implica considerar el diámetro 4 veces mayor al mayor tamaño de partícula sólida identificada. Para esta consideración, no se toman en cuenta las formas con gran área, pero poco volumen, es decir, láminas, hojas, o superficies deformables, ya que su característica de flexibilidad no crea inconvenientes en la operación del equipo. Se evalúan sólo elementos sólidos contundentes con características volumétricas muy poco compresibles, tales como piedras, semillas grandes o diversos elementos contaminantes que puedan ingresar al canal de residuos líquidos.

A través de observación cualitativa realizada por los participantes de proyecto durante la visita a terreno, se estima que el tamaño máximo de partícula es aproximadamente 40 [mm]. Esto implica que el diámetro del tornillo debe ser de aproximadamente 160 [mm]

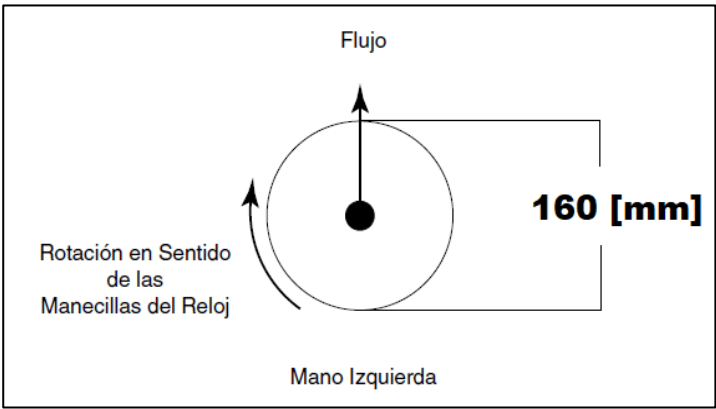


Figura 40: Esquema - Diámetro y sentido de giro para tornillo.

6.3.5.- Área de relleno del Canalón

El área de relleno del canalón que ocupa el material que mueve el transportador, se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$S = \lambda \times \frac{\pi x D^2}{4}$$

Donde:

- S: Área de relleno del transportador; [m²]
- D: Diámetro del canalón del transportador; [m]
- λ: Coeficiente de relleno de la sección; [-]

Este coeficiente de relleno (λ) debe ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material, que dificulta su correcto flujo a lo largo del canalón.

Tabla 8: Coeficiente de relleno según tipo de carga. (Galbarro, 2018)

Tipo de carga	Coeficiente de relleno [λ]
Pesada y Abrasiva	0.125
Pesada y Poco Abrasiva	0.25
Ligera y Poco Abrasiva	0.32
Ligera y No Abrasiva	0.4

Se considera el material como pesado y semi abrasivo, esto conlleva utilizar un coeficiente de relleno λ =0,25. Al reemplazar en la ecuación original:

$$S = 0.25 \times \frac{\pi \times 0.160^2}{4}$$

$$S = 0.031 \text{ [m}^2\text{]}$$

6.3.6.- Velocidad de desplazamiento del transportador

La velocidad de desplazamiento del transportador es la velocidad con la que desplaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende tanto del paso del tornillo como de su velocidad de giro. Esta velocidad longitudinal, al igual que la velocidad angular, no es un parámetro físico directamente relevante para la aproximación de forma del equipo, no obstante, es un indicador de funcionamiento que sirve a los ejecutivos para dimensionar la forma en que se desplaza el material. Además de ser un factor determinante en el cálculo de flujo de material.

La velocidad de desplazamiento puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{Px\ n}{60}$$

Donde:

V: Velocidad de desplazamiento del transportador; **[m/s]**

P: Paso del tornillo o paso de hélice; **[m]**

n: Velocidad de giro del eje del tornillo; **[r.p.m.]**

Al reemplazar los valores obtenemos:

$$V = \frac{0.080 \times 50}{60}$$

$$V = 0.067 \text{ [m/s]}$$

Este valor de velocidad de desplazamiento sólo es válido para la velocidad de giro establecida anteriormente. En vista que se espera tener cargas de trabajo variable, es posible que este valor varíe para compensar esta carga.

6.3.7.- Caudal Másico de Material procesable

Este flujo de material indica la cantidad de masa por unidad de tiempo que puede albergar y desplazar el transportador, considerando el área de canalón, la velocidad de desplazamiento y la densidad del material. Pese a que este indicador tampoco es una variable física del transportador, es un valor relevante, debido a que genera una idea general de cuanto material puede procesar el prototipo por hora de trabajo y así estimar cualitativamente la factibilidad de procesar la cantidad de material desechado por la planta. Este flujo se determina mediante la siguiente expresión.

$$Q = 3600 \times S \times V \times \rho \times i$$

Donde:

- Q:** Flujo de material transportado; [T/h]
- S:** Área de relleno del transportador; [m²]
- V:** Velocidad de desplazamiento del transportador; [m/s]
- ρ:** es la densidad del material transportado, [T/m³]
- i:** Coeficiente de disminución, debido a la inclinación del transportador; [-]

La densidad del material es un dato entregado por la empresa ISMA, tras una comprobación en terreno. Esto resulta en que la densidad equivale a:

$$\rho = 1.3 \left[\frac{kg}{l} \right] = 1.3 \left[\frac{T}{m^3} \right] = 81.1 \left[\frac{lb}{ft^3} \right]$$

El coeficiente de disminución indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación:

Tabla 9: Coeficientes de disminución según grado de inclinación de tornillo.

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°	i ≥ 25°
I	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Para determinar la inclinación aproximada, se utiliza el software de modelamiento mecánico Autodesk Inventor, ya que, debido a sus herramientas, permite proyectar y experimentar con el espacio, dando una idea representativa de las posibilidades geométricas.

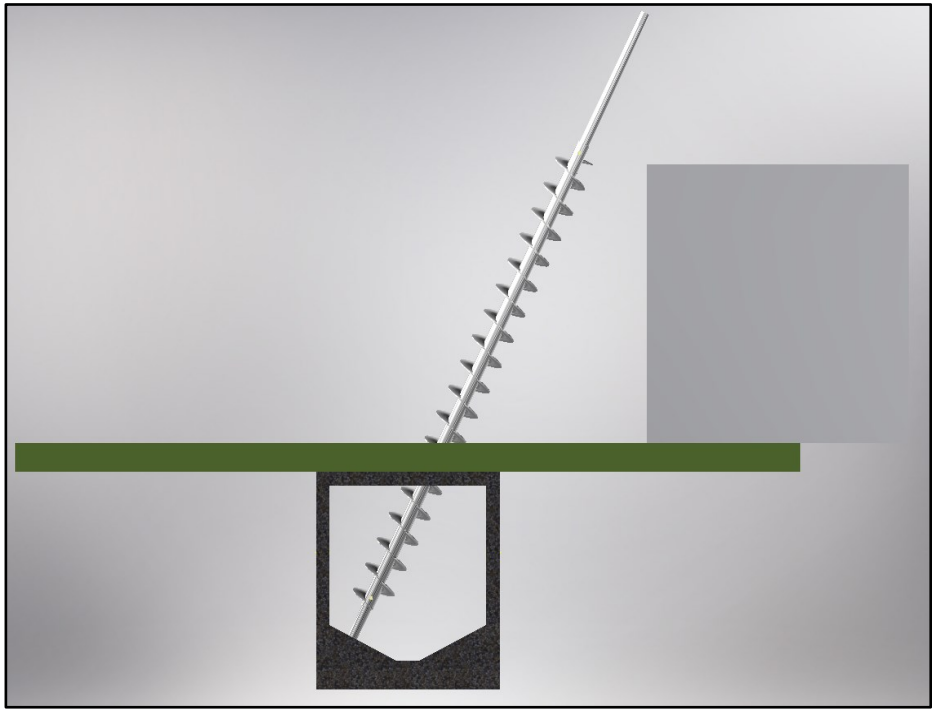


Figura 41: Vista Lateral – Modelo 3D para inclinación de Tornillo.

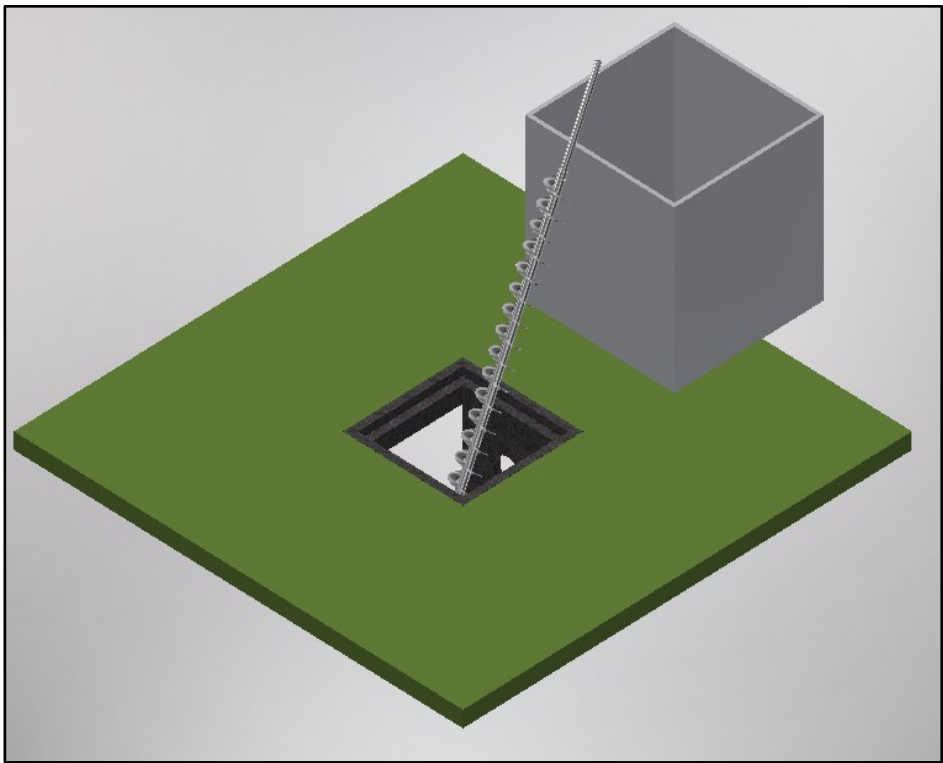


Figura 42: Vista Isométrica – Modelo 3D para inclinación de Tornillo.

Al generar esta aproximación de forma, se estima que el tornillo debe tener una inclinación aproximada de entre 65° a 70°, considerando que aún falta involucrar la malla filtrante y la carcasa contenedora.

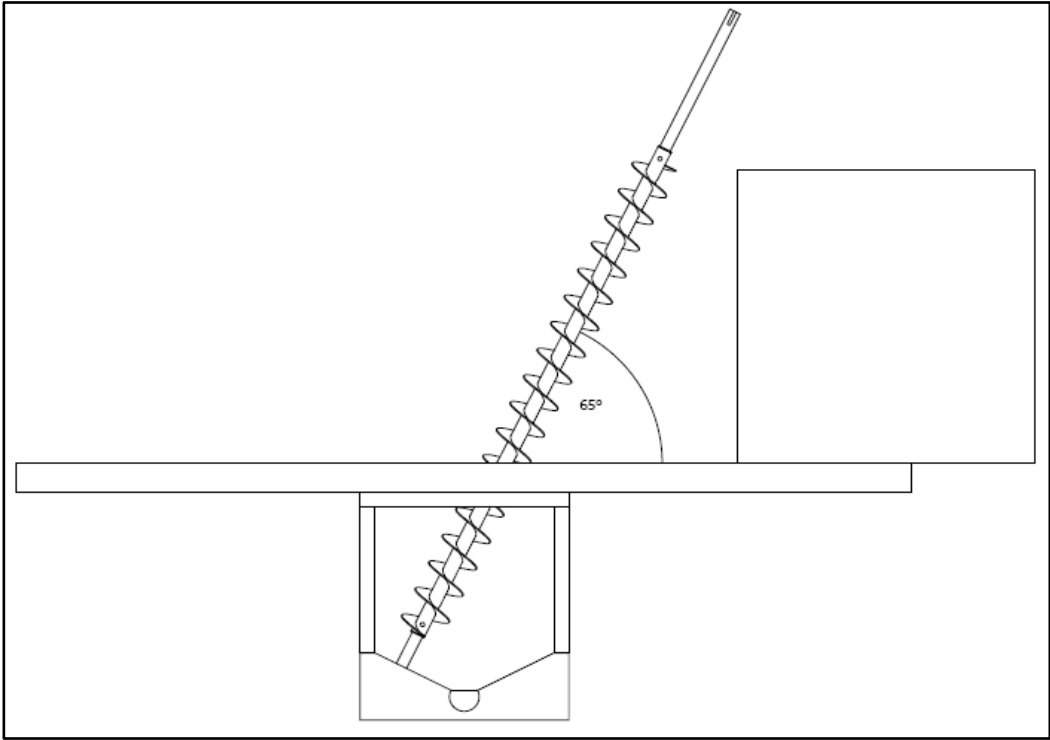


Figura 43: Dibujo Autodesk Inventor – Inclinación Preliminar.

Tomando en cuenta esta información, se reemplazan los valores en la ecuación original y se obtiene:

$$Q = 3600 \times 0.031 \times 0.067 \times 1.3 \times 0.5$$

$$Q = 4.86 \left[\frac{T}{h} \right]$$

6.3.8.- Parámetros de modelo Preliminar

En este segmento se resumen los parámetros operativos y espaciales del tornillo mediante una tabla, con el fin de sintetizar la información para su evaluación.

Tabla 10: Resumen de parámetros para evaluación operativa.

Parámetro	Descripción
Tipo de Hélice	Hélice Sencilla Paso Medio - ½ D
Clasificación de material	Clase III Materiales semi-abrasivos de pequeño tamaño
Velocidad de giro (n)	50 [R.P.M]
Diámetro del Tornillo	160 [mm]
Paso de Tornillo	80 [mm]
Área de relleno del canalón	0.031 [m²]
Velocidad de desplazamiento	0.067 [m/s]
Flujo Másico de Material procesable	4.86 [T/h]

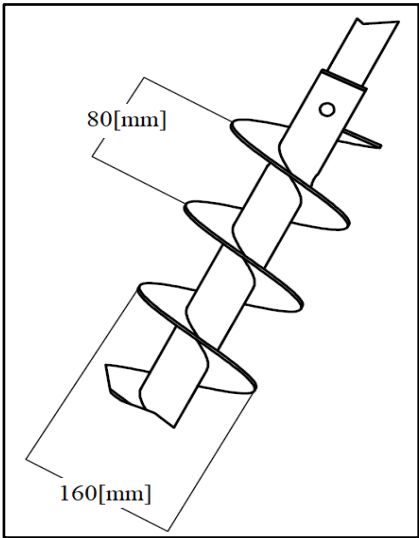


Figura 44: Dibujo en detalle del tornillo sin fin con especificación de diámetro y paso.

6.4.- Modelación de diseño Preliminar

Determinadas las dimensiones básicas del tornillo y algunos parámetros aproximados de funcionamiento, el siguiente paso para la aprobación del modelo es proyectarlo en el software de modelación Autodesk Inventor. Es de vital importancia este modelo, debido a que la empresa que solicita el diseño del prototipo, ISMA Consultores, es ajena al proceso de desarrollo, sólo participan tras la finalización de cada etapa de desarrollo.

Durante este proceso, se diseñan los componentes necesarios para complementar el sistema de forma aproximada e hipotética, solo involucrando las pretensiones físicas preconcebidas por el equipo de trabajo. Cabe destacar que las formas y medidas de estas aproximaciones son evaluadas y acordadas por el equipo de trabajo antes de ser generadas

A partir de estos acuerdos, se pretende generar un diseño basado en módulos, secciones que se puedan armar y desarmar fácilmente. Para este propósito se pretende que las secciones se fabriquen con aletas laterales que permitan a las partes fijarse mediante pernos.

Las diferentes secciones de mallas, carcasas y componentes se diseñan pensando solo en los requisitos físicos solicitados, ya que, tras la evaluación estética y operativa de este modelo, se decide si se continua con él y posteriormente generar un modelo más detallado, con parámetros más específicos y consideraciones mucho más representativas.

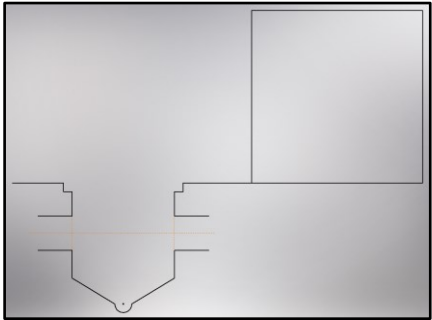
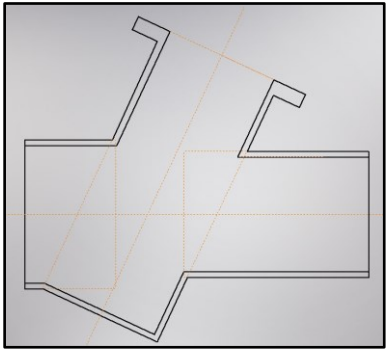
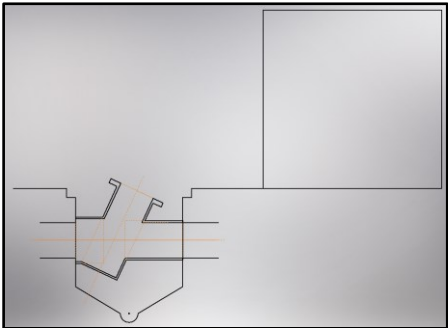
Un punto fundamental de la representación mediante software, es que al no poseer los medios necesarios para fabricar cada pieza en tiempo real e ir sometiendo el conjunto a prueba de ensamble de forma práctica, el software permite dimensionar, calcular, realizar comprobaciones geométricas y proponer soluciones a complejidades de forma rápida y eficaz, dando opción al equipo de trabajo de probar distintas posibilidades de formas.

Uno de los aspectos esenciales de este modelo, es hacer calzar el volumen completo del prototipo dentro del receptáculo y que tenga cierto nivel de holgura respecto de su perímetro. Para esto la primera tarea es determinar la mejor posición que permita el correcto ingreso del flujo al sistema y además evite el contacto del prototipo con la superficie del receptáculo.

6.4.1.- Módulo Inferior - Carcasa

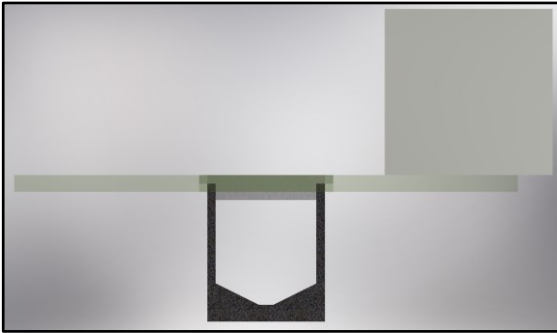
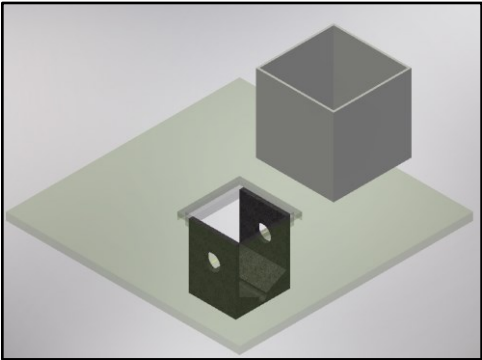
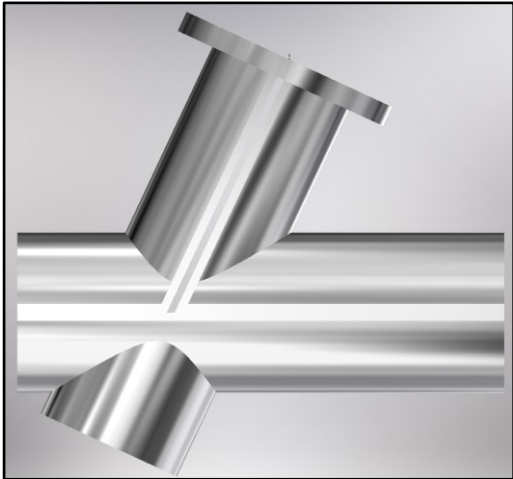
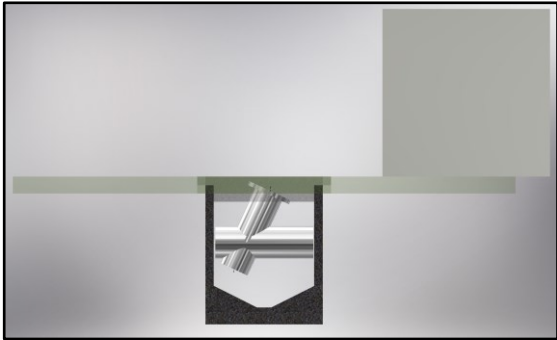
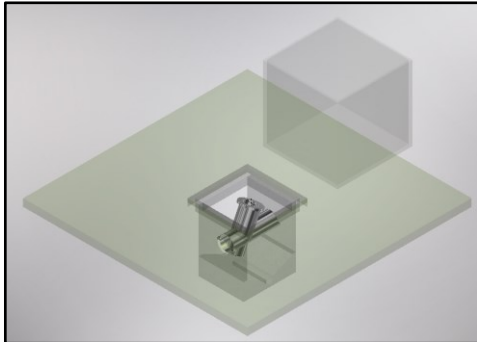
Se propone un tipo de carcasa dividida en tres secciones que mantenga el eje del tornillo al centro del receptáculo, evitando contacto en la parte superior de este. No obstante, para el diseño preliminar se genera una aproximación de forma con el módulo inferior completo sin secciones, ya que solo se requiere percibir la geometría de este.

Tabla 11: Evolución de bocetos para la generación del módulo inferior.

❖ En este esquema se ilustran sólo el receptáculo en la parte inferior y el Bin para los desechos en la parte superior, para generar una idea en 2D de las distancias y geometrías. ❖ El flujo ingresa por la parte izquierda del receptáculo, saliendo por la parte derecha	Vista Frontal Boceto base del sistema 
❖ Se debe generar una sección perpendicular a la inclinación del tornillo en la parte inferior del módulo para poder sostener el sistema motriz. ❖ El diámetro de tubería se estima en 180 [mm], pensando en albergar dentro una malla, que a su vez contendrá en su interior el helicoidal, separados al menos por 3 [mm], sabiendo que el tornillo posee un diámetro de 160 [mm]	Vista Frontal Boceto Módulo Inferior 
❖ Se proyectan ambos esquemas superpuestos para medir los espacios y modelar la sección. ❖ Se propone implementar una brida en la parte superior de este módulo para generar el ensamble con el módulo medio.	Vista Frontal Boceto de superposición 

Tras la esquematización, se procede a generar el modelo en 3D, entregando una concepción aproximada de la apariencia del prototipo.

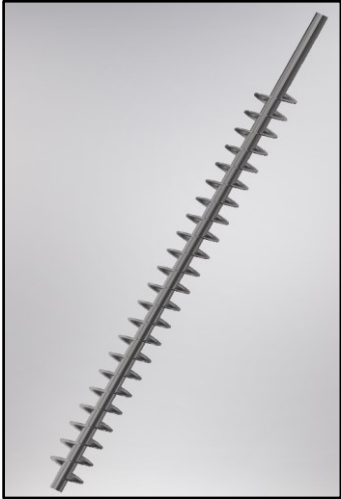
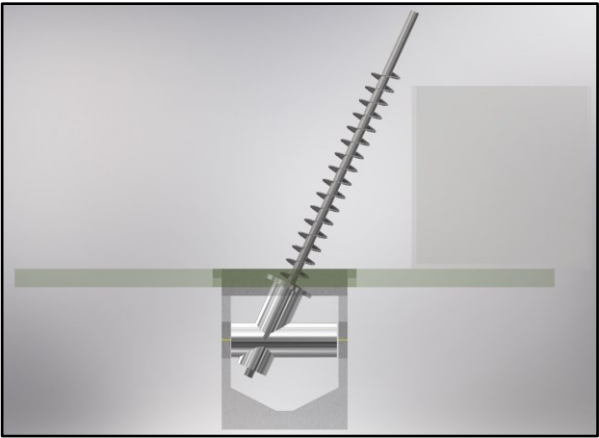
Tabla 12: Evolución 3D para la generación de módulo inferior.

Vista frontal Receptáculo con Bin 	Vista Isométrica Receptáculo con Bin 
Vista frontal Módulo de Carcasa Inferior 	Vista Isométrica Módulo de Carcasa Inferior 
Vista frontal Ensamble General 	Vista Isométrica Ensamble General 

6.4.2.- Módulo Central - Tornillo

Anteriormente se ha modelado un tornillo básico, este carecía de representatividad, debido a que se genera con parámetros imaginarios, sin cálculos ni especificaciones, con el único fin de poder crear una ilustración del ángulo buscado. El actual tornillo se modela de forma sencilla, solo involucrando la hélice con un eje central, pese a que usualmente llevan un tubo hueco central, en cuyo interior alberga al eje macizo.

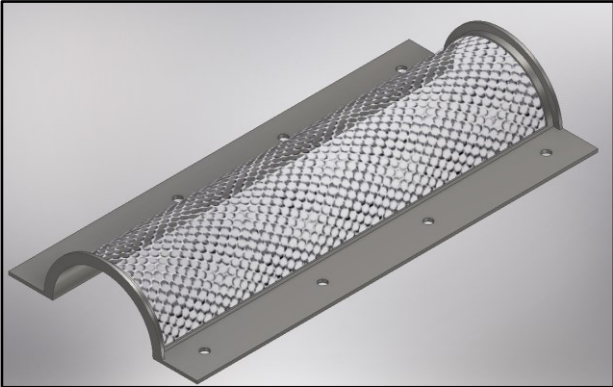
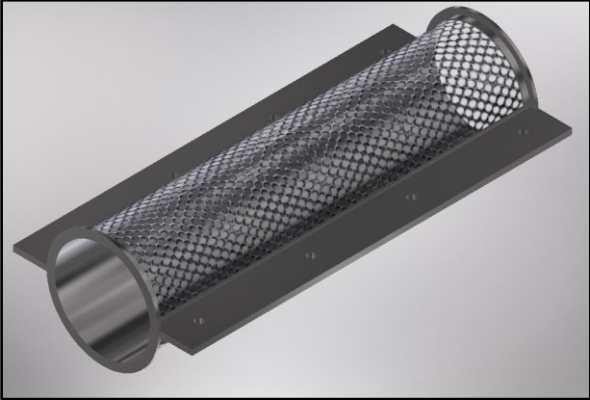
Tabla 13: Descripción de modelamiento para tornillo helicoidal.

Tanto el espesor de aleta como el eje del tornillo helicoidal, son de dimensiones estimadas, en vista que no se requiere mayor detalle para una aproximación de forma. Consideraciones para el modelo: ➤ Diámetro de Hélice = 160[mm] ➤ Paso de Hélice = 80 [mm] ➤ Espesor de Hélice = 5 [mm] ➤ Largo de Hélice = 1800 [mm] ➤ Largo de eje = 2200 [mm]	Vista Isométrica Tornillo Helicoidal 
Vista Isométrica Tornillo Helicoidal 	Con este ensamble se verifica: ➤ El largo del eje es apto para albergar el módulo superior con sistema motriz. ➤ El largo del helicoidal es suficiente para llegar a la altura de depósito. ➤ La inclinación propuesta, es apta para la posición del prototipo.

6.4.3.- Módulo Central - Malla

La malla está pensada en secciones al igual que las partes anteriores, con aletas laterales para poder fijarse a su sector. Este modelo se utiliza como ejemplo y se le aplica escaso detalle.

Tabla 14: Descripción de modelamiento para módulo de malla.

❖ Estructuralmente se diseña la malla con marcos de perfil circular adheridos en los extremos para darle forma y rigidez. ❖ Posteriormente se adhieren aletas para generar la superficie de sujeción al resto del sistema.	Vista Isométrica Sección de malla simple 
❖ Esta representación evidencia la forma en que deben ensamblarse una vez estando en el sistema. ❖ Se espera calcular o especificar el largo crítico de malla para conservar su rigidez y eficacia una vez el modelo sea aceptado. ❖ Esta forma de ensamble, permite quitar por separado las secciones de malla al realizar el mantenimiento, optimizando los tiempos y labores a realizar.	Vista Isométrica Módulo de malla completa 

Estos módulos de malla se generan de un largo de aproximadamente 800 [mm] con el fin de estandarizar la medida y de separar el largo total en 3 secciones como máximo. Para modelos futuros se pretende un largo equidistante en lo posible.

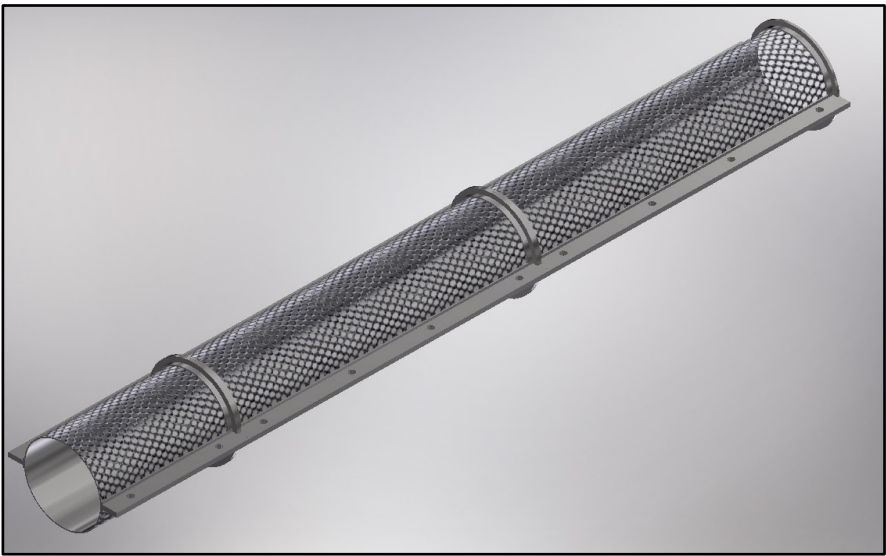


Figura 45: Vista isométrica - Representación para mallas en ensamble.

Pese a que en la imagen pareciera que las mallas están ensambladas entre ellas, esto no es así, es solo la forma representativa de cómo se disponen cuando el equipo está completo. Las mallas se fijan a la carcasa media a través de sus aletas, y de esta forma mantienen la sujeción.

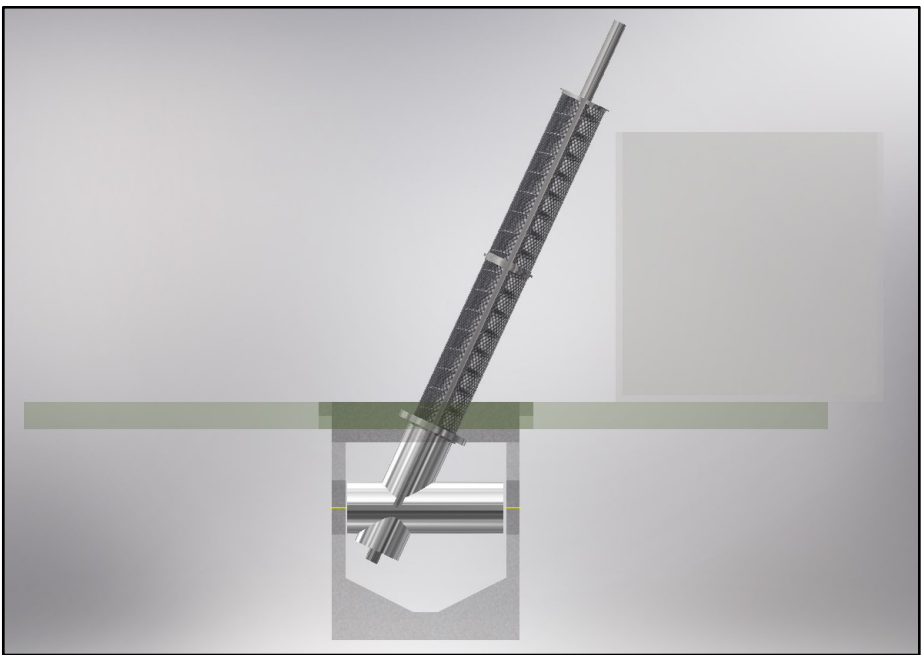


Figura 46: Vista Lateral – Ensamble de mallas en conjunto general.

6.4.4.- Módulo Central - Carcasa

Se espera que la sección de carcasa sea un medio tubo de acero inoxidable, con aletas en los costados y bridas en sus extremos

Tabla 15: Descripción de modelamiento para módulo de carcasa media.

❖ Esta carcasa mide aproximadamente 1400[mm] de largo. ❖ Posee un diámetro de aproximadamente 180[mm]. ❖ Las bridas poseen un espesor estimado de 25[mm] ❖ La brida tiene un diámetro exterior aproximado de 273[mm]	Vista Isométrica Sección de carcasa media 
❖ Las aletas del módulo miden aproximadamente 33[mm] de ancho y 10[mm] de espesor. ❖ Se pretenden 6 perforaciones a lo largo de las aletas laterales para el ensamble del módulo completo ❖ Las perforaciones son de 14[mm].	Vista Isométrica Módulo de carcasa media completa 

A continuación, se presentan algunas modelaciones 3D para ejemplificar de mejor manera el ensamble general del sistema.

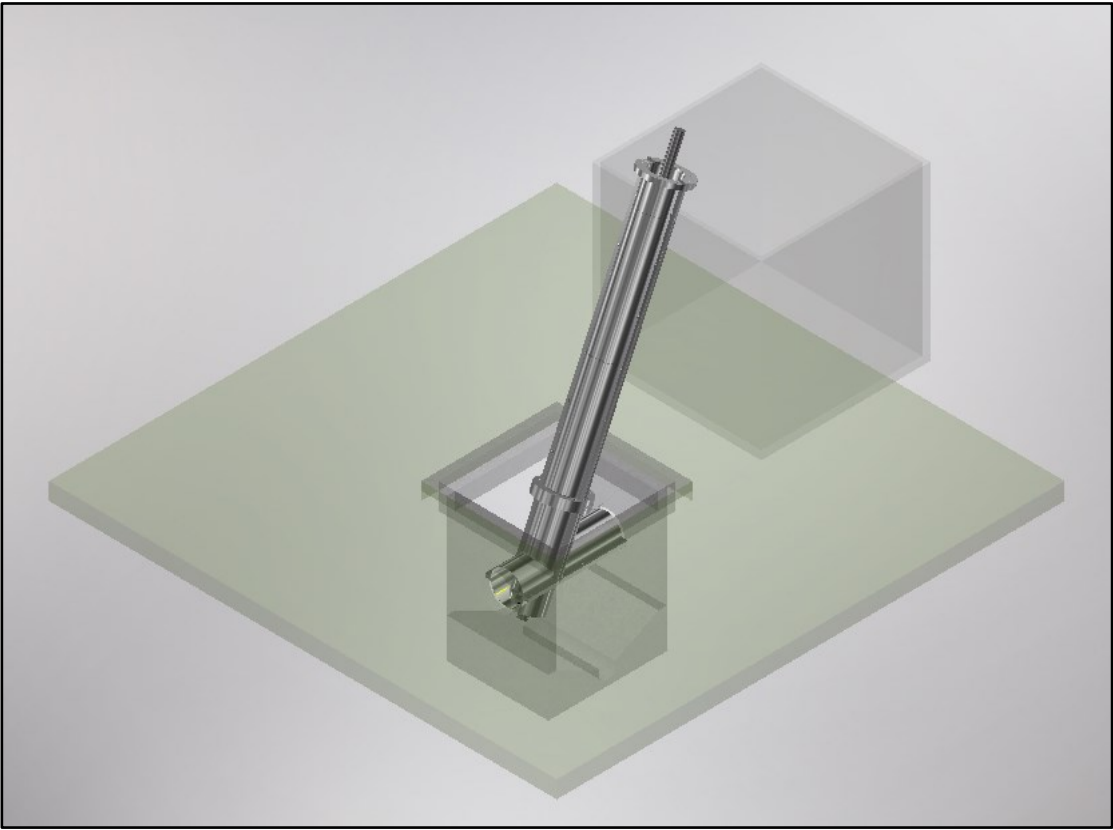


Figura 47: Vista Isométrica - Ensamble general con Módulo de carcasa media.

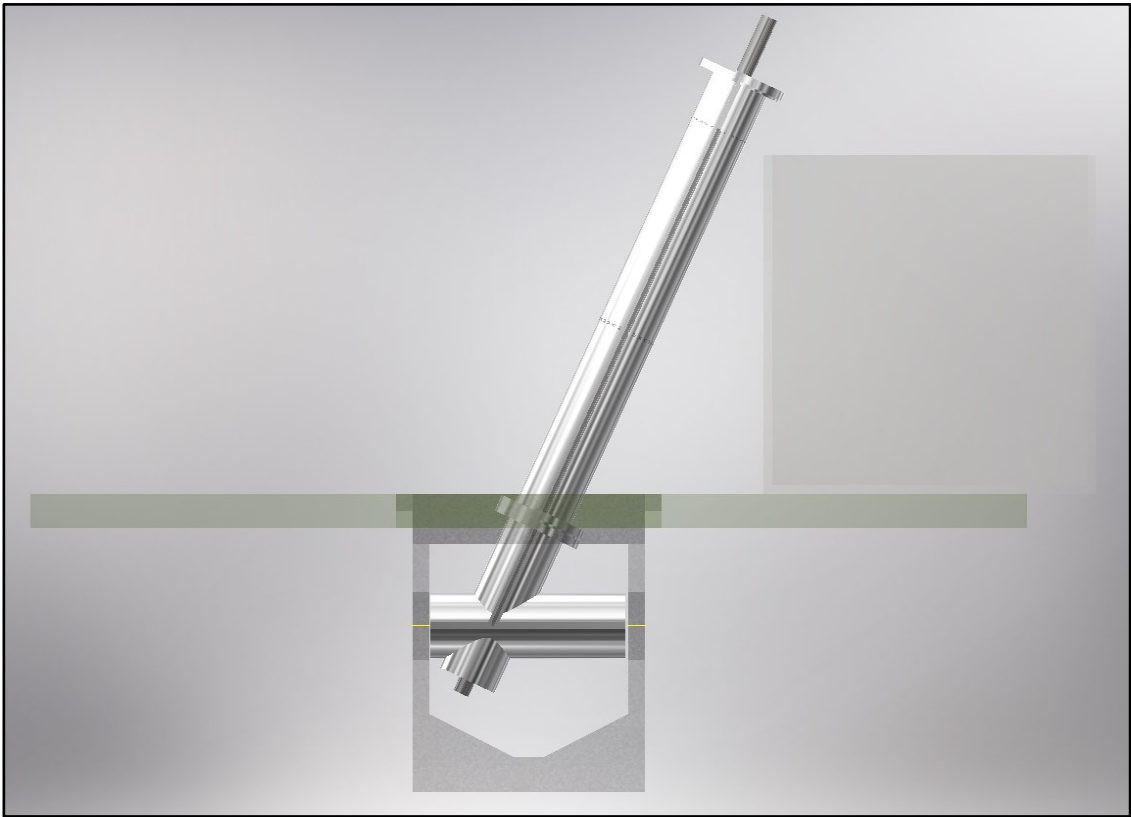
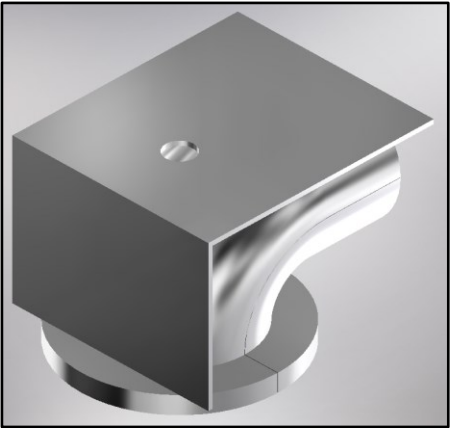


Figura 48: Vista Lateral - Ensamble general con Módulo de carcasa media.

6.4.5.- Módulo Superior - Boca de salida

La idea general del módulo superior involucra los sistemas motrices, pero tal como se menciona en fases anteriores, esta aproximación de forma no requiere un detalle de tal calibre para ser aprobada por el equipo de trabajo.

Tabla 16: Descripción de modelamiento para módulo Superior.

❖ Este codo de 90° está dividido longitudinalmente al igual que los módulos anteriores. ❖ Posee un diámetro de 180 [mm]. ❖ La brida en su parte inferior también conserva las características de las bridas anteriores.	Vista Isométrica delantera Módulo de carcasa superior 
❖ Se adhiere una placa superior con una perforación en el punto donde pasa el eje del helicoidal y en donde se pretende ubicar el sistema de soporte y lubricación superior del mismo. ❖ Se adhiere una placa trasera para la posterior instalación del sistema motriz.	Vista Isométrica trasera Módulo de carcasa superior 

A continuación, se presentan algunas modelaciones 3D para ejemplificar de mejor manera el ensamble general del sistema.



Figura 49: Vista Lateral - Ensamble general completo.

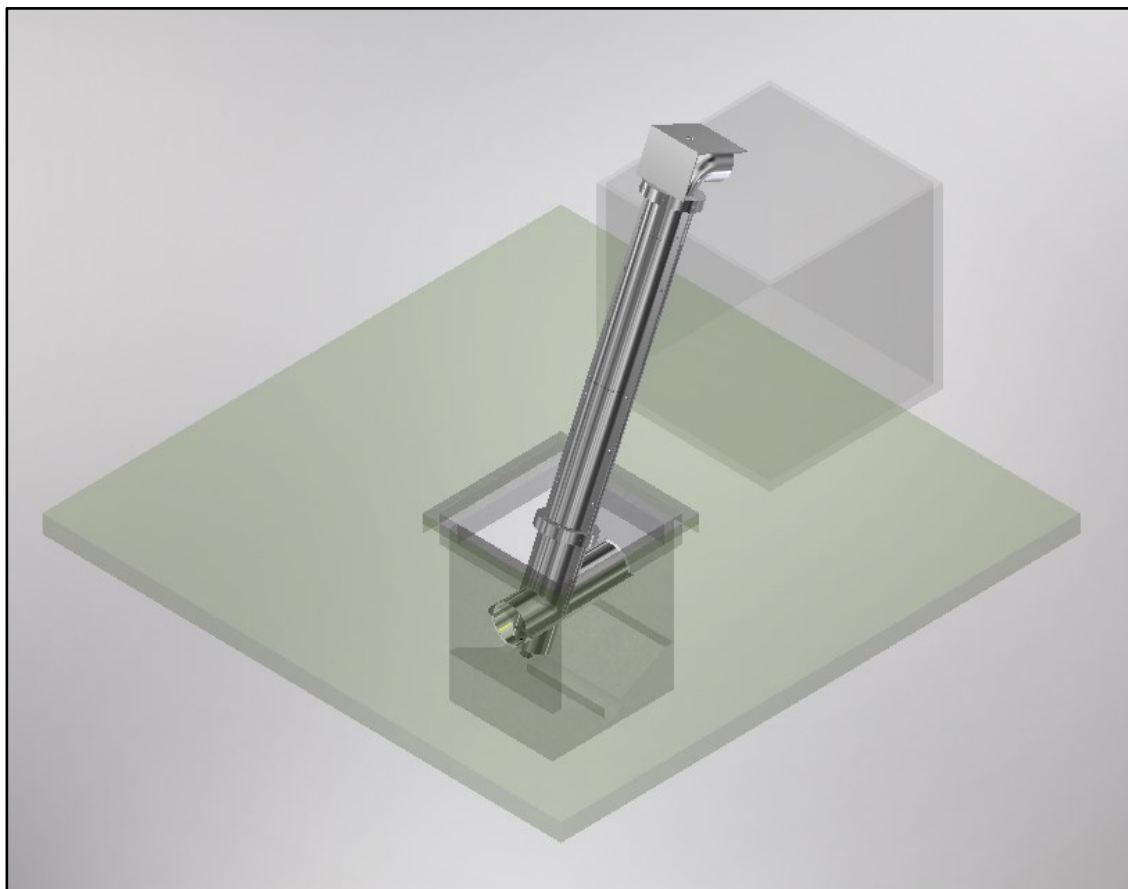


Figura 50: Vista Isométrica - Ensamble general completo.

6.5.- Diseño Optimizado - Transportador Helicoidal

Tras la evaluación y aprobación por ambas partes del modelo propuesto, se incurre en una fase de perfeccionamiento y detalle de los componentes, en la cual se involucran mayor cantidad de parámetros que pueden influir en el funcionamiento del transportador helicoidal. Se realizan cálculos más elaborados y se especifica de forma mucho más contundente las dimensiones y características particulares. Este nuevo diseño no representa un problema para las dimensiones del receptáculo ni el entorno próximo, ya que cada estimación propuesta para el modelo preliminar se ha planteado desde el punto de vista menos favorable para el sistema, por lo que se presume que las nuevas especificaciones para este sistema están dentro de los límites planteados.

De todos los sistemas y componentes del prototipo, el tornillo representa el mayor desafío para el desarrollo del producto, ya que es la base fundamental de operaciones para el sistema de transporte y filtrado. Además, sus parámetros de operación dependen de muchos más factores que los módulos aledaños, siendo por esta razón, el conjunto mecánico con mayor probabilidad de fallos.

Para realizar un correcto diseño y mantener la línea de información probada y funcional, se utilizan manuales y catálogos de fabricantes y distribuidores internacionales expertos en la manufactura de transportadores helicoidales.

Uno de estos fabricantes del cual se obtiene información, es la empresa internacional “Martin Sprocket & Gear” con sede corporativa en Estados Unidos. Dentro de los servicios que se le puede atribuir están la manufactura de componentes de transmisión de potencia, equipos de manejo de materiales y herramientas industriales de mano usando maquinación, fabricación, forja, fundición, sinterizados, productos de manejo de materiales y herramientas industriales

El segundo fabricante cuyos procedimientos y variedad de productos sirve como guía para el desarrollo del prototipo, es la empresa mexicana “Bega Helix S.A de C.V”. Dentro de sus servicios están la manufactura de productos para el manejo de materiales, almacenaje y envasado. Ofrecen productos tales como transportador helicoidal completo, elevadores de cangilones, ensacadoras etc.

6.5.1.- Procedimiento de Diseño

Martin’s Sprocket ofrece un catálogo de sus productos y servicios en generales, del cual pueden extraerse guías para seleccionar los parámetros correctos para cada tipo de transportador según el caso de estudio. No obstante, estos pasos no equivalen los capítulos de desarrollo del proyecto.

Tabla 17: Guía - Diseño de transportador helicoidal. (MS&G, 2013)

Etapa	Descripción
Paso 1	Establecer los factores conocidos: 1. Material a Transportar. 2. Tamaño máximo de partícula. 3. Capacidad en pies cúbicos por hora. 4. Capacidad requerida en libras por hora. 5. Distancia a la que debe transportar el material 6. Factores adicionales que afectan el transportador o su operación
Paso 2	Clasificación de material usando tablas proporcionadas por fabricante
Paso 3	Determinar la Capacidad de Diseño
Paso 4	Determinar el diámetro y velocidad, utilizando la capacidad requerida en pies cúbicos por hora, la clasificación del material y el porcentaje de carga de artesa.
Paso 5	Revisar el diámetro mínimo del helicoidal por limitaciones en el tamaño de partículas, utilizando el diámetro conocido del helicoidal y el porcentaje de tamaño de partícula.
Paso 6	Determinar Potencia
Paso 7	Revisar la capacidad torsional y/o de potencia de los componentes de los transportadores
Paso 8	Selección de componentes
Paso 9	Selección de Buje

6.5.2.- Factores Conocidos

Para iniciar este proceso de diseño de transportador, se deben establecer los factores conocidos para la posterior determinación de parámetros y desarrollo de cálculos.

6.5.2.1.- Material a transportar

El material a tratar en gran medida es orujo, residuos orgánicos provenientes de los procesos productivos del vino. Por otro lado, existe un porcentaje menor, pero muy importante de elementos contaminantes de diversa naturaleza proveniente de sectores adyacentes a los canales.

6.5.2.2.- Tamaño máximo de partícula

Anteriormente se ha propuesto el tamaño partícula máxima como objeto contundente no deformable de 40 [mm].

6.5.2.3.- Capacidad Requerida en pies cúbicos por hora

Este valor indica el volumen de material por hora que ingresa al prototipo, con el fin de seleccionar las características necesarias para procesar el flujo hasta en las condiciones más exigentes de operación. Para este propósito, la viña proporciona datos mensuales de caudales durante el año 2017, indicando que es el año con mayores valores de flujo.

Tabla 18: Valores de caudales RIL del año 2017 – Primer Semestre.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Q [m³/mes]	682	1612	3725	5197	4122	2247
Q max [m³/día]	86	189	223	395	243	160

Tabla 19: Valores de caudales RIL del año 2017 - Segundo Semestre.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Q [m³/mes]	2251	1994	1567	1586	480
Q max [m³/día]	285	178	103	239	96

A partir de estos registros, se observa que el caudal máximo diario que se presenta en el año es de 395 [m³/día]. Considerando que la fábrica procesa flujo de residuos líquidos durante las 24 horas, se calcula que el caudal por hora equivale a 16.4 [m³/h]. Para cálculos posteriores es conveniente utilizar esta cifra en unidades americanas, expresando el caudal como 580 [ft³/h]

$$Q_{vh} = 16.5 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$Q_{vh} = 580 \text{ [ft}^3\text{/h]}$$

Donde:

Q_{vh}: Caudal volumétrico diario de residuos líquidos industriales.

6.5.2.4.- Capacidad Requerida en libras por hora

Ya que el material a tratar no es homogéneo, calcular la densidad de material sería poco representativo. Para obtener este dato, la viña indica que se producen 294,719 [kg] de desechos sólidos en el año 2017. Este valor indica la cantidad de material que se moverá a través del transportador helicoidal, a diferencia del caudal volumétrico que sólo es relevante en la sección inferior donde se recepción.

Se estima que la cantidad de desechos sólidos es proporcional al caudal de residuos líquidos (este caudal de residuos líquidos contiene los desechos sólidos indicados). Al sumar todos los caudales por mes del año, se obtiene un valor de 25,456 [m³/año]. Para determinar el caudal másico que se procesa en el sistema diariamente, se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{Q_{ma} \times Q_{vd}}{Q_{va}}$$

Donde:

- Qmd:** Caudal másico diario; [kg/día]
- Qma:** Caudal másico anual; 294,719 [kg/año]
- Qvd:** Caudal volumétrico de residuos líquidos industriales diario; 395 [m³/día]
- Qva:** Caudal volumétrico de residuos líquidos industriales anual; 25,456[m³/año]
- Qmh:** Caudal másico por hora; [lb/h]

Al reemplazar los valores, se obtiene:

$$Q_{md} = 4,573 \text{ [kg/día]} \approx 4.6 \text{ [ton/día]}$$

Estos valores consideran 24 horas de funcionamiento, por tanto, el valor para el caudal másico por hora es:

$$Q_{mh} = 190.5 \left[\frac{kg}{h} \right] = 420 \left[\frac{lb}{h} \right]$$

6.5.2.5.- Distancia a la que se debe transportar el material

Este valor se obtiene de forma aproximada mediante un cálculo triangular. Este valor puede variar sin mayores implicancias para el prototipo ya que se basa en el ángulo fijo de inclinación requerido de 65° , la altura estimada entre el punto más bajo del transportador helicoidal y el tope antes de la boca de salida, y por último el factor variable, la distancia horizontal a la que se disponga el Bin.

Ya que este último un valor es muy irrelevante, pero aun así condicionante, se estima un largo de transportador de aproximadamente 2 [m], este se adaptará a los valores recomendados por fabricante durante la selección.

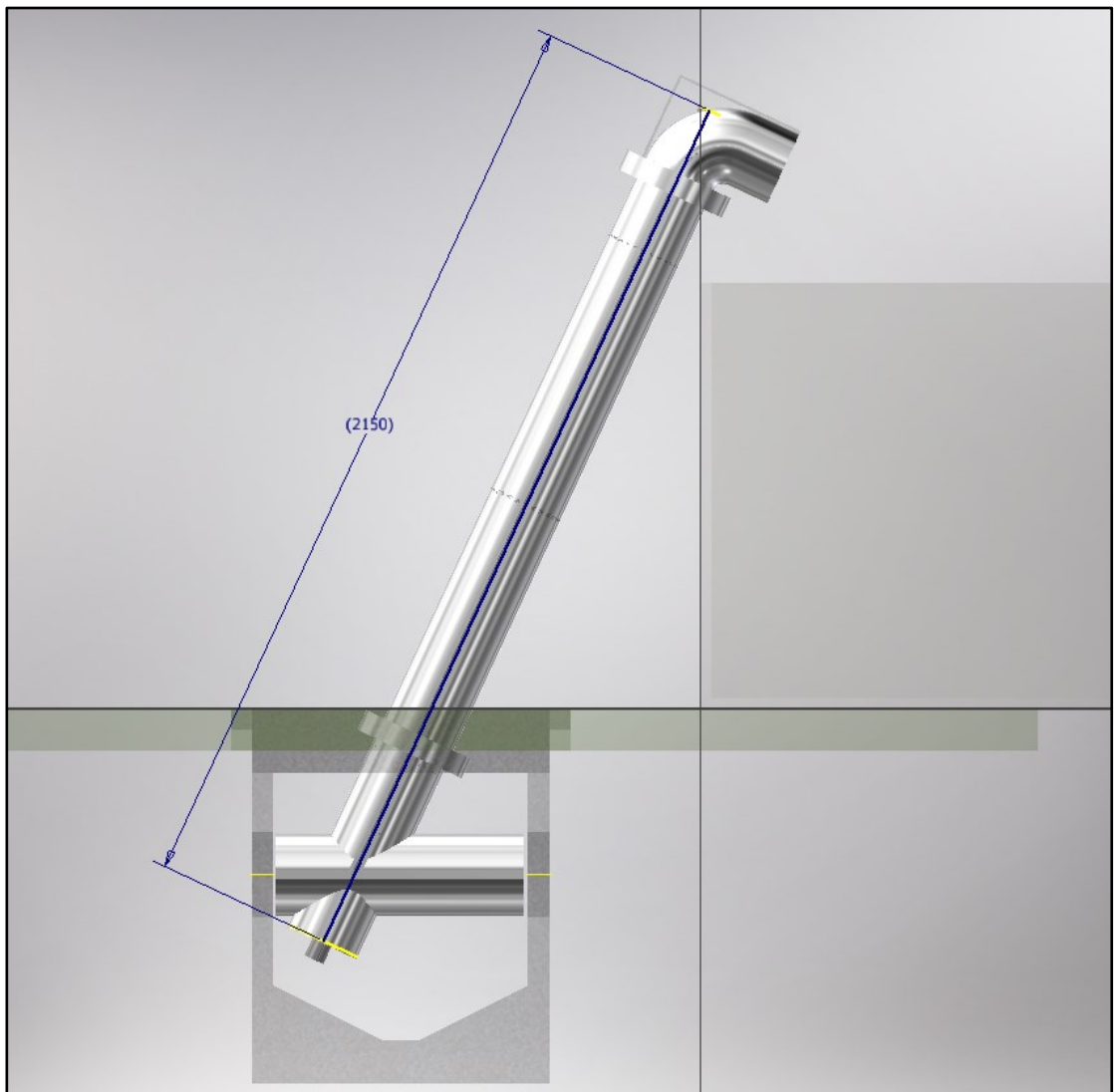


Figura 51: Vista Isométrica - Ensamble Modelo Preliminar.

6.5.3.- Clasificación de material

Para establecer las propiedades físicas del material, se dispone de valores proporcionados por fabricante de los materiales más utilizados en el transporte a granel, con el fin de generar un código de material y así seleccionar la combinación más adecuada.

Tabla 20: Propiedades características de materiales. (MS&G, 2013)

Clase	Característica de material		Código
Densidad	Densidad a granel, Sin Compactar		Libras por pie cúbico
Tamaño	Muy Fino	Malla No. 200 (.0029") y menor	A ₂₀₀
		Malla No. 100 (.0059") y menor	A ₁₀₀
		Malla No. 40 (.016") y menor	A ₄₀
	Fino	Malla No. 6 (.132) y menor	B ₆
	Granular	1/2" y menor (malla 6" a 1/2")	C _{1/2}
		3" y menor (1/2" a 3")	D ₃
		7" y menor (3" a 7")	D ₇
	Terrones	16" y por debajo (0" a 16")	D ₁₆
		Arriba de 16" a ser especificado	D _X
	Irregular	X=Tamaño Máximo	
Fluidez	Fibroso, Cilíndrico, etc.		E
	Fluido Muy Libre		1
	Fluido Libre		2
	Fluido Promedio		3
Abrasividad	Fluido Lento		4
	Abrasividad Media		5
	Abrasividad Moderada		6
	Abrasividad Extrema		7

Tabla 21: Propiedades particulares de los materiales. (MS&G, 2013)

Propiedades Misceláneas o Peligrosas	Acumulación y Endurecimiento	F
	genera Eléctrica Estática	G
	Descomposición - Se Deteriora en Almacenamiento	H
	Inflamabilidad	J
	Se Hace Plástico o Tiende a Suavizarse	K
	Muy Polvoso	L
	Al Airearse Se Convierte en Fluido	M
	Explosividad	N
	Pegajoso — Adhesión	O
	Contaminable — Afecta uso	P
	Degradable — Afecta uso	Q
	Emite Humos o gases Tóxicos Peligrosos	R
	Altamente Corrosivo	S
	Medianamente Corrosivo	T
	Higroscópico	U
	Se Entrelaza, Enreda o Aglomera	V
	Presencia de Aceites	W
	Se Comprime Bajo Presión	X
	Muy Ligero — Puede Ser Levantado por el Viento	Y
	Temperatura Elevada	Z

Según esta información, se pueden seleccionar las propiedades que mejor describen el material a procesar:

Tabla 22: Propiedades más cercanas al material evaluado.

Clase	Característica de material	Código
Densidad	Densidad a granel, Sin Compactar	[lb/ft³]
Tamaño	Granular 3" y menor (1/2" a 3")	D ₃
	Irregular Fibroso, Cilíndrico, etc.	E
Fluidez	Fluido Promedio	3
Abrasividad	Abrasividad Media	5
Propiedades Misceláneas o Peligrosas	Descomposición	H
	Higroscópico	U
	Se Comprime Bajo Presión	X
	Medianamente Corrosivo	T

Estas características se organizan en un código con el que es posible comparar diversos materiales. En este caso específico debido a la naturaleza irregular y heterogénea del material es necesario establecer más de una característica para intentar definir el material de la forma más certera posible. Este código se lee de la siguiente forma:

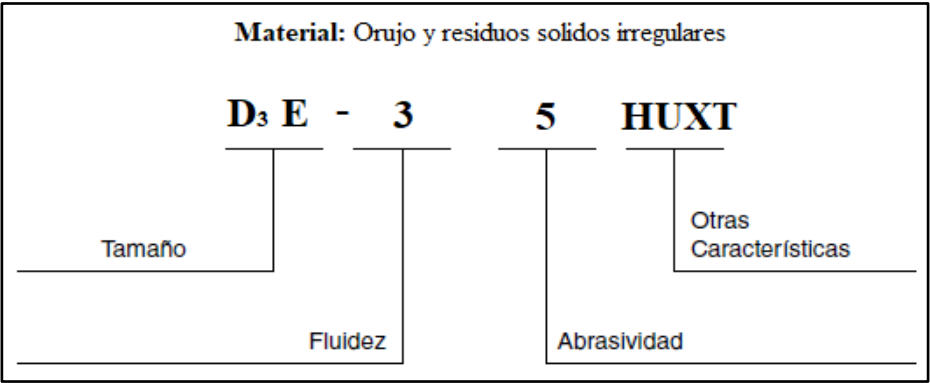


Figura 52: Código del material evaluado.

No obstante, es improbable que algún material reúna exactamente las mismas características que se pretenden cubrir, es por esto que se analizan y comparan algunas alternativas cuyo código y composición son similares al caso evaluado.

Para realizar esta comparación, el fabricante dispone de una lista de materiales con su características y códigos correspondientes. La correcta elección del tipo de material es fundamental para la selección de parámetros en los procesos posteriores. A partir de la información proporcionada, se estima que los siguientes podrían ser los materiales con las propiedades más parecidas a las del material a tratar:

Tabla 23: Característica de los materiales con mayor similitud al evaluado.

Material	Pulpa de Uva	Lodos de drenaje secos	Lúpulo húmedo
Peso [lb/ft³]	15-20	40-50	50-55
Código de Material	D ₃ -45U	E-47TW	D ₃ -45V
Selección de Rodamiento	H	H	L-S
Serie de Componentes	2	3	2
Factor de material	1.4	0.8	1.5
Carta artesa	30 ^a	15	30A

En vista que estos materiales poseen propiedades similares en algunos parámetros y muy distintos en otros, se opta por conservar los tres como guía para la selección de características en fases posteriores, con la particularidad de utilizar la característica más desfavorable en cada proyección, para así cubrir el peor de los escenarios.

6.5.4.- Capacidad del transportador

Este valor indica la cantidad de masa por unidad de tiempo que es capaz de procesar el transportador, según las características del material. Involucra la capacidad másica que según la empresa se genera durante el año y se aplican ciertos factores de reducción que representan las características físicas del transportador que conllevan una disminución en la capacidad de carga. Esta capacidad se determina mediante la expresión:

$$C_e = C_r \times (CF1) \times (CF2) \times (CF3)$$

Donde:

- Ce: Capacidad equivalente; [ft³/h]
- Cr: Capacidad requerida (**Qmh**); [ft³/h]
- CF1: Factor de capacidad para transportador con paso especial; [-]
- CF2: Factor de capacidad para transportador con helicoidal especial; [-]
- CF3: Capacidad para transportador con paletas mezcladoras; [-]

Anteriormente se establece que la capacidad másica por hora que se necesita procesar es de 420 [lb/h], no obstante, se requiere de un valor en unidades volumétricas para hacer efectivo el cálculo de capacidad equivalente. Para esto se recurre a la densidad medida experimentalmente, 81.1 [lb/ft³]. Pese a que el material no es homogéneo, se toma esta densidad como una muestra representativa del material, por tanto, se utiliza este valor como una densidad promedio y válida para un supuesto certero. No obstante, este material ha visto su contenido de humedad considerablemente reducido. Se estima que equivale aproximadamente a un 20% del material a procesar por el transportador, por lo tanto, la capacidad requerida para el cálculo de capacidad equivalente es:

$$C_r = \frac{420 \left[\frac{lb}{h} \right] \times \frac{100}{20}}{81.1 \left[\frac{lb}{ft^3} \right]} = 20.7 \left[\frac{ft^3}{h} \right] \approx 21 \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

Ya con este valor, se deben identificar los factores asociados a la disminución de capacidad de carga. Para esto se utilizan tablas de fabricante basadas en comprobaciones empíricas de funcionamiento.

Tabla 24: Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF1.

Paso	Descripción	CF ₁
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = 1 1/2 Diámetro del Helicoidal	0.67

Tabla 25: Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial CF2.

Tipo de Carga del Transportador Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

- ❖ N.R.* = No se recomienda.
- ❖ Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal: CF₂ = 1.0.

Tabla 26: Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras CF3.

Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor CF ₃	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Tras la evaluación de las tablas, se resalta en negrita los valores de cada factor correspondiente al caso de estudio. Los parámetros para la selección de factores involucran hélice con paso medio, sin características especiales y sin paletas, por lo tanto:

CF₁ = 2.00

CF₂ = 1.0

CF₃ = 1.00

Con estos factores seleccionados y la capacidad requerida calculada, se procede a determinar la capacidad equivalente para el sistema.

$$Ce = Cr \times (CF1) \times (CF2) \times (CF3)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$Ce = 21 \left[\frac{ft^3}{h} \right] \times 2 \times 1 \times 1$$

Finalmente se obtiene que la capacidad equivalente para los cálculos del sistema es de 42 pies cúbicos por hora.

$$Ce = 42 \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

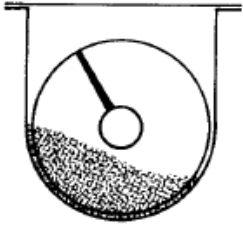
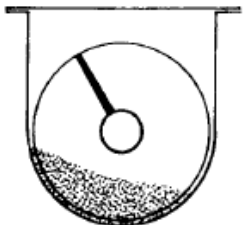
6.5.5.- Velocidad de giro del transportador

Esta velocidad de giro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{\text{Capacidad equivalente} \left[\frac{ft^3}{h} \right]}{\text{Pies cúbicos por hora @ 1 RPM}}$$

Esta velocidad de giro no debe superar el valor máximo propuesto por fabricante mediante evaluaciones de funcionamiento. Para identificar los valores requeridos, se recurre a tablas de fabricante donde se establecen los pies cúbicos por hora que se puede procesar con funcionamiento a 1 RPM y se establecen las RPM máximas a las que se puede operar según la capacidad equivalente que se calculó anteriormente.

Tabla 27: Diámetros y revoluciones por minuto para cargas de artesa de 15% y 30%.

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
		30	216.00	12960	60
15%		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
		30	108.00	3780	35

En esta tabla se indican los pies cúbicos por hora capaces de ser procesados por el transportador, tanto a 1 RPM, como a máximas RPM, basándose en el porcentaje de carga de la artesa y la capacidad equivalente anteriormente calculada.

Debido a la irregularidad con la que llega el flujo al receptáculo de operación, se opta por preferir la carga de 15%, esto debido a su similitud con la realidad de la viña. Se requiere de una capacidad de al menos 42 pies cúbicos por hora, por lo que se selecciona la opción más cercana a esta para una carga del 15%, que en este caso es de 45 pies cúbicos por hora. Esto conlleva que la velocidad máxima de operación para el sistema debe ser de 60 RPM y la capacidad procesable a la velocidad de 1 RPM es de 0.75 [ft³/h].

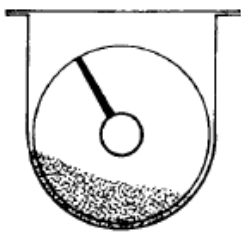
Según los parámetros identificados, al reemplazar en la ecuación original se obtiene que la velocidad de giro del transportador es:

$$n = \frac{42 \left[\frac{ft^3}{h} \right]}{0.75 \left[\frac{ft^3}{h} \right]} = 56 \text{ RPM}$$

6.5.6.- Diámetro de transportador

A partir de la información proporcionada por fabricante en la tabla de capacidades, se selecciona el diámetro óptimo para el funcionamiento del transportador a 56 RPM.

Tabla 28: Diámetros y revoluciones por minuto para cargas de artesa de 15%.

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
15%		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
		30	108.00	3780	35

Por lo tanto, se establece que el diámetro del transportador es de:

$$D = 6 \text{ [in]} = 152.4 \text{ [mm]}$$

6.5.7.- Limitación en tamaño de partículas

El tamaño de un transportador helicoidal no sólo está determinado por la capacidad requerida, sino también por el tamaño y la proporción de las partículas del material que están siendo manejadas. El tamaño de una partícula es la máxima dimensión que tiene. Si una partícula tiene una dimensión más grande que su sección transversal, esa dimensión mayor determinará el tamaño de la partícula. Las características del material y de la partícula también afectan. Algunos materiales tienden a formar partículas grandes y duras que no se rompen al moverse dentro del transportador. En ese caso deben tomarse medidas para manejar dichas partículas. Otros materiales pueden tener partículas relativamente duras, pero que pueden reducir su tamaño al moverse a través del transportador. Otros materiales tienen partículas que se rompen fácilmente en el transportador helicoidal por lo que estas partículas no imponen limitaciones. Para este caso, el fabricante establece tres clases de materiales:

Tabla 29: Clases de materiales y descripción asociada.

Clase	Descripción
Clase 1	Es una mezcla de partículas grandes y finas en donde no más del 10% son partículas con un tamaño mayor de la mitad del máximo; y 90 % son partículas menores a la mitad del tamaño máximo.
Clase 2	Es una mezcla de partículas grandes y finas en donde no más del 25% son partículas con un tamaño máximo de la mitad del máximo; y 75 % son partículas menores a la mitad del tamaño máximo.
Clase 3	Es una mezcla de únicamente partículas grandes en donde el 95% son partículas con un tamaño máximo de la mitad del máximo; y 5% o menos son partículas menores a una décima parte del tamaño máximo.

Anteriormente se ha establecido que el tamaño máximo de partícula es aproximadamente 40 [mm]. Al comprar este valor con el de las tablas propuestas por fabricante, se asocia con la **Clase 1**, que coincide con la selección de diámetro de transportador de 6 pulgadas. Cabe mencionar que este diámetro es el mínimo que presenta la tabla de fabricante.

Tabla 30: Tamaño máximo de partícula según clase para helicoidal de 6 pulgadas.

Diámetro del Helicoidal [in]	Tubo [in]	Clase 1	Clase 2	Clase 3
6	2 3/8	1 1/4	3/4	1/2

6.5.8.- Cálculo de Potencia Total

La potencia requerida es la suma de la potencia necesaria para vencer la fricción (mover el transportador vacío), la potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad especificada y la potencia necesaria para vencer la inclinación. A este valor se le aplica un factor de sobrecarga **Fo** y se divide por la eficiencia total de la transmisión. El fabricante establece la siguiente expresión para el cálculo de potencia:

$$HP\ total = \frac{(HP_f + HP_m + HP_i) \times F_o}{e}$$

Donde:

- HP total:** Potencia total necesaria para operar el sistema; [HP]
- HP_f:** Potencia necesaria para vencer la fricción; [HP]
- HP_m:** potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad especificada; [HP]
- HP_i:** Potencia necesaria para vencer la inclinación; [HP]
- Fo:** Factor de sobrecarga; [-]
- e:** Eficiencia de la transmisión; [-]

El primer factor a determinar corresponde a la **potencia necesaria para vencer la fricción (HP_f)**. Para esto se utiliza la expresión:

$$HP_f = \frac{L \times N \times F_d \times F_b}{1,000,000}$$

Donde:

- L:** Longitud total del transportador; [ft]
- N:** Velocidad de giro del transportador; **R.P.M**
- F_d:** Factor del diámetro del transportador; [-]
- F_b:** Factor del buje para colgante; [-]

Anteriormente se ha estimado que el largo total del transportador es aproximadamente de 2200 [mm], pero se considera que durante el diseño este valor puede variar, por tanto, se opta por aproximar a 2500 [mm], esto en unidades americanas equivale aproximadamente a 8.2 [ft]. En cuanto a la velocidad de giro, esta ha sido calculada y corresponde a 56 R.P.M.

Para determinar el valor del factor de diámetro del transportador y el factor de buje del colgante se utilizan tablas proporcionadas por fabricante. Para un diámetro de transportador de 6 pulgadas el factor F_d equivale a **18.0 [-]**.

Por otro lado, para determinar el factor de buje del colgante, se recurre a las indicaciones de fabricante sobre el tipo de categoría que debe utilizarse según el material. Dos de los tres materiales indican que debe utilizarse bujes del tipo H, mientras que uno de estos recomienda L o S. Según tablas de fabricante, para categorías L y S el factor de buje es de 2.0 [-], mientras que para la categoría H el factor toma el valor de 4.4 [-], por lo tanto, F_b equivale a **4.4 [-]**. La siguiente tabla resume los valores necesarios para la determinación de la HP_f .

Tabla 31: Parámetros para la determinación de HP_f .

Parámetro	Valor
L	8.2 [ft]
N	56 R.P.M
Fd	18 [-]
Fb	4.4 [-]

Al reemplazar estos valores en la ecuación de HP_f se obtiene:

$$HP_f = \frac{8.2 \times 56 \times 18 \times 4.4}{1,000,000}$$

$$HP_f = 0.036 [HP]$$

Una vez hecho esto, el siguiente eslabón a determinar en la ecuación es la **potencia necesaria para mover el material (HP_m)**, esta se obtiene mediante la expresión:

$$HP_m = \frac{C \times L \times W \times F_f \times F_m \times F_p}{1,000,000}$$

Donde:

- C:** Capacidad; [ft³/h]
- L:** Longitud total del transportador; [ft]
- W:** Densidad del material; [lb/ ft³]
- F_f:** Factor de helicoidal; [-]
- F_m:** Factor de material; [-]
- F_p:** Factor de paletas; [-]

En secciones anteriores se ha determinado que la capacidad equivalente del sistema es de **42 [ft³/h]**, la longitud total del transportador se ha establecido en **8.2 [ft]** y la densidad aproximada es de **81.1 [lb/ ft³]**. Por otro lado, los factores pueden obtenerse mediante tablas de fabricante, donde **F_m** está determinado por el material a tratar y se obtiene de la tabla de características de materiales en el segmento de capacidad del transportador.

Tabla 32: Tabla de factor Fm para cada material seleccionado.

Material	Pulpa de Uva	Lodos de drenaje secos	Lúpulo húmedo
Factor de material	1.4	0.8	1.5

A partir de esta tabla, se observa que el lúpulo húmedo es el material que presenta el factor de mayor valor, lo que conlleva que la potencia necesaria para mover el material seria mayor. Esto representa el caso más desfavorable, ya que implica proponer un sistema motriz de mayor capacidad para poder satisfacer el requerimiento.

En cuanto a los valores de F_f , y F_p , se obtienen a través de tablas proporcionadas por fabricante para este cálculo específico.

Tabla 33: Factor de hélice según tipo de helicoidal y porcentaje de carga de la artesa.

Tipo de Helicoidal	Factor por porcentaje de carga de transportador [F_f]			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doble	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—

Tabla 34: Factor de paleta según número de paletas por helicoidal.

Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido					
Número de Paletas por paso	0	1	2	3	4
Factor de Paleta — F_p	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Al evaluar las tablas y enmarcar los valores correspondientes al caso de estudio, se establece que al utilizar una helicoidal estándar con un porcentaje de carga de 15%, el factor F_f es de **1.0** [-]. En cuanto al número de paletas por helicoidal, este es cero, por tanto, el factor F_p resulta en **1.0** [-]. Tras establecer todas las variables necesarias para calcular la potencia requerida para mover el material, se organizan en una tabla para facilidad de lectura y asociación con la ecuación.

Tabla 35: Parámetros para la determinación de HP_m .

Parámetro	Valor
C	42 [ft ³ /h]
L	8.2 [ft]
W	81.1 [lb/ ft ³]
F_m	1.5 [-]
F_f	1.0 [-]
F_p	1.0 [-]

Reemplazando estos parámetros en la ecuación de **HP_m** resulta:

$$HP_m = \frac{42 \times 8.2 \times 81.1 \times 1.5 \times 1.0 \times 1.0}{1,000,000}$$

$$HP_m = 0.042 \text{ [HP]}$$

Al determinar esta potencia, el siguiente eslabón a calcular es la **potencia necesaria para vencer la inclinación del transportador (HP_i)**. Esto se logra mediante la expresión:

$$HP_i = \frac{M \times H \times 1.341}{367}$$

Donde:

M: Caudal masico de material; [T/h]

H: Altura de levantamiento; [m]

Anteriormente se a establecido que el caudal masico es de 4.6 [T/h] lo que resulta en **0.19 [T/h]**. Mientras que la altura de levantamiento se estima en **2,27 [m]**, valor obtenido a partir del largo de 2.5 [m] propuesto y el ángulo de 65°. Al reemplazar estos valores en la ecuación original se obtiene:

$$HP_i = \frac{0.19 \times 2.27 \times 1.341}{367}$$

$$HP_i = 0.0016 \text{ [HP]}$$

Ya realizados los cálculos de potencia necesarios, se procede a determinar el factor de sobre carga, a partir de una gráfica proporcionada por fabricante:

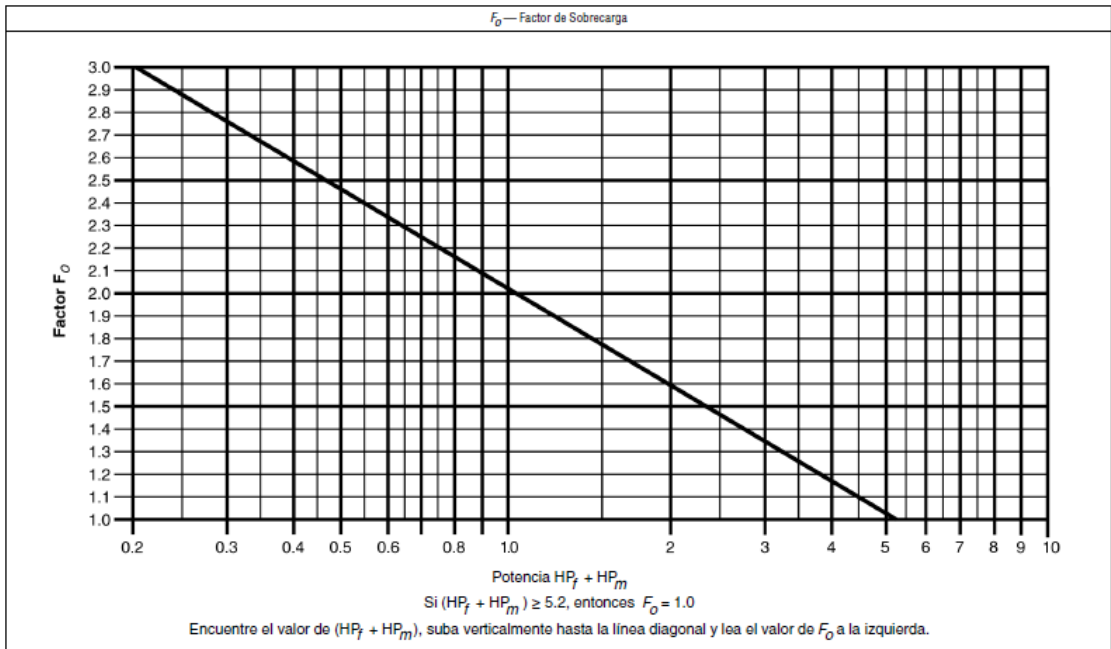


Figura 53: Grafico - Suma de potencias vs Fo. (MS&G, 2013)

Para evaluar este grafico se debe sumar las potencias calculadas anteriormente y con este resultado ingresar en las columnas de potencia hasta interceptar la diagonal y así identificar la fila de factor correspondientes, se indica que para valores de suma de potencia superiores a 5.2 [HP] el factor es de 1.0 [-] y para valores de potencia inferiores a 0.2 se asume un factor de sobre carga de 3.0 [-]. La suma de potencias equivale a:

$$HP_f + HP_m + HP_i = 0.036 + 0.042 + 0.0016 = 0.0796[HP]$$

Este valor escapa a los límites del gráfico, por tanto, se establece que el factor de sobrecarga **F_o** equivale a **3.0 [-]**.

Por último, se determina el **factor de eficiencia de la transmisión (e)**. Este valor se obtiene mediante una tabla de fabricante en el que se exponen los sistemas de transmisión utilizados para la industria:

Tabla 36: Factor “e” según tipo de transmisión. (MS&G, 2013)

Tipo de Transmisión	Factor (e)
Transmisión para transportador helicoidal o montado en eje con transmisión de Bandas en “V”	0.88
Reductor de Engranés Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	0.87
Motorreductor con Cople	0.95
Motorreductor con Transmisión de Cadena	0.87

Según estos valores el caso más desfavorable se presenta cuando el factor de eficiencia es 0.87 [-], correspondiente tanto a “Reductor de Engranés Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople”, como a “Motorreductor con Transmisión de Cadena”. Tras este último factor, se resumen todas las variables necesarias para el cálculo total de potencia en la siguiente tabla:

Tabla 37: Parámetros para la determinación de HP_i. (MS&G, 2013)

Parámetro	Valor
HP _f	0.036 [HP]
HP _m	0.042 [HP]
HP _i	0.0016 [HP]
F _o	3.0 [-]
E	0.87 [-]

Finalmente habiendo establecido todos los valores para el cálculo de la **potencia total necesaria para el sistema (HP total)** se obtiene:

$$HP\ total = \frac{(0.036 + 0.042 + 0.0016) \times 3}{0.87}$$

$$HP\ total = 0.274\ [HP]$$

Por supuesto para proponer un motor adecuado debe ser un estándar superior al calculado, por tanto, se propone un motor de 0.5 [HP] para cubrir todos los escenarios.

6.5.9.- Serie de componentes

Anteriormente en la sección de clasificación de material se ha establecido los grupos de componentes sugeridos para cada material. Estos son de suma relevancia, ya que determinan el diámetro del eje del transportador, diámetros del tubo y la gamma de componentes acordes al tamaño del transportador.

Tabla 38: Número de serie de componentes para los materiales de estudio.

Material	Pulpa de Uva	Lodos de drenaje secos	Lúpulo húmedo
Serie de componentes	2	3	2

Según esta información se evalúan los grupos de componentes 2 y 3 para transportadores de 6 pulgadas de diámetro. Esta información se obtiene a partir de tablas proporcionadas por fabricante.

Tabla 39: Grupos de componentes 2 y 3 para transportador de 6 pulgadas.

Componente	Grupo 2	Grupo 3
Diámetro del helicoidal (pulgadas)	6	6
Diámetro del eje (pulgadas)	1 1/2	1 1/2
Helicoidales Continuos (Código de catálogo)	6H308	6H312
Helicoidales Seccionales (Código de catálogo)	6S309	6S312
Espesor Artesa, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	Calibre 14	Calibre 10
Espesor Cubierta, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	Calibre 16	Calibre 16

A partir de esta información, se observa que las principales diferencias para estos grupos de componentes están en el código de tipo de helicoidal y el espesor de la artesa. Para las consideraciones posteriores debe analizarse si se utilizara helicoidal continua o seccional.

Los helicoidales continuos se forman en una máquina especial de rolado que transforma una cinta de acero en una espiral continua de una sola pieza con el diámetro, el paso y el espesor deseado, listo para instalarse en el tubo. El helicoidal continuo tiene la sección transversal cónica con el espesor del extremo interior de aproximadamente el doble del espesor del extremo exterior. Por otro lado, los helicoides seccionales son hélices individuales formadas en placa de acero al diámetro y paso deseados, listos para instalarse en el tubo. Las hélices se sueldan para formar un helicoidal continuo. Se pueden suministrar en diferentes modificaciones como distintos materiales, diferentes espesores de hélice, diversos diámetros o pasos. El helicoidal seccional tiene el mismo espesor a lo largo de la sección transversal y es la forma más utilizada de fabricación en industrias poco desarrolladas. Es por esta razón que se pretende utilizar helicoidal seccional.

Para este capítulo no se requiere mayor detalle sobre la diferencia de calibres en la artesa, no obstante, debe analizarse la diferencia entre los códigos de helicoidales, ya que puede implicar diferencias en dimensiones de componentes del transportador.

Tabla 40: Parámetros de Tubo - Eje de helicoidal según designación de tamaño.

Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	6	6
Diámetro del Eje (Pulgadas)	1 1/2	1 1/2
Designación de Tamaño	6S309	6S312
Tamaño Nominal de tubo Cédula 40	2	2
Diámetro Exterior de Tubo (Pulgadas)	2.375	2.375
Pared de Tubo (pulgadas)	0.154	0.154
Diámetro interior de Tubo (pulgadas)	2.067	2.067

Tras analizar la información establecida, se observa que la diferencia entre designación de tamaños no refleja una diferencia para los parámetros que se necesitan en este capítulo, por tanto, no se seleccionara una en particular. No obstante, si discrepa en otros parámetros que se analizaran en capítulos posteriores, en donde si será necesario elegir una opción.

6.5.10.- Capacidad Torsional de los Componentes

El diseño general de los transportadores helicoidales está limitado por el torque que pueden soportar los tubos, los ejes y los pernos de acoplamiento. Para esto debemos establecer las dimensiones de dichos elementos del transportador.

Las tablas que tenemos a continuación combinan las diversas capacidades de torsión de los pernos, ejes y tubos de tal forma que resulta fácil comparar la capacidad torsional de todas las partes sujetas a esfuerzos en los transportadores helicoidales estándar. Esta selección se realiza en base al diámetro de eje, cuyo valor es de 1.5 [in].

Tabla 41: Capacidad torsional de Eje y Tubo según diámetro de Eje.

Acoplamiento	Tubo		Ejes	
Diámetro del Eje (Pulgadas)	Cedula 40 (Sch 40)		Torque (lb-Pulgadas)	
	Tamaño (Pulgadas)	Torque (lb-Pulgadas)	Estándar CEMA (C-1018)	Estándar Martin (C-1045)
1	1 1/2	3,140	820	999
1 1/2	2	7500	3,070	3,727
2	2 1/2	14,250	7,600	9,233
2 7/16	3	23,100	15,090	18,247
3	3 1/2	32,100	28,370	34,427

Tabla 42: Capacidad Torsional para pernos según diámetro de Eje.

Pernos					
Diámetro del Eje (Pulgadas)	Diámetro del Perno (Pulgadas)	Pernos al Corte (lb-Pulgadas)		Resistencia de los Barrenos (lb-Pulgadas)	
		N° de Pernos		N° de Pernos	
		2	3	2	3
1	3/8	1,380	2,070	1,970	2,955
1 1/2	1/2	3,660	5,490	5,000	7,500
2	5/8	7,600	11,400	7,860	11,790
2 7/16	5/8	9,270	13,900	11,640	17,460
3	3/4	16,400	24,600	15,540	23,310

El componente que tenga la menor capacidad torsional será el que dicte cuanto torque puede ser soportado por el transportador en su conjunto. Para cada diámetro de eje existe un componente limitante, algunos están los pernos y otros en el eje, en cualquier caso, los valores limitantes aparecen subrayados en las tablas. La expresión que describe esta capacidad torsional de los componentes es:

$$T = \frac{63,025 \times HP}{RPM}$$

Donde:

- T:** Torque que deben soportar los componentes; **[lb-pulgada]**
- HP:** Potencia del motor sugerido; **[HP]**
- RPM:** Velocidad de giro del transportador; **[RPM]**

En este caso, para un eje de 1.5 [in], el componente de menor capacidad torsional es el Eje según estándares CEMA, el cual soporta hasta 3,070 [lb-pulgada]. En cuanto a la potencia del motor, esta es de 0.5 [HP], mientras que la velocidad de giro ha sido calculada anteriormente y es de 56 [R.P.M]. Al reemplazar estos valores en la ecuación original resulta:

$$T = \frac{63,025 \times 0.5}{56}$$

$$T = 562.7 \text{ [lb – pulgada]}$$

Este valor representa casi el 20% de la capacidad torsional que puede soportar el eje, que es el componente menos resistente. Se presume que el sistema es capaz de soportar el torque ejercido por el motor.

6.5.11.- Capacidad de Potencia de los Componentes

El diseño general de los transportadores helicoidales está limitado por la potencia que puede ser transmitida con seguridad por los tubos, los ejes y los pernos de acoplamiento.

Las tablas que tenemos a continuación combinan las diversas capacidades de potencia de los pernos, ejes y tubos de tal forma que resulta fácil comparar la capacidad de todas las partes sujetas a esfuerzos en los transportadores helicoidales estándar.

Tabla 43: Capacidad de potencia de Eje y Tubo según diámetro de Eje.

Acoplamiento	Tubo		Ejes	
Diámetro del Eje (Pulgadas)	Tamaño (Pulgadas)	HP por RPM	HP por RPM	
			Estándar CEMA (C-1018)	Estándar Martin (C-1045)
1	1 1/2	0.049	<u>0.013</u>	0.016
1 1/2	2	0.119	<u>0.048</u>	0.058
2	2 1/2	0.226	<u>0.120</u>	0.146
2 7/16	3	0.366	0.239	0.289
3	3 1/2	0.509	0.450	0.546

Tabla 44: Capacidad de potencia para pernos según diámetro de Eje.

Pernos					
Diámetro del Eje (Pulgadas)	Diámetro del Perno (Pulgadas)	Pernos al Corte HP por RPM		Resistencia de los Barrenos HP por RPM	
		N° de Pernos		N° de Pernos	
		2	3	2	3
1	3/8	0.021	0.032	0.031	0.046
1 1/2	1/2	0.058	0.087	0.079	0.119
2	5/8	0.120	0.180	0.124	0.187
2 7/16	5/8	<u>0.147</u>	0.220	0.184	0.277
3	3/4	0.260	0.390	<u>0.246</u>	0.369

Al igual que en la capacidad torsional, El componente que tenga la menor capacidad de potencia será el que dicte cuanta potencia puede ser transmitida. La resistencia de la parte limitante está indicada en los valores subrayados. Puede notarse que al igual que la capacidad torsional, los valores limitantes para diámetros pequeños están en el eje, mientras que a medida que aumentan los diámetros las limitancias están en los pernos. La expresión que describe esta capacidad de transmisión de potencia es:

$$P = \frac{HP}{RPM}$$

Donde:

P: Potencia por cada RPM que pueden transmitir los componentes; **[HP]**

HP: Potencia del motor sugerido; **[HP]**

RPM: Velocidad de giro del transportador; **[RPM]**

En este caso, para un eje de 1.5 [in], el componente de menor capacidad torsional es el Eje según estándares CEMA, el cual soporta hasta 0.048 [HP] por cada 1 RPM]. En cuanto a la potencia del motor, esta es de 0.5 [HP], mientras que la velocidad de giro ha sido calculada anteriormente y es de 56 [R.P.M]. Al reemplazar estos valores en la ecuación original resulta:

$$P = \frac{0.5}{56}$$

$$P = 0.0089 [HP]$$

Tal como en el cálculo de torsión, este valor representa casi el 20% de la capacidad de transmisión de potencia que puede soportar el eje, que es el componente menos resistente. Se presume que le sistema es capaz de transmitir la potencia del motor.

6.5.12.- Deflexión del transportador

Cuando se utilizan helicoidales de longitud estándar, la deflexión es rara vez un problema. Sin embargo, si se utilizan secciones más largas del estándar sin colgantes intermedios, se debe tener cuidado para evitar que los helicoidales hagan contacto con el fondo de la artesa debido a una deflexión excesiva. La deflexión al centro del claro que cubre el helicoidal puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{5 \times W \times L^3}{384 \times 29,000,000 \times I}$$

Donde:

- D:** Deflexión al centro del claro; [in]
- W:** Peso total del transportador; [lb]
- L:** Longitud del helicoidal; [in]
- I:** Momento de Inercia del Tubo o los Ejes; [lb/in²]

Para obtener el peso total del transportador, se dispone de datos tabulados en donde la designación de tamaños analizada en la sección de “serie de componentes” toma relevancia. A partir de recomendaciones de fabricante en base a diversas variantes, se opta por preferir el código 6S312 para la designación de tamaños. Esto conlleva las siguientes medidas:

Tabla 45: Características de helicoidal según designación de tamaño.

Número de Parte, Helicoidal Completo	Espesor del Helicoidal	Longitud Estándar Pies-Pulg.	Peso Promedio lb			Espirales Aprox. Por Pie
			Longitud Estándar	Por Pie	Espiral c/u	
6S312	3/16	9-10	75	7.5	1.7	2.0

La letra “S” indica un transportador helicoidal con helicoidal seccional. Los números a la izquierda de las letras indican el diámetro externo nominal del transportador en pulgadas. La primera cifra después de las letras, es el doble del diámetro de los ejes de acoplamiento en pulgadas. Los dos últimos números indican el espesor nominal del helicoidal en el extremo exterior multiplicando por 1/64. Por lo tanto, un transportador 6S312 indica que es de 6" de diámetro, helicoidal seccional, para ejes de 1.5" de diámetro, con espesor de 3/16".

Se estima que la longitud del transportador es aproximadamente de **8.2 [ft]**, en consecuencia, se optara por considerar un caso más desfavorable y utilizar un valor estandarizado por tabla de **9 [ft]** lo que equivale a **108 [in]**. Se considerará para efecto de cálculos conservadores que la longitud estándar será de **9 [ft]**. Por tanto, se considera que el peso promedio del transportador es de **75 [lb]**. Finalmente, para obtener el momento de inercia del tubo se recurre nuevamente a datos tabulados:

Tabla 46: Momento de inercia según tamaño de tubo cedula 40.

Tamaño de Tubo	2"	2 1/2 "	3"	3 1/2 "
I	0.666	1.53	3.02	4.79

Pese a que la tabla original presenta datos para más tamaños de tubo, son irrelevantes para este efecto, por tanto, se exponen solo los primeros cuatro. Tras evaluar la tabla se establece que el momento de inercia necesario para el cálculo es de **0.666 [lb/in²]** para un tamaño nominal de tubo de 2". Al reemplazar en la ecuación se obtiene:

$$D = \frac{5 \times 75 \times 108^3}{384 \times 29,000,000 \times 0.666}$$

$$D = 0.064 \text{ [in]}$$

Se recomienda que la deflexión no supere los 0.25 [in], lo cual en este caso se cumple. Frecuentemente el problema de la deflexión se resuelve usando un tubo de mayor diámetro en esa sección del helicoidal o un tubo con pared de mayor espesor, pero por regla general, el usar un tubo de mayor diámetro es más efectivo para reducir la deflexión que un tubo con pared más gruesa.

6.5.13.- Empuje en transportador helicoidal

El empuje en un Transportador Helicoidal se crea como reacción a las fuerzas requeridas para mover el material a lo largo del eje de la artesa del transportador. Dicha fuerza es opuesta a la dirección del flujo del material. Para resistir esta fuerza de empuje es necesario utilizar un rodamiento de empuje y algunas veces reforzar la artesa. Para obtener un mejor funcionamiento se debe colocar el rodamiento de empuje de tal manera que las partes rotatorias se encuentren en tensión, esto significa que debe colocarse en el extremo de descarga del transportador. Colocar este rodamiento en el lado de alimentación pone las partes rotatorias en compresión lo que puede ocasionar efectos indeseables, sin embargo, algunas veces esto es necesario debido al arreglo del equipo.

Existen varios métodos para absorber fuerzas de empuje, los más populares son:

1. Instalar una roldana de empuje, colocada en el eje entre el extremo del tubo y la tapa del transportador o bien en la parte externa del rodamiento de pared.
2. Colocar un ensamble de rodamiento de empuje tipo “E” que consiste en un rodamiento de rodillos doble con el eje ensamblado.
3. Colocar una transmisión para transportador helicoidal, equipada con rodamientos de empuje de doble rodillo para absorber cargas tanto radiales como de empuje

En base a la experiencia se ha establecido que seleccionar componentes que soporten el empuje rara vez es crítico por lo que el empuje normalmente no se calcula al diseñar un transportador. Para la mayoría de las aplicaciones los componentes de empuje estándar de los transportadores absorberán esta fuerza sin necesidad de hacer un diseño especial.

6.5.14.- Expansión térmica en transportadores helicoidales

Los transportadores helicoidales se utilizan frecuentemente para transportar materiales calientes. Por esta razón, es necesario saber que la longitud del transportador aumentará conforme se incremente la temperatura de la artesa y del helicoidal una vez que el material caliente se empiece a transportar. Este fenómeno puede presentarse también en lugares donde la temperatura ambiente cambia drásticamente o tiene mínimas y máximas muy críticas.

La práctica general recomienda suministrar soportes que permitan que la artesa se mueva libremente durante el proceso de expansión y las subsecuentes contracciones cuando la temperatura baja. El extremo motriz del transportador, normalmente esta fijo lo que permite al resto del transportador expandirse o contraerse. En caso de que existan alimentaciones o descargas que no puedan moverse, es necesario usar artesas con juntas de expansión. Además, el helicoidal puede expandirse o contraerse en diferente medida que la artesa, por lo que se recomienda usar colgantes de expansión. La tapa del extremo opuesto a la transmisión debe tener un rodamiento del tipo de expansión de bolas o de rodillos, o un rodamiento de collarín que permita suficiente movimiento. El cambio en la longitud del transportador puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$\Delta L = L \times (T_1 - T_2) \times C$$

Donde:

- ΔL:** Incremento en el cambio de la longitud; [in]
- L:** Longitud del helicoidal; [in]
- T₁:** Límite Superior de temperatura (40 °C = 104 °F); [°F]
- T₂:** Límite inferior de temperatura (0 °C = 32 °F); [°F]
- C:** Coeficiente de expansión lineal (9.9×10⁻⁶ para acero inoxidable); [in/ (in °F)]

$$\Delta L = 108 \times (104 - 32) \times (9.9 \times 10^{-6}) = 0.0077 \text{ [in]}$$

Este cambio de longitud en relación al sistema es despreciable, por tanto, se asume que la diferencia de temperaturas ambiente no afectara el funcionamiento del prototipo.

6.6.- Diseño y Modelado de Componentes

Tras la extensa fase de diseño del transportador helicoidal, es necesario definir las dimensiones tanto de este como de los demás componentes del sistema, tomando en cuenta que esto involucra la carcasa, la malla, los rodamientos, el sistema motriz, los pernos, apoyos y cualquier elemento que se considere necesario para el funcionamiento del sistema.

En este capítulo se establecen los materiales más adecuados para cada sección del prototipo en base a recomendaciones de catálogo, experiencia laboral de miembros del equipo de trabajo, normas establecidas para el uso de equipos de estas características y estándares del mercado. Para esto se analizan productos y servicios nacionales e internacionales, con el objetivo de realizar un modelo propio de la empresa con base en un modelo funcional del mercado.

Para cada diseño de sección se genera un modelo en Autodesk Inventor con el objetivo de proyectar la instalación, las dimensiones y la estética del prototipo. Esto permite evaluar las mejores opciones para los resultados esperados y comprobar las tolerancias físicas del equipo.

La metodología para la generación de componentes se basa en materializar las partes desde el centro de la máquina hacia el exterior y así elegir las medidas exactas para los fines perseguidos. Esto implica que el primer conjunto de componentes a dimensionar es el transportador helicoidal y los elementos que lo conforman. No obstante, en ciertas instancias algunos componentes de la malla, la carcasa y elementos adicionales, se diseñan de forma intercalada, permitiendo así, simular la instalación del prototipo y diseñar a medida las piezas necesarias para que calce con el entorno. Se incorporan, además, empaquetaduras entre la unión de las aletas de las mallas a lo largo de esta, para evitar problemas de filtraciones y problemas de contacto por irregularidades en la superficie de la aleta.

Las unidades de medida pueden variar entre el sistema universal y el sistema americano, esto dependerá en gran medida del sistema utilizado por el mercado para la distribución de cada componente. Cabe destacar que muchos elementos requeridos para el diseño de innovación no están presentes en el mercado o no existen en las dimensiones necesarias para el caso, por tanto, deben realizarse diseños aptos para el caso, conservando las propiedades de los originales.

6.6.1.- Dimensionamiento de Transportador Helicoidal

El conjunto de componentes que constituyen el transportador helicoidal es el más relevante dentro del diseño del prototipo, esto se debe en gran medida a su diseño modular, tanto la hélice, como también el tubo y el eje. Este tipo de tornillo es poco convencional, solo se realiza por fabricantes que están fuertemente consolidados en la industrial del manejo de materiales y sus servicios cuentan con esta gama de productos personalizados, tal como “*Martin’s Sprocket & Gear*” o “*Bega Helicoidales*”, que trabajan con estándares CEMA en sus componentes. No obstante, estos distribuidores proporcionan la suficiente información para diseñar ciertos componentes bajo los mejores criterios de evaluación y probados en el mercado.

Se espera generar módulos de helicoidales donde se involucra la sección de tubo y la sección de helicoidal, unida a las demás secciones mediante módulos de eje con perforaciones para el paso de pernos de ajuste dispuestos a lo largo del eje, tanto en un eje vertical como horizontal, de forma perpendicular este. Esta modulación de los componentes ha sido un requisito desde el inicio del proyecto, planteada en base a la facilidad para instalar, la versatilidad a la hora de su transporte y posiblemente la razón más importante, por la utilidad que presenta la mantención en caso de tener que acceder al interior del equipo. Esto evita incurrir en un desarme total para realizar verificaciones o solucionar problemas.

El primer componente a diseñar y modelar es el tubo del transportador. En general este nos permite dimensionar y seleccionar con mayor sencillez los componentes posteriores. Tras esto se implementan las secciones de eje y pernos correspondiente para así ejemplificar de mejor manera la disposición final del transportador. Finalmente se diseña la hélice acorde al tramo de tubo, pero manteniendo sus parámetros físicos.

Cabe destacar que pese a diseñar el equipo con estándares internacionales, se verifica que los componentes sean adquiribles en el mercado o fabricables en la industria nacional. No obstante, el objetivo principal es diseñar el modelo de prototipo funcional ideal que cumpla todos los requerimientos expuestos por las empresas, esto en base a parámetros probados en la industria y adaptaciones compatibles. Es posible que algunas características especiales de las adaptaciones conlleven un gasto elevado, pero esto forma parte del conocimiento de las empresas, quienes evaluarán la implementación del equipo tras la finalización del diseño u optarán por modificar algunos factores para generar un modelo más económico.

6.6.1.1.- Eje de Acoplé Cerrado

Anteriormente se ha establecido que el eje es de 1.5 [in]. En cuanto al largo del eje, este por el momento se considera variable, ya que dependerá de las fases siguientes el largo final para calzar de forma precisa en el equipo, no obstante, es necesario el diseño en primer lugar ya que es la medida de los elementos posteriores del transportador. Además, así como las hélices seccionales, se pretende un diseño basado en secciones de eje para mantener la unión de las secciones de tubo. Para esto el eje debe ir con perforaciones perpendiculares a su longitud en dirección vertical y horizontal para restringir la deflexión por juego en las partes.

A partir de información proporcionada por fabricante, se seleccionan los datos para diseñar un eje de acoplamiento cerrado, los cuales se utilizan para unir secciones de helicoidales cuando no se requiere el uso de colgantes.

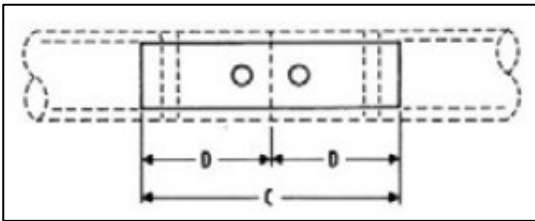


Figura 54: Esquema - Eje con acoplamiento cerrado. (MS&G, 2013)

En la figura se observan las secciones de tubo graficadas con línea segmentada y dentro, la sección de eje con sus respectivas dimensiones de largo. A continuación, se tabulan estas dimensiones.

Tabla 47: Dimensiones para el diseño de eje con acoplamiento cerrado.

Diámetro Eje [in]	C [in]	D [in]
1 1/2	9 1/2	4 3/4

Sin embargo, esta ilustración no indica las distancias a las que se debe realizar la perforación. Para este fin se acude a una sección posterior en el diseño del tubo, donde se señala la distancia a la que deben realizarse dichas perforaciones.

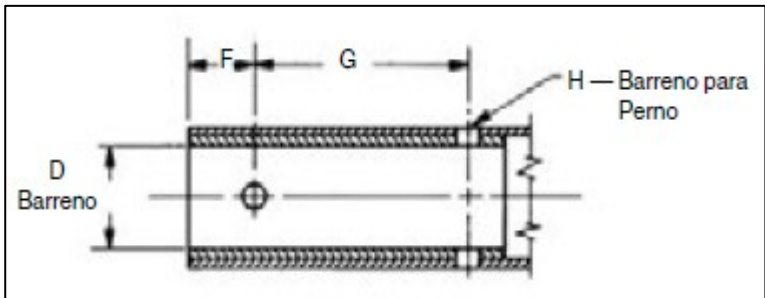


Figura 55: Esquema dimensional - Perforaciones para eje. (MS&G, 2013)

En la ilustración se aprecia la sección de eje entrando en el tubo con sus respectivas distancias para perforación y diámetro de la misma. Para esto se tabulan los datos requeridos.

Tabla 48: Dimensiones para perforaciones de eje con acoplamiento cerrado.

F	Distancia al 1° Barreno del Perno (pulgada)	7/8
G	Centros al 2° Barreno del Perno (pulgada)	3
H	Tamaño Nominal Perforación del Tornillo (pulgada)	1/2

Finalmente, al modelar el eje de acople se obtiene:

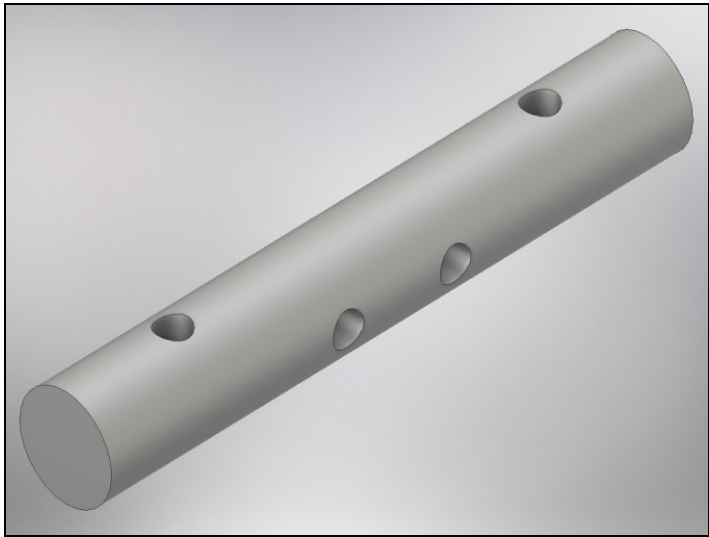


Figura 56: Modelo 3D para eje de acoplamiento cerrado.

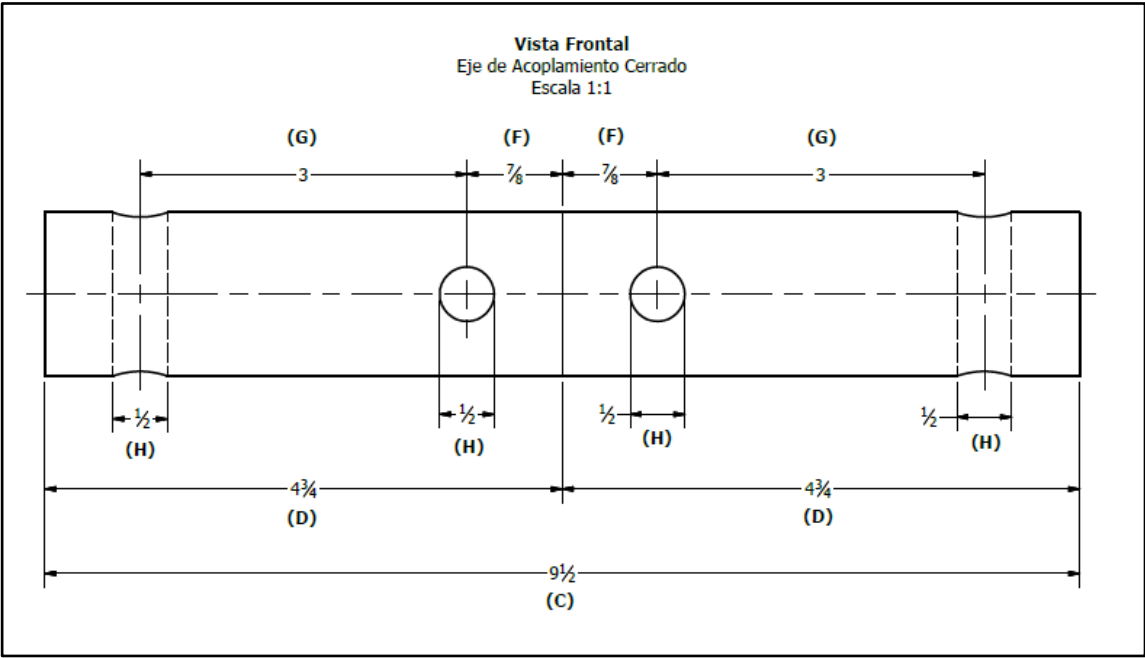


Figura 57: Esquema dimensional - Modelo para eje de acoplamiento cerrado.

El eje debe ser fabricado de acero inoxidable AISI 304 o AISI 316, debido a los estándares de la viña, además del contacto con líquidos corrosivos y constante exposición al agua. Las barras necesarias pueden encontrarse fácilmente en el mercado usualmente en largos de 6 metros.

Para verificar las propiedades del tipo de barra, se recurre al catálogo de productos de “ACERMET”, un fabricante y distribuidor nacional de artículos metalmecánicos, que dentro de sus servicios puede ofrecer un dimensionamiento personalizado de productos debido a su tecnología de operación, por lo que sería posible la generación de este tipo de barra con perforaciones, si se estima rentable optar por un producto ya modificado en vez de la fabricación en maestranza.

Para este diámetro de barra en acero inoxidable se estima un peso de aproximadamente 1[kg] por metro de barra. Debido a estándares de mercado, la medida en que regularmente se comercializan estas barras es de 6 [m] y en algunos casos particulares de 3 [m]. Se considera que debe adquirirse la barra completa para su modificación, no obstante, al completar el diseño del eje se calculara su peso considerando secciones de eje macizo sin perforaciones, obteniendo así un valor más conservador.

6.6.1.2.- Eje Motriz

Este tipo de sección se utiliza en uno de los extremos del eje completo, lugar donde se ubica el sistema motriz. La característica particular es el ranurado al final de este, con el objetivo de transmitir la potencia del motor.

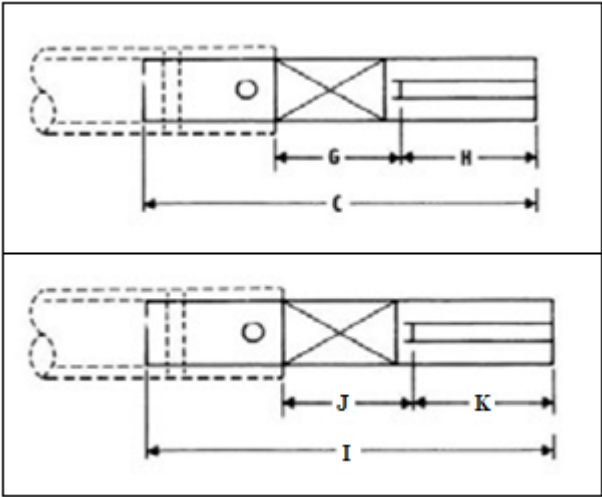


Figura 58: Esquema dimensional - Sección de eje motriz. (MS&G, 2013)

Esta figura presenta dos esquemas idénticos que describen las dimensiones del eje motriz, salvo que poseen distinta nomenclatura. Esto se debe a que la ilustración original presentada por el fabricante (imagen superior), posee las mismas letras que el eje de acoplamiento cerrado para describir sus dimensiones, por tanto, para evitar confusión, se reemplazan las letras “C”, “G” y “H”, por “I”, “J” y “K” respectivamente.

Estas dimensiones están tabuladas para un eje de 1.5 [in], utilizando un sello de caja con estopa y considerando rodamientos de bolas:

Tabla 49: Dimensiones para el diseño del eje motriz.

Diámetro de Eje	I [in]	J [in]	K [in]
1 1/2	13 1/4	5 1/4	3 1/4

En cuanto a las perforaciones para los pernos, esta conserva las mismas dimensiones que el eje de acople.

Finalmente, los últimos datos necesarios para el modelamiento del eje motriz es la ranura rectangular en el extremo del eje, para esto se utilizan datos tabulados y un esquema de fabricante.

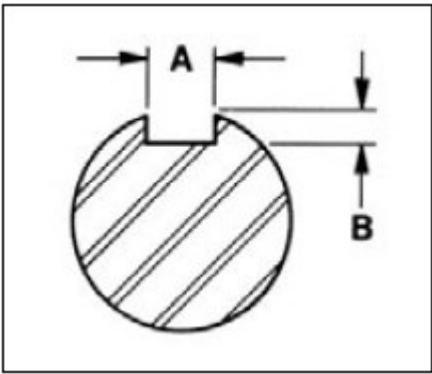


Figura 59: Esquema dimensional - Ranurado en eje motriz. (MS&G, 2013)

Tabla 50: Dimensiones para el ranurado del eje motriz.

Diámetro de Eje	A [in]	B [in]
1 1/2	3/8	3/16

Finalmente, al modelar el eje motriz se obtiene:

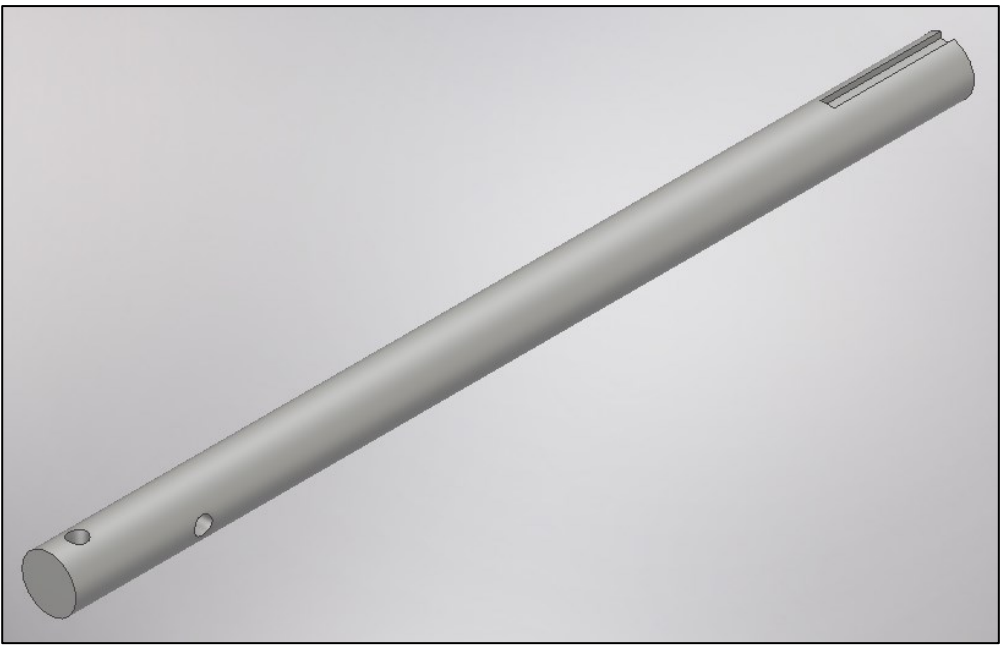


Figura 60: Modelo 3D para eje motriz.

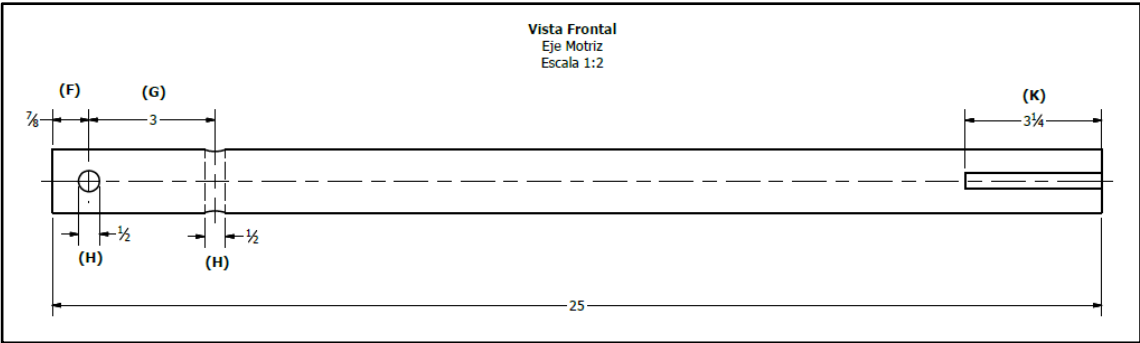


Figura 61: Esquema dimensional - Modelo de Eje Motriz

Al analizar la ilustración, se observa que la distancia “J” no ha sido utilizada, esto se debe principalmente a que dicha longitud es característica de un arreglo estándar para transportadores diseñados y ensamblados por el fabricante. En este caso de estudio, se alarga el eje debido al diseño del transportador. Esta sección de eje posee un largo preliminar de 25 [in], equivalente a 0.635 [m]. Cabe destacar que durante el proceso de diseño este largo puede variar con respecto de su diseño final, ya que medida que los componentes son diseñados y proyectados en su forma de ensamble, se ajustan las dimensiones. No obstante, para esta longitud se asocia un peso aproximado de 0.635 [kg].

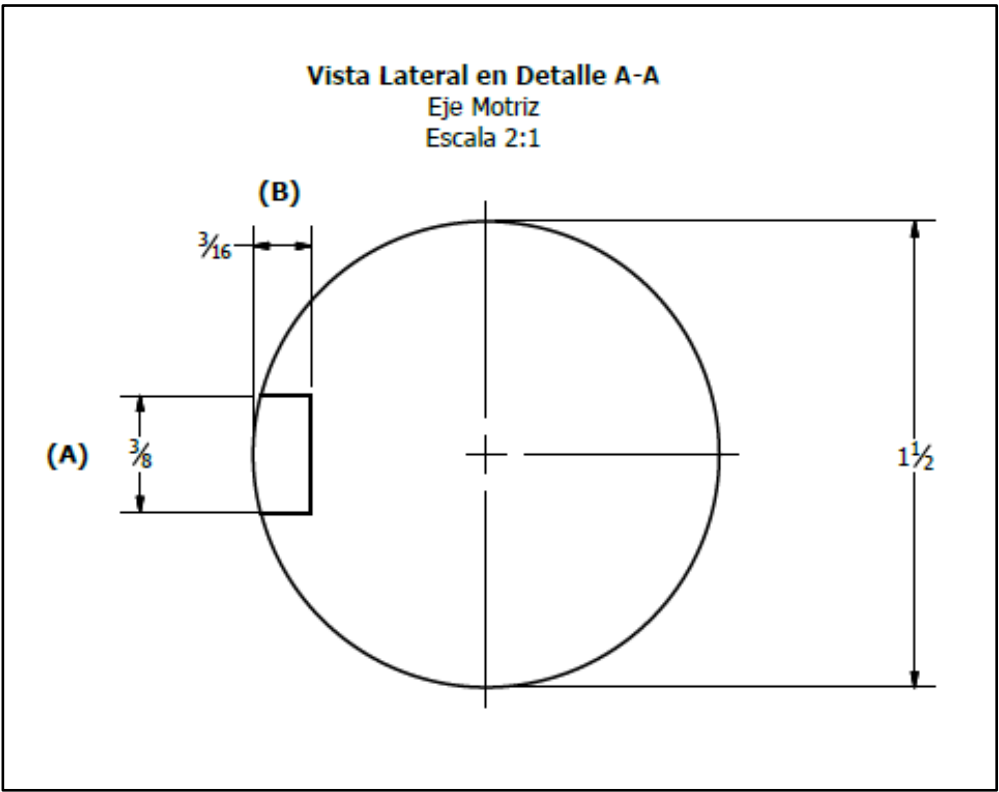


Figura 62: Esquema dimensional - Ranurado en modelo de Eje Motriz.

6.6.1.3.- Eje Base

Este segmento de eje se sitúa en el inicio del transportador y está ligado al rodamiento inferior del mismo. En cuanto a características, diámetro de perforación y distancia relativa de las perforaciones, es exactamente idéntico al eje de acople, no obstante, su principal diferencia es el largo de este segmento, ya que como se menciona anteriormente, las dimensiones estándar están diseñadas para arreglos típicos de artesa. Además, uno de sus extremos es liso y sin perforaciones.

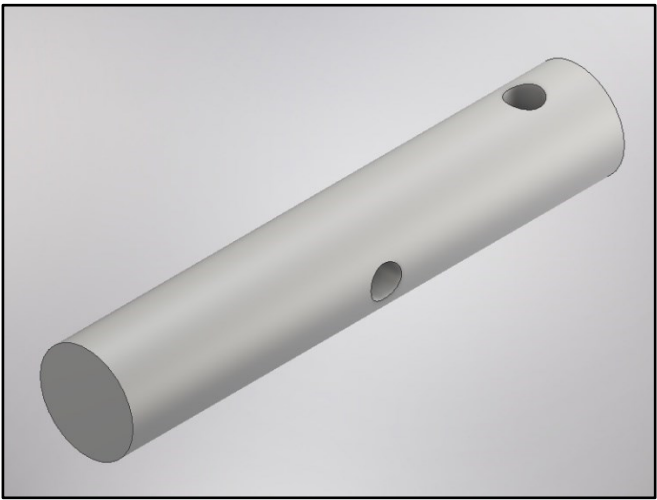


Figura 63: Modelo 3D para Eje Base.

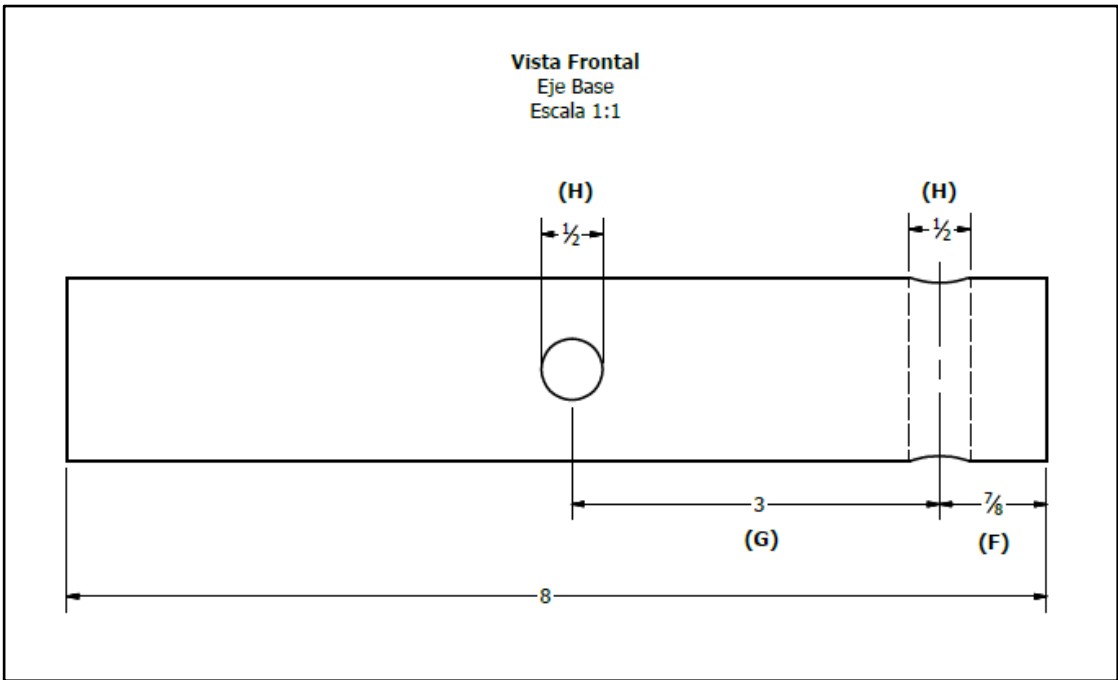
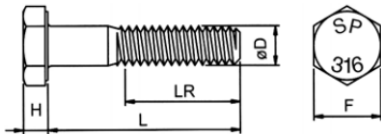
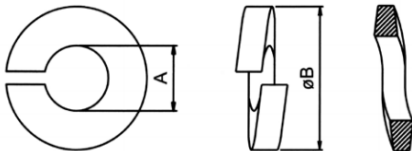
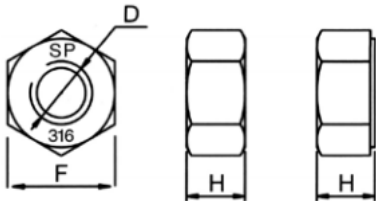


Figura 64: Esquema dimensional - Modelo de Eje Base.

6.6.1.4.- Elementos de Fijación

Este segmento incluye los tres componentes para la fijación del tubo con el eje:

Tabla 51: Elementos de fijación para eje y tubo. (SODIPER, 2018)

Elemento					Descripción
PERNO HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE AISI-316 UNC					❖ Se recomienda usar pernos de ½” x 3”. ❖ 13 hilos por pulgada. ❖ En un caso alternativo pueden utilizarse pernos M12 de 80 [mm] de largo. ❖ En caso alternativo puede utilizarse perno hexagonal A-325 Galvanizado.
					
D	H	L	LR	F	
½”	0.3”	3”	1 ¼ “	¾”	❖ Peso aproximado de 0.05 [kg]
GOLILLA PRESIÓN ACERO INOXIDABLE AISI-316					❖ Se recomienda utilizar arandelas de presión, debido a la constante vibración que sufrirá el sistema. ❖ En caso alternativo pueden utilizarse arandelas galvanizadas para abaratar costos. ❖ Pueden utilizarse arandelas normales, asegurando la sujeción.
					
A		B			
½”		1.35”			❖ Peso aproximado de 0.005 [kg]
TUERCA HEXAGONAL ACERO INOXIDABLE 316 UNC					❖ Se recomiendan tuercas autoblocantes para asegurar el conjunto contra la vibración constante del sistema. ❖ En casos alternativos pueden utilizarse tuercas galvanizadas para abaratar costos.
					
D	F	H			
½”	¾”	0.45”			❖ Peso aproximado de 0.01 [kg]

6.6.1.5.- Tubo del Transportador

El tubo completo del transportador, como se ha planteado, consta de secciones de tubo de aproximadamente 10 pulgadas, que, unidos a través de secciones de eje de acople cerrado, constituyen la base del transportador. Para el modelo físico del tubo se utilizan datos tabulados anteriormente en la serie de componentes para un transportador de 6 pulgadas de diámetro.

Tabla 52: Dimensiones para tubo del transportador.

Tamaño Nominal de tubo Cédula 40 (pulgadas)	2
Diámetro Exterior de Tubo (Pulgadas)	2.375
Pared de Tubo (pulgadas)	0.154
Diámetro interior de Tubo (pulgadas)	2.067
Longitud estándar por sección (pulgadas)	10
Longitud calculada (8.2[ft]) (pulgadas)	98.4
Secciones de tubería	10

Estos valores permiten dimensionar el tubo en su forma bruta, no obstante, tal como el eje de acoplamiento cerrado, este posee perforaciones para anclar el eje al tubo. Estas modificaciones han sido descritas anteriormente durante el análisis de perforaciones para el eje de acoplamiento y se han tabulado los datos necesarios.

La **Figura 58** “Diagrama de perforaciones para eje con acoplamiento cerrado.” ilustra los parámetros dimensionales para realizar las perforaciones en el tubo, mientras que la **Tabla 47** “Dimensiones para perforaciones de eje con acoplamiento cerrado.”, establecen los valores para dichas dimensiones, con lo que es posible modelar las secciones de tubo.

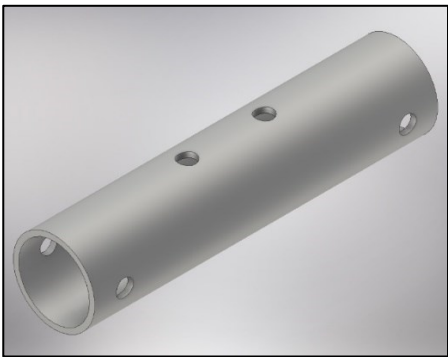


Figura 65: Modelo 3D para tubo de transportador.

Como se ha mencionado, esta sección de tubo se une con las demás, mediante las secciones de eje de acople, para formar un tubo de 100 pulgadas.

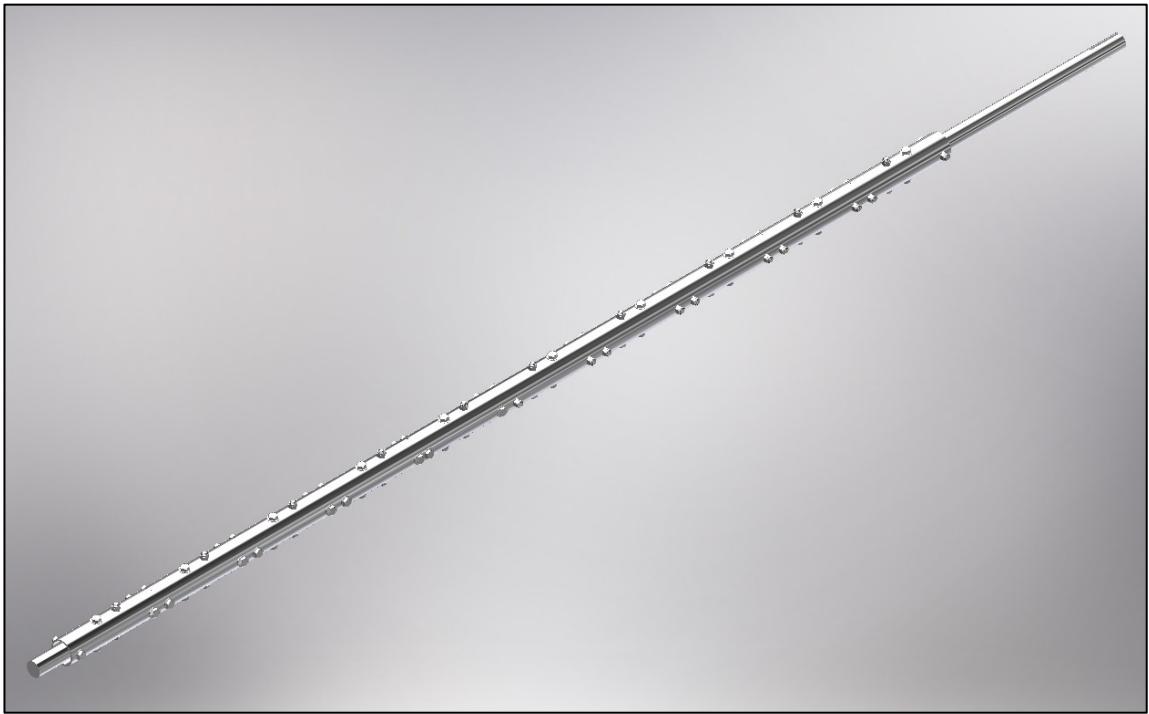


Figura 66: Modelo 3D - Tubo del transportador completo.

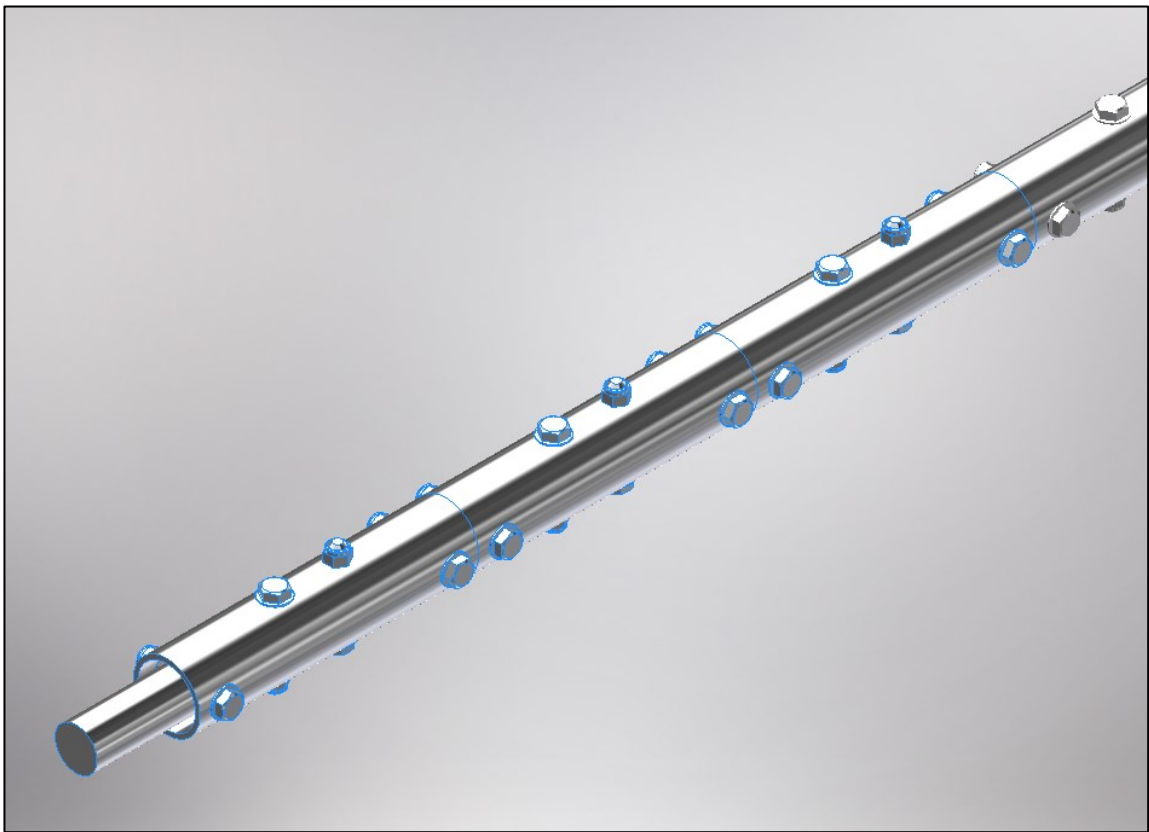


Figura 67: Detalle de Modelo 3D - Tubo de transportador completo.

Sin embargo, tras este ensamble se identifican dos potenciales problemas. El primero de estos, es la probabilidad de que el “juego” entre los componentes sea tal que pueda generar una deflexión en medio del transportador, una especie de cadena si se exagera el concepto. Esta inquietud nace a partir de que las fabricaciones en industrias metalmecánicas utilizan elementos estándar de mercado para generar los conjuntos y la precisión a la hora de ejecutar las operaciones no es la requerida, por tanto, es una posibilidad bastante real que pueda existir una holgura inconveniente dentro del sistema que conlleve cierto nivel de deflexión en el transportador.

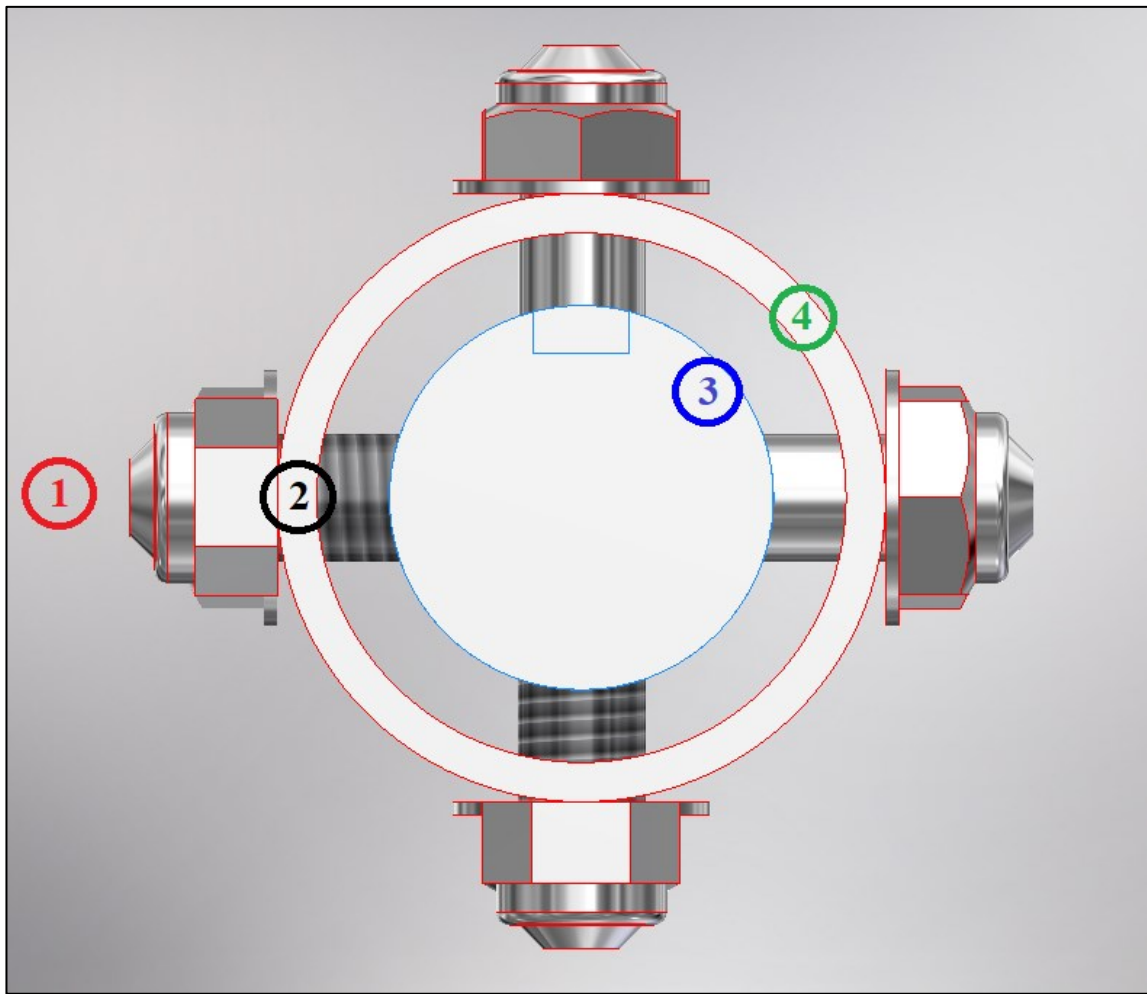


Figura 68: Representación 3D - Problemas identificados en el tubo.

El punto 1 (indicado en rojo) hace referencia al diámetro del perno, mientras que el punto 2 (indicado en negro) hace referencia al diámetro de las perforaciones para el tubo y el eje. Si las tolerancias entre estos diámetros son demasiado holgadas, esto puede producir no solo una deflexión en forma de cadena, sino que una vibración excesiva y peligrosa para el conjunto.

Po otro lado el punto 3 (indicado en azul) representa la cara exterior del eje, mientras que el punto 4 (indicado en verde) hace referencia a la cara interior del tubo. Esta distancia es de 0.2835 [in], lo que equivale aproximadamente a 7.2 milímetros, considerando además la distancia entre un perno y otro, la probabilidad de exceso de movimiento es elevada.

La solución que se propone para este problema es adherir un anillo de ajuste en los bordes de las secciones de tubo que funciones como buje para ajustar el eje al tubo y evitar cualquier tipo de deflexión. La incorporación de este anillo conlleva modificar también el largo de los ejes de acoplamiento, sin embargo, esto no implica modificar las perforaciones. Se estima un espesor de anillo de 0.25 [in], un diámetro exterior de 2.375 [in] (tal como el diámetro exterior el tubo) y un diámetro interior de 1.5 pulgadas (tal como el diámetro nominal del eje).

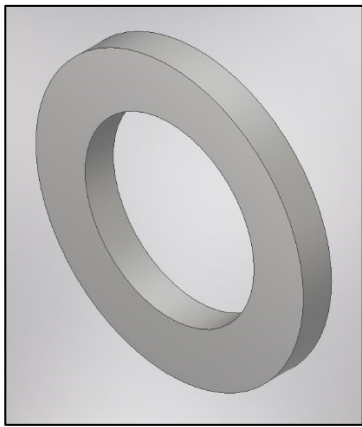


Figura 69: Modelo 3D - Anillo de ajuste.

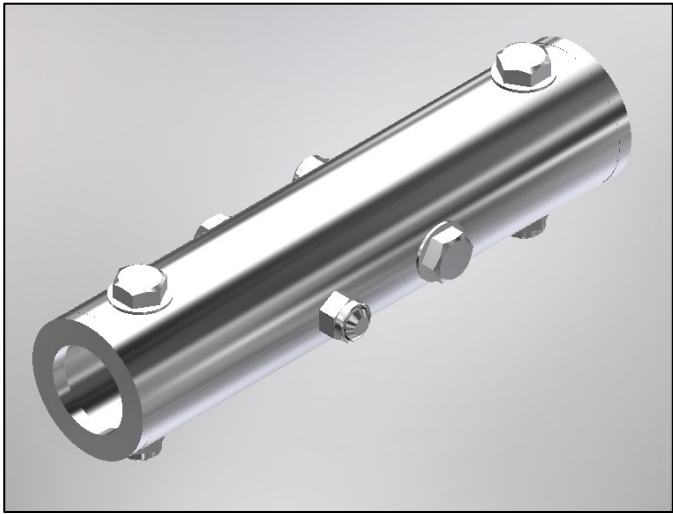


Figura 70: Modelo 3D - Tubo con pernos y anillos.

Tras esta modificación, se vuelve necesario modificar también la longitud del eje de acoplamiento, aunque tal como en el caso anterior esto no altera las medidas de las perforaciones. Por tanto, el nuevo eje queda de la siguiente forma:

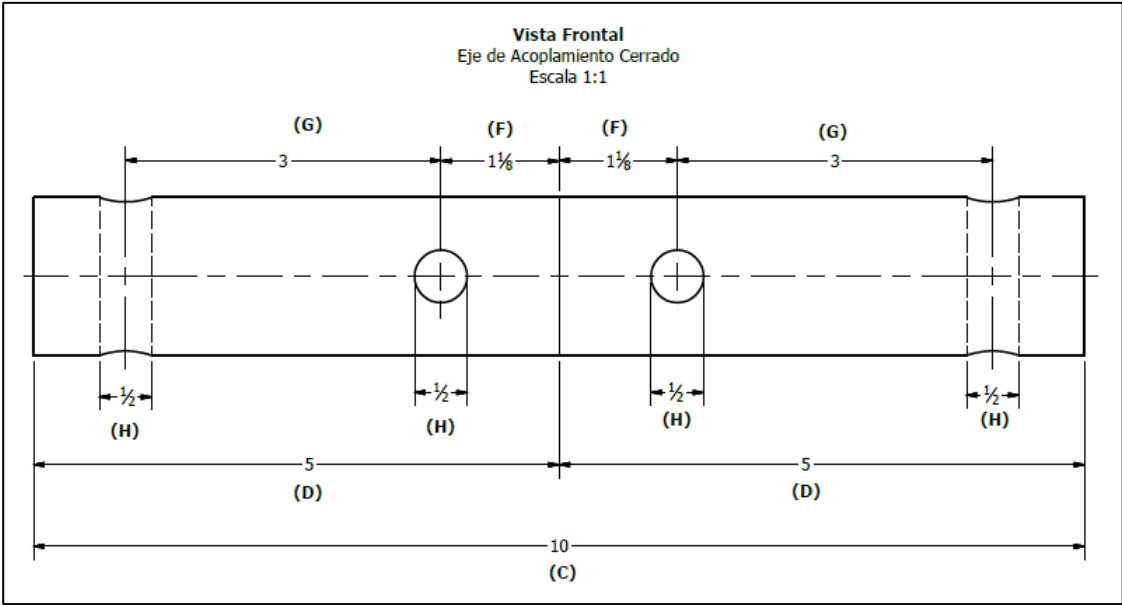


Figura 71: Esquema – Re dimensionamiento Eje de acoplamiento cerrado.

En la ilustración se observa que el cambio fundamental se produce en la longitud “F” con respecto al diseño anterior, el cual era de 3/4”, mientras que ahora es de 1 1/8”, estableciéndose así el largo total del eje de acople en 10 pulgadas, equivalente a 0.254 metros. El peso aproximado para esta sección de eje es de 0.254 [kg].

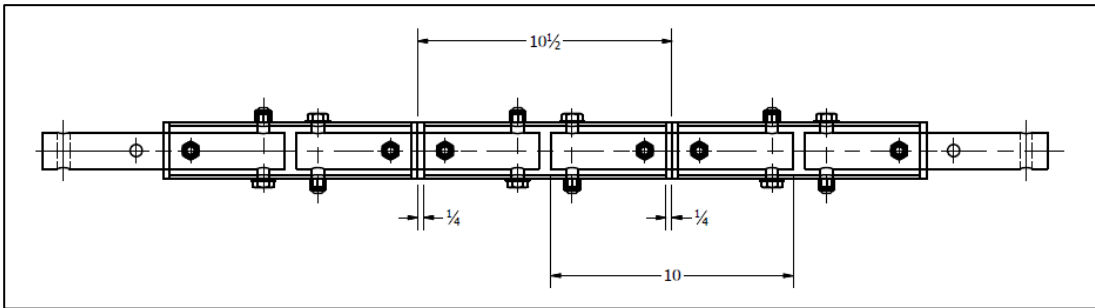


Figura 72: Esquema - Segmentos de Tubo con segmentos de Eje de acoplamiento.

No obstante, aún existe un problema, se basa principalmente en la dificultad para poder retirar una de las secciones de tubo del sistema completo. Este problema ya existía antes de alargar el eje de acople y de agregar el anillo de ajuste, pero ahora se vuelve aún más notorio, ya que, según la forma de mantenimiento concebida, al intentar desmontar una de las secciones de tubo sin alterar el conjunto, esta quedara bloqueada por la incapacidad de los segmentos de eje de proporcionar el espacio suficiente para la remoción. Debido a esto se toma la decisión de alargar las secciones a 15 pulgadas, incluyendo los anillos de fijación, es decir el tubo por si solo tendrá una longitud de 14.5 pulgadas y al sumar los dos anillos conformaran una sección total de tubo de 15 pulgadas. Este valor es útil, debido no solo a que compatibiliza con las demás dimensiones, sino que también ayuda a la instalación de la hélice debido a su paso de 3 pulgadas. El siguiente esquema ilustra las dimensiones finales del tubo:

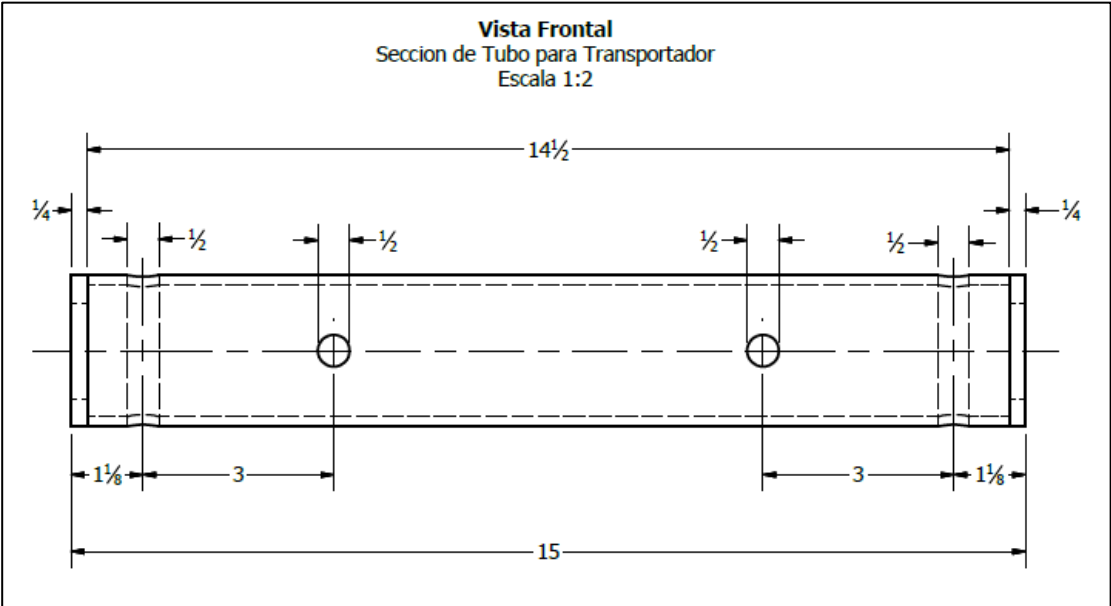


Figura 73: Esquema dimensional - Sección de tubo.

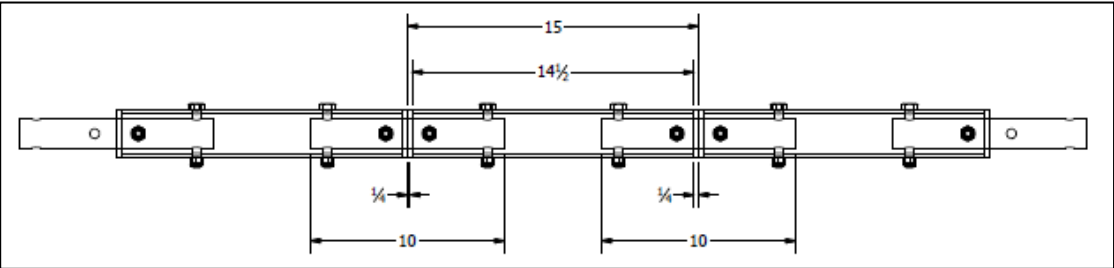
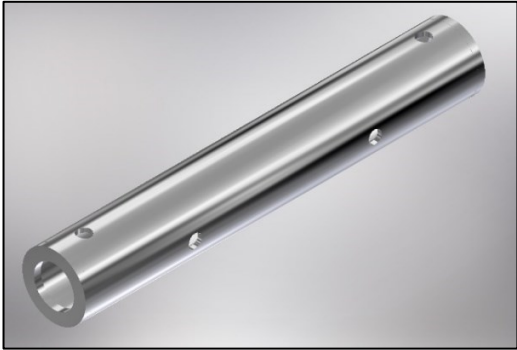
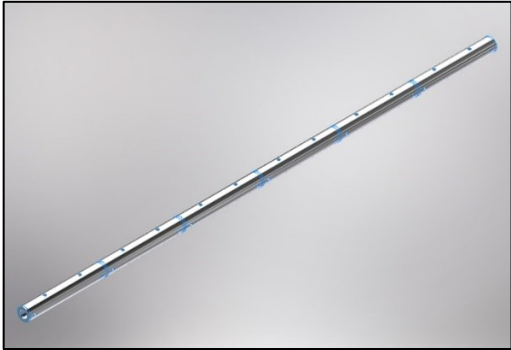


Figura 74: Esquema referencial - Montaje de secciones de tubo y eje.

Finalmente, el tubo completo para el transportador se compone de 6 secciones de tubo con sus respectivos ejes de acople, obteniendo un largo total de 90 pulgadas, equivalentes a 2.29 [m] de largo.

Tabla 53: Modelamiento 3D- Tubo del transportador.

Vista Isométrica Referencial Sección de Tubo con anillos de ajuste 	Vista Isométrica Referencial Conjunto de Tubo para Transportador 
--	---

Para tubos con un diámetro nominal 2 [in] y espesor SCH 40 o STD de acero inoxidable, tanto grado 304 como 316, se considera un peso aproximado de 5.44 [kg/m]. Tomando en cuenta que cada tubo mide 14.5 pulgadas, equivalente a 0.368 metros, esto quiere decir que la sección de tubo pesa aproximadamente 2 [kg], no obstante, se deben incluir los anillos de fijación. Para este cálculo se considera el anillo como si fuera un tubo de 0.4375 pulgadas de espesor, equivalente a 11.11 milímetros. Se estima que la relación de peso con espesor es lineal tras comparaciones realizadas entre espesores SCH 10 con SCH 40 y SCH 80, por tanto, se puede extrapolar el valor para el espesor antes establecido, donde se presume valido considerar que el peso por metro de cada anillo es de aproximadamente 15 [kg/m].

En términos de longitud adherida al tubo, se consideran ambos anillos como 0.5 pulgadas de longitud (0.013 [m]), se estima que le peso entre ambos anillos es de 0.14 [kg], por tanto, una sección de tubo con anillos pesa aproximadamente 2.14 [kg]. Mientras que el tubo completo al contar con 6 secciones, pesaría 12.84 [kg].

6.6.1.6.- Helicoide

El primer paso para el diseño del helicoidal es determinar el sentido de giro y forma de esta. A partir de recomendaciones por parte del distribuidor Martin’s Sprocket, se selecciona el tipo de hélice mano izquierda que desplaza el material longitudinalmente al rotar el transportador en sentido de las manecillas del reloj.

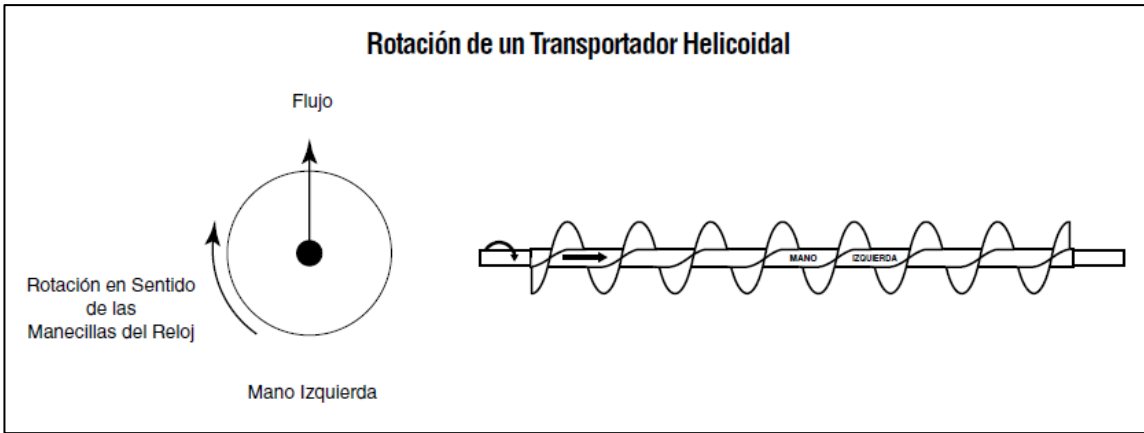


Figura 75: Esquema - Sentido de giro y forma de hélice. (MS&G, 2013)

En cuanto a las dimensiones físicas, la siguiente tabla especifica los parámetros establecidos anteriormente:

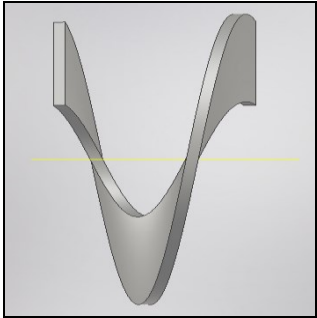
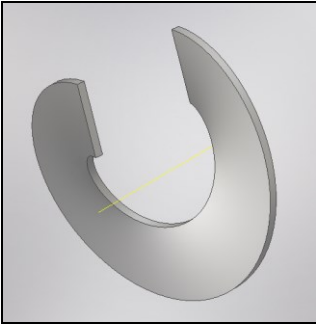
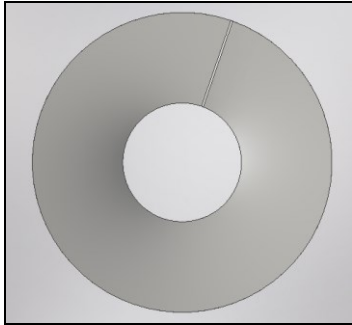
Tabla 54: Parámetros para el modelamiento de la Hélice.

Parámetro	Valor
Espesor de Hélice	0.185 [in]
Diámetro Exterior	6 [in]
Diámetro Interior	2.375 [in]
Longitud sección de hélice (paso)	3 [in]
Peso promedio (unidades americanas)	0.625 [lb/in]
Peso promedio (unidades internacionales)	0.0072 [kg/m]
Peso promedio por sección de hélice	0.85 [kg]
Cantidad de secciones por sección de tubo	5
Peso promedio por conjunto de hélice para tubo	4.25 [kg]

El peso aproximado se estima en base al diámetro exterior, diámetro interior y espesor del helicoidal.

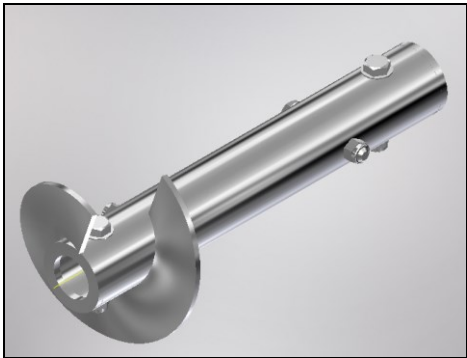
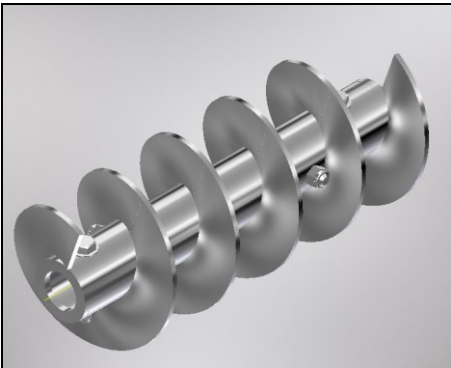
Se debe tener en cuenta que las hélices seccionales usualmente son generadas de formas manuales con ayuda de maquinaria semiautomática en las industrias metalmecánicas de media capacidad. Es por esto que tal como se realiza en estas industrias, se genera la sección de hélice a partir de un anillo o disco, con los diámetros correspondientes y el espesor adecuado, el cual se estira longitudinalmente hasta alcanzar las 3 pulgadas correspondientes al paso.

Tabla 55: Vistas Modelo 3D - Hélice del Transportador.

Vista Lateral Sección de Hélice 	Vista Isométrica Sección de Hélice 	Vista Frontal Hélice para transportador 
--	--	--

Tras este modelo, se proyecta inmediatamente la hélice en el tubo tal como se instalan, de esta forma puede comprobarse la compatibilidad física de los elementos y del conjunto completo.

Tabla 56: Modelamiento 3D - Montaje entre Hélice y Tubo.

Vista Isométrica Sección de Tubo con sección de hélice 	Vista Isométrica Sección de Tubo con conjunto de Hélice 
--	--

Una vez proyectadas las geometrías, se identifica un problema crucial. El paso de la hélice no es compatible con la distancia a la que se han establecido las perforaciones del tubo, por lo que los pernos se interceptan con el aspa. Tal como se observa en la siguiente ilustración.

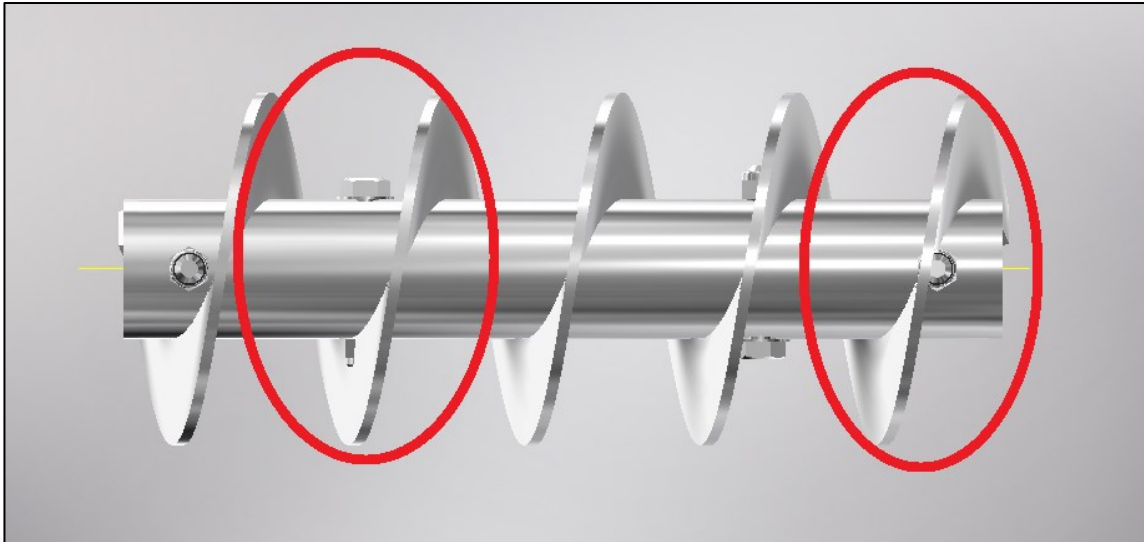


Figura 76: Ilustración representativa de la intercepción entre los pernos y la hélice.

Es por esto que se debe intervenir tanto le modelo del tubo como el de los ejes, para hacer calzar las perforaciones, no obstante, se determina que el diseño de la hélice es estable y por tanto se conserva.

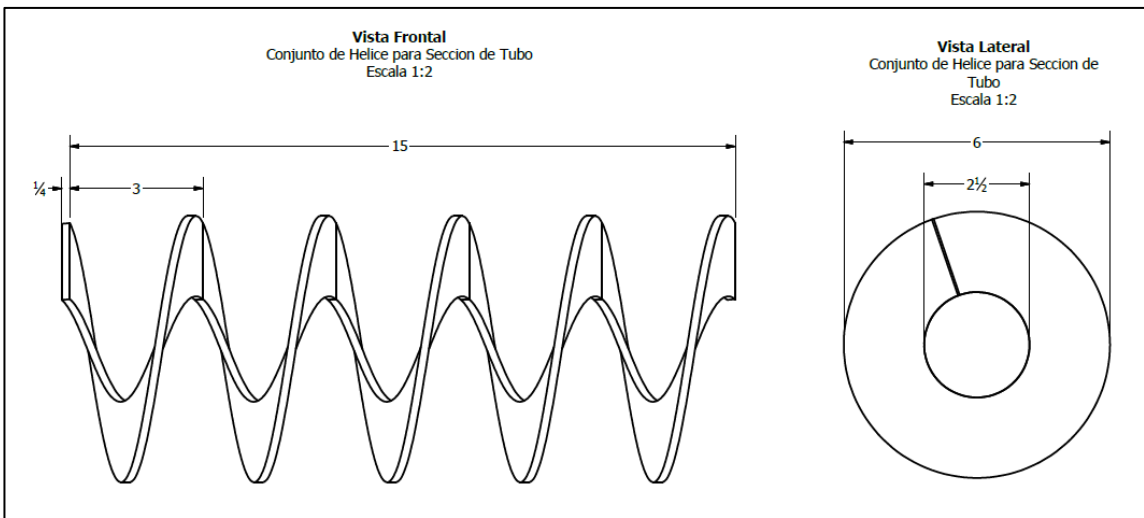


Figura 77: Esquema dimensional -Conjunto de Hélice.

6.6.1.7.- Redimensionamiento de componentes

Tal como se ha establecido, tanto el tubo como los ejes deben ser modificados para poder acoplarse y compatibilizar a la vez con la helicoidal. El primero de estos cambios se genera en el tubo, puesto que al modificar este, se vuelve el molde perfecto para la modificación de los demás componentes. Durante esta sección se plantean solo los esquemas dimensionales de los modelos finales de cada componente, reemplazando el procedimiento paso por paso del diseño, ya que se considera que el razonamiento detrás el concepto ha sido percibido con anterioridad.

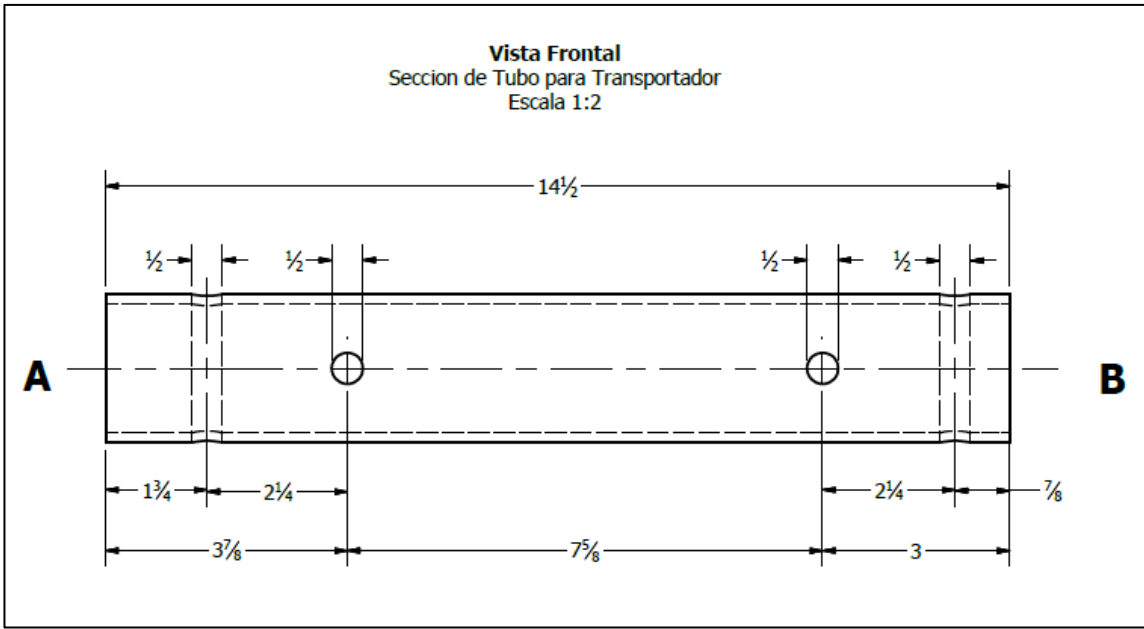


Figura 78: Esquema dimensional final - Sección de Tubo.

Como se puede observar, para que el tubo sea compatible con el conjunto, las perforaciones deben ser asimétricas, es decir, que no tienen las mismas distancias hacia sus respectivos extremos. Al analizar la imagen se identifica que la primera perforación de izquierda a derecha, en el extremo izquierdo del tubo, está a $1\frac{3}{4}$ de pulgada (1.625 pulgadas) de dicho extremo, mientras que la segunda perforación se encuentra a $3\frac{7}{8}$ pulgadas del mismo (3.875 pulgadas). Por otro lado, si se analiza el extremo derecho, se observa que la primera perforación está a $\frac{7}{8}$ de pulgada (0.85 pulgadas), mientras que la segunda se encuentra a 3 pulgadas. Esto implica que el tubo tendrá una forma específica en la que se instalará, denominando “A” al extremo izquierdo del tubo y “B” al extremo derecho.

Tras este redimensionamiento, es necesario esquematizar el tubo con la adhesión de los anillos para así dar paso al redimensionamiento del eje de acoplamiento cerrado.

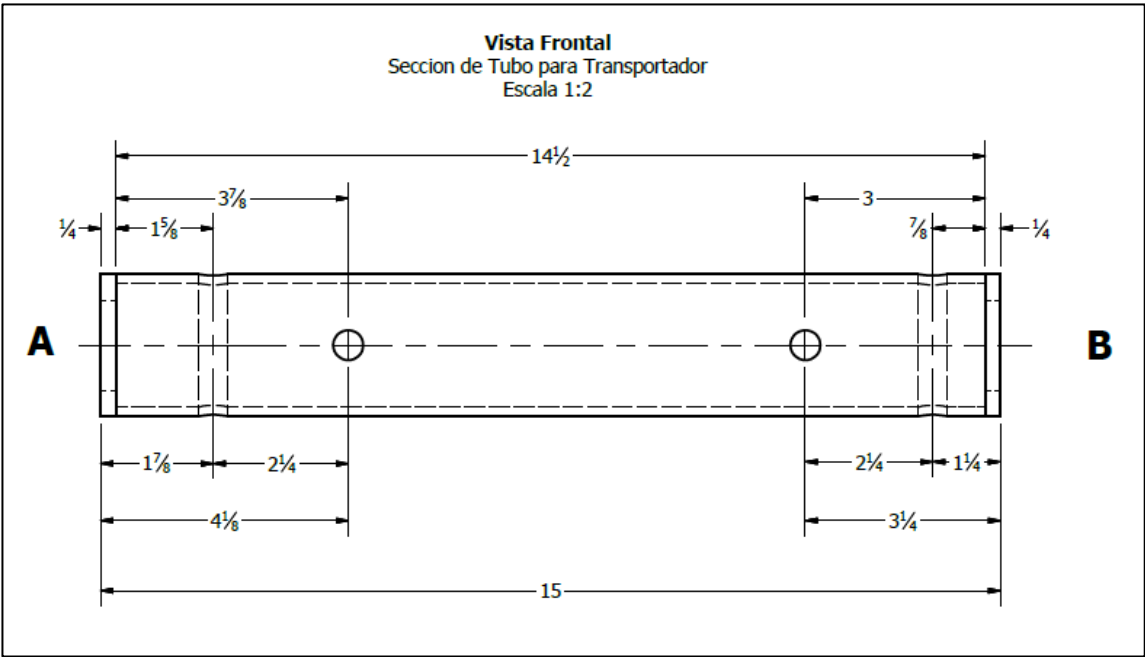


Figura 79: Esquema dimensional final - Sección de tubo con anillos de fijación.

Una vez hecho esto el siguiente elemento en modificar es el eje de acople cerrado:

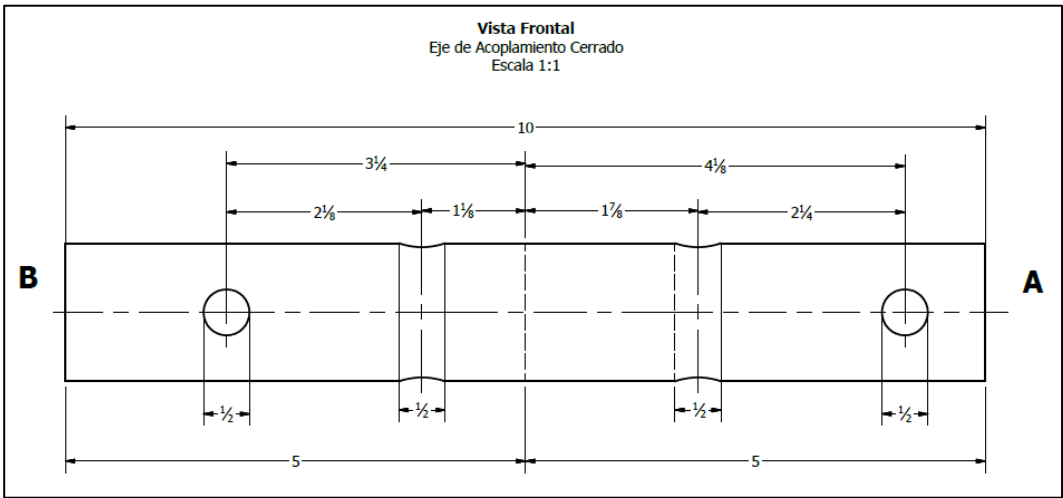


Figura 80: Esquema dimensional final - Eje de acoplamiento cerrado.

Como se observa en a la ilustración, los extremos en este caso se intercambian respecto del Tubo, el lado izquierdo corresponde al extremo “B” y el lado derecho al extremo “A”. Es necesario establecer esta distinción, ya que al ensamblar solo existe una posición correcta, es decir, el extremo A del Tubo con el extremo A del Eje y el extremo B del Tubo con el extremo “B” del Eje.

El rediseño de este segmento de eje es la pauta para modificar el eje motriz del sistema. El largo y el ranurado continúan con las mismas dimensiones, el cambio solo se produce en la distancia de las perforaciones.

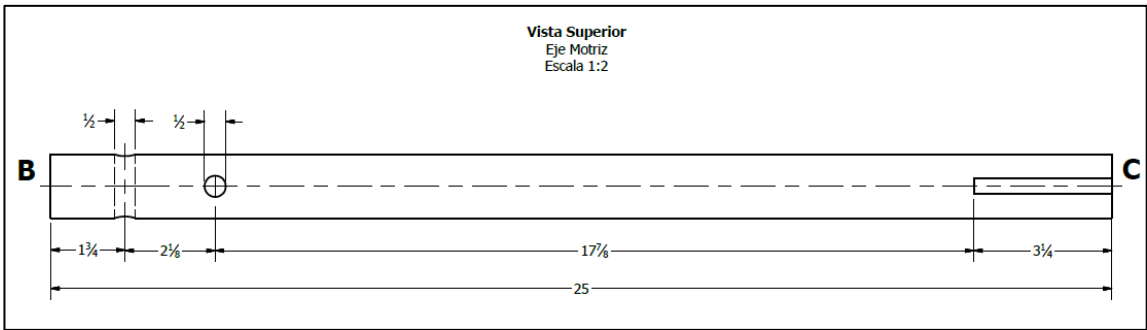


Figura 81: Esquema dimensional final – Segmento Eje Motriz.

Este segmento de eje posee perforaciones solo en un extremo, el cual se conecta con el extremo “B” del tubo, por tanto, se asigna esta letra al extremo izquierdo del eje. Por otro lado, al extremo derecho se le asigna la letra “C” para futuras referencias.

Finalmente se redefine el diseño del segmento de eje base, obteniendo le siguiente dimensionamiento:

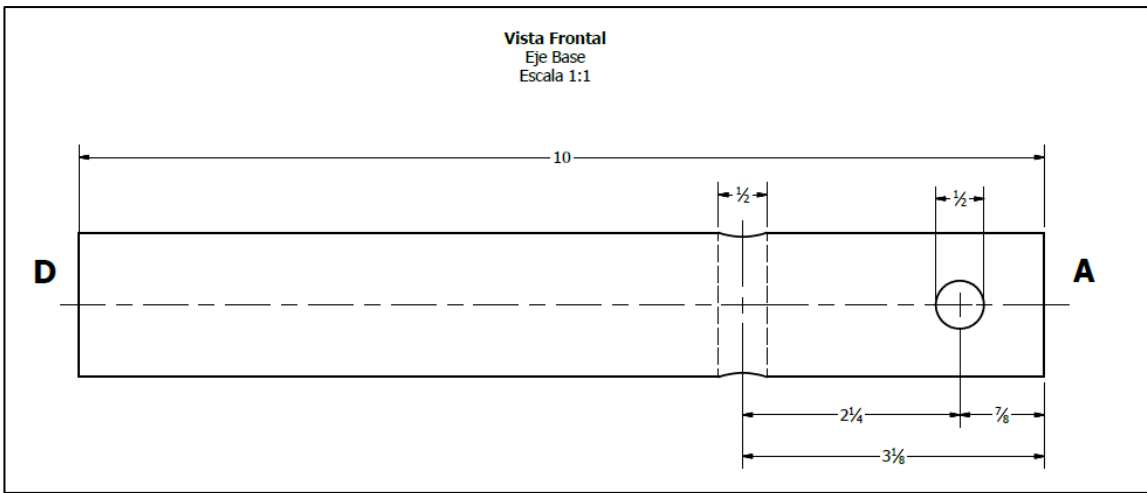


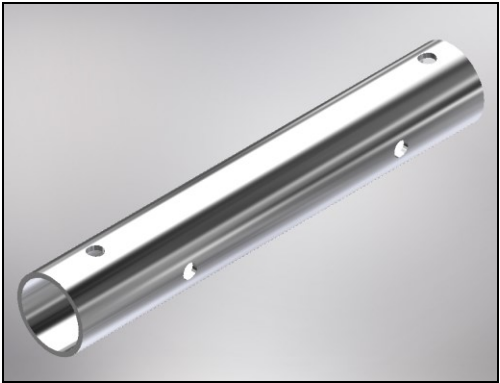
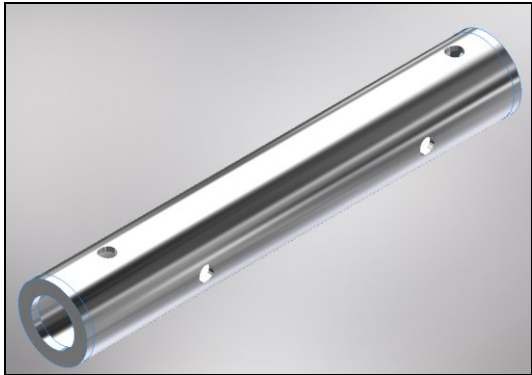
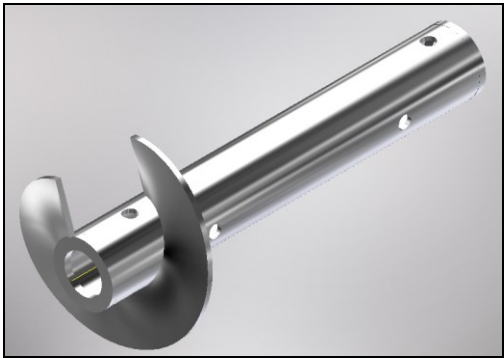
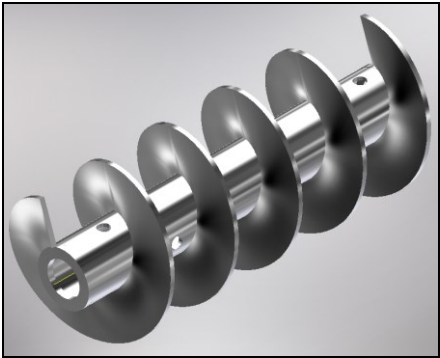
Figura 82: Esquema dimensional final - Eje base del sistema.

Tal como el segmento anterior, la letra “A” se asigna para indicar el extremo de ensamble con el tubo, mientras que la letra “D” se utiliza para indicar el extremo del rodamiento. Este segmento de eje tiene un peso aproximado de 0.254 [kg].

6.6.1.8.- Ensamble de transportador helicoidal

Una vez todos los componentes han sido modelados, se realizan los ensambles tal como se esperaría en un montaje físico. El primero de estos ensambles es el de la sección de transportador helicoidal, donde se inicia con el tubo ya perforado, para luego adherir los anillos de fijación en los extremos. Tras esto se monta el primer helicoide en el tubo, para luego dar paso al conjunto completo.

Tabla 57: Secuencia de ensamble para Sección de Transportador Helicoidal.

Vista Isométrica Sección de Tubo 	Vista Isométrica Sección de Tubo con anillos de fijación 
Vista Isométrica Sección de Tubo con sección de hélice 	Vista Isométrica Sección de Tubo con conjunto de hélices 

Como se ha planteado anteriormente, estas secciones de transportador se ensamblan mediante las secciones de eje de acoplamiento cerrado, formando así el ensamble de transportador helicoidal. El peso aproximado de una sección de tubo con las 5 secciones de helicoidal es de 6.25 [kg]

Como es de esperarse, se inicia con una sección de transportador, a la cual se le anexa la sección de eje base. Posteriormente se ensambla un eje de unión y otra sección de transportador, hasta finalmente montar las 6 secciones del transportador.

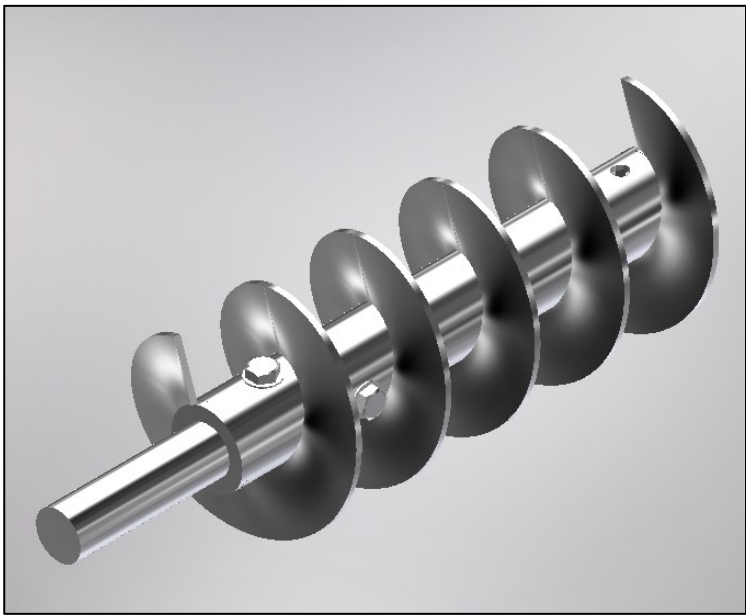


Figura 83: Modelamiento – Montaje Sección de transportador y Eje Base.

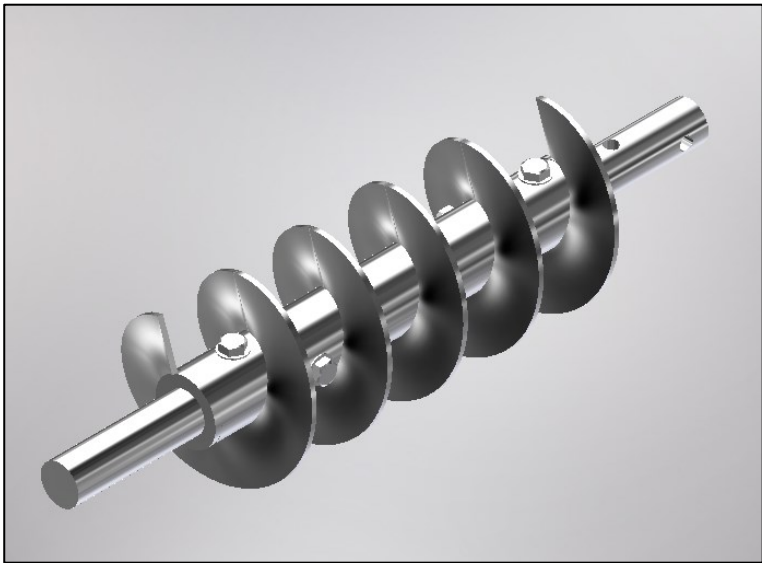


Figura 84: Modelamiento –Sección de Transportador y Eje de acoplamiento.

Tras ensamblar las 6 secciones de transportador, se monta el eje motriz y así se consigue el conjunto completo de transportador helicoidal.

Se ilustra en primera instancia una transparencia del transportador helicoidal para analizar su interior y como se conforma el eje al ensamblar con el tubo. Luego se expone de la forma convencional en que se aprecia una vez conformado.

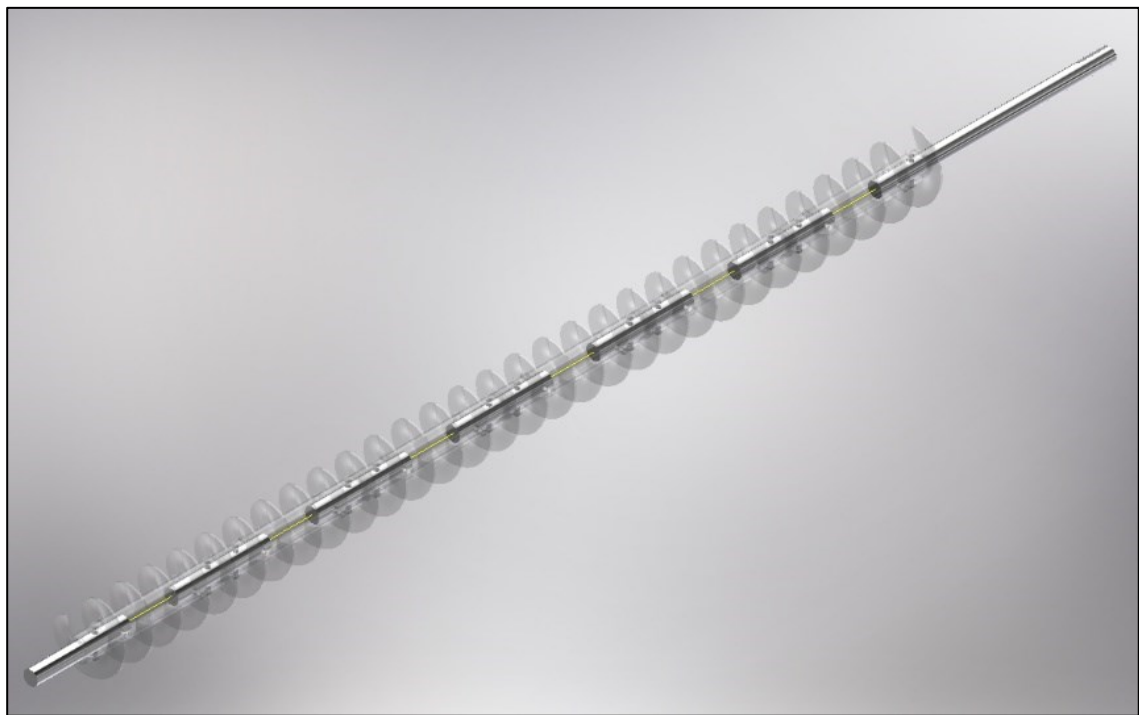


Figura 85: Modelo 3D transparente - Transportador Helicoidal ensamblado.

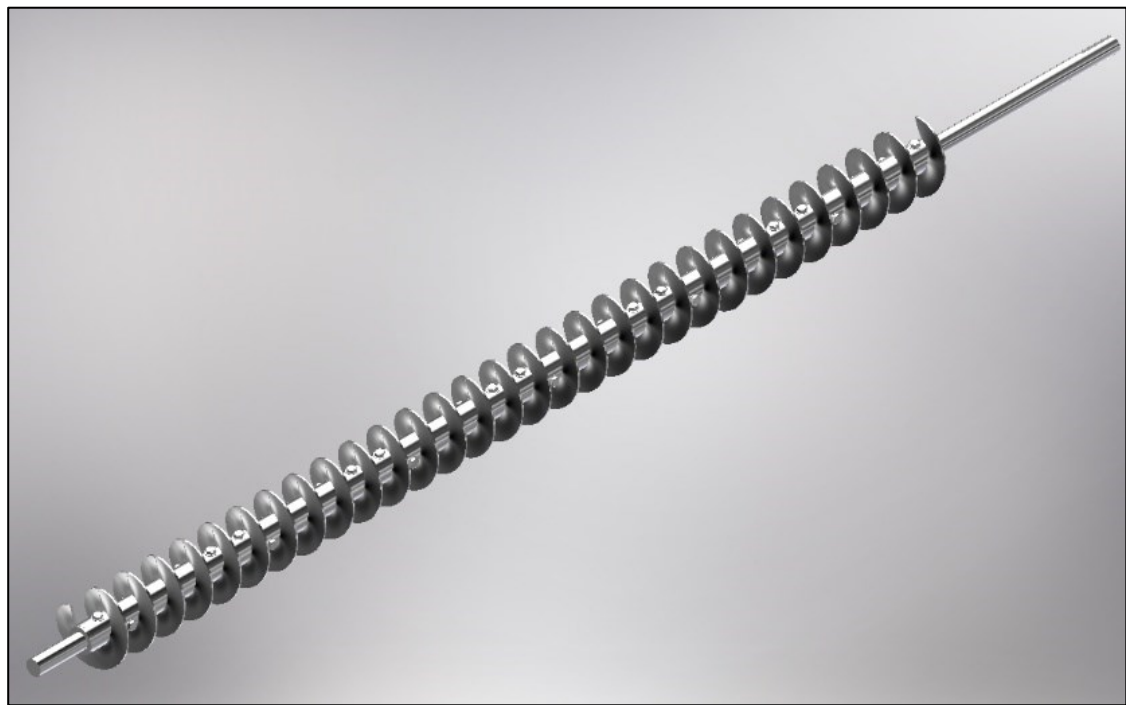


Figura 86: Modelo 3D - Transportador Helicoidal ensamblado.

Se esquematisa además el transportador para poseer un mejor dimensionamiento.

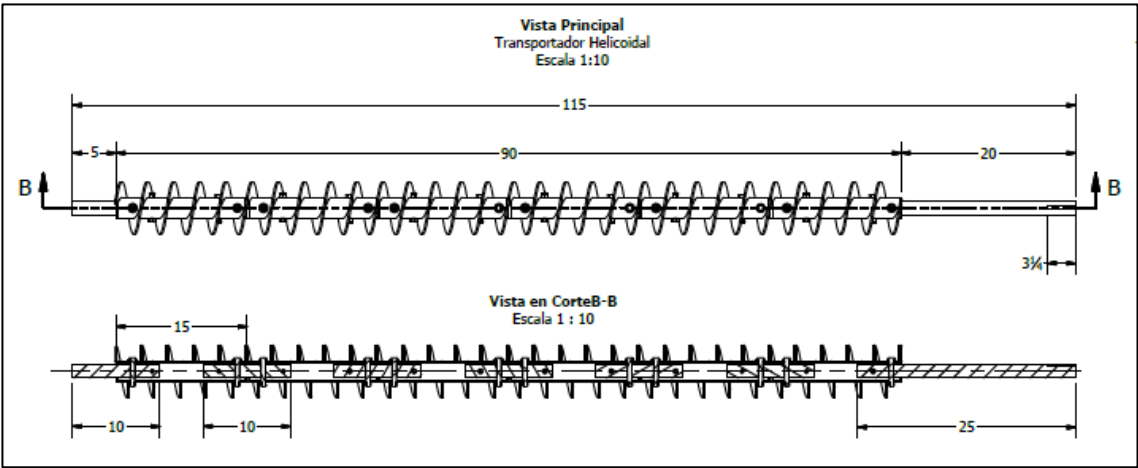


Figura 87: Esquema dimensional referencial - Transportador Helicoidal ensamblado.

Para determinar el peso del transportador completo, es necesario tabular los pesos de cada sección para determinar un peso final.

Tabla 58: Tabla de pesos de componentes para Transportador Helicoidal.

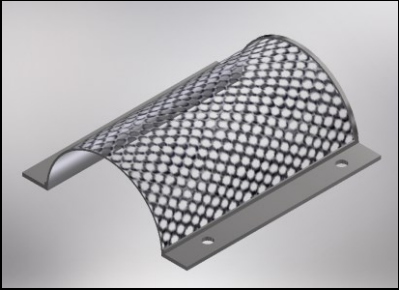
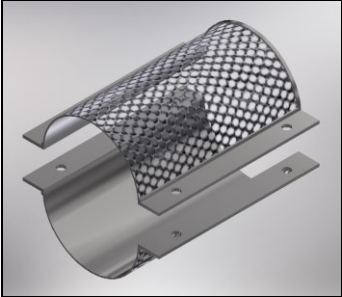
Conjunto	Elemento	Peso individual [kg]	Peso total [kg]
Eje	Eje de acople (5)	0.254	1.27
	Eje Motriz (1)	0.635	0.635
	Eje Base (1)	0.254	0.254
Tubo	Perno (24)	0.05	1.2
	Golilla (24)	0.005	0.12
	Tuerca (24)	0.01	0.24
	Sección de tubo (6)	2	12
	Anillos de fijación (12)	0.07	0.84
Hélice	Sección Helicoidal (30)	0.85	25.5
Peso Total del Transportador Helicoidal			42.059

Tras este análisis, se estima que el conjunto del transportador helicoidal podría pesar aproximadamente 42 [kg].

6.6.2.- Empaquetadura

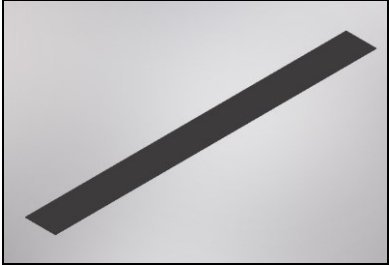
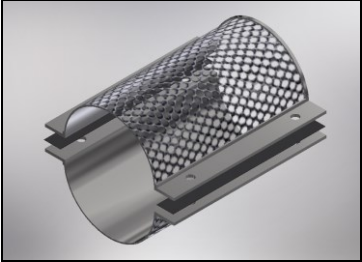
Para comprender de mejor manera la función de esta empaquetadura, es necesario ejemplificar la forma de uso, esto se hace mediante una modelación 3D. Anteriormente se ha planteado que la malla tiene la siguiente forma:

Tabla 59: Ejemplo de sección de malla individual y en conjunto de ensamble.

Vista Isométrica Sección de malla preliminar 	Vista Isométrica Sección ensamble de malla 
--	---

Al analizar este tipo de ensamble, nace la preocupación de que la calidad superficial de las aletas podría no ser de la precisión requerida y formar espacios por donde pueda escapar líquido. Es por esto que se pretende implementar una empaquetadura a lo largo de las aletas para contrarrestar este supuesto. Para estos efectos se recomienda una empaquetadura de goma de Viton, la cual es resistente amplios rangos de temperaturas exposición a la intemperie. Posee una excelente resistencia química a ácidos y álcalis. Se recomienda en espesor de 3.2 [mm], según catálogos del fabricante nacional “Multigomas S.A”.

Tabla 60: Ejemplo de empaquetadura en conjunto de ensamble con malla.

Vista Isométrica Sección de malla preliminar 	Vista Isométrica Sección ensamble de malla 
---	--

6.6.3.- Dimensionamiento de Malla

Como se ha establecido, se pretende rodear el transportador helicoidal por una malla de marcos rígidos en vez de una artesa o carcasa solida como se hace habitualmente. Esto en vista que uno de los objetivos es filtrar los líquidos residuales contenidos por la masa desechable. Se espera que este fenómeno ocurra durante el traslado longitudinal del material y el contacto continuo con esta malla filtradora.

Se proponen tres versiones de mallas que podrían dar los resultados esperados. Estas propuestas surgen en función de la capacidad adquisitiva de la empresa y de la capacidad tecnológica de la industria nacional, ya que las mejores opciones para esta operación deben ser importadas, implicando largos periodos de tiempo y elevados costos.

Por un lado, en la industria nacional se observa que la precisión y rigurosidad con la que se generan los elementos es baja para los requerimientos del proyecto, por otro lado, las pocas industrias que cuentan con las capacidades tecnológicas suficientes, representan un costo notablemente elevado. Es por esta razón que, tras proponer las versiones más aconsejables de malla, los ejecutivos de la empresa son los encargados de evaluar las variantes logísticas y económicas de los modelos.

Pese a proponer distintas versiones, la variabilidad se representa en gran medida por el tipo de material con el que se pretende generar un enmallado, pese a esto la geometría original de la malla se mantiene. Como se ha establecido antes, estas secciones de malla con marcos poseen aletas laterales con el objetivo de ensamblarse tal como se ha ilustrado en la “*Tabla 13: Descripción de modelamiento para módulo de malla.*”, en la sección “6.4.3.- Modulo Central – Malla” del documento. Estas aletas tienen un espesor aproximado de 3 milímetros.

Este modelo optimizado, como se ha mencionado antes, cuenta con una goma sellante, la cual tiene un espesor mínimo a la que se puede comprimir, dato relevante al medir la holgura entre el cilindro de malla y el transportador.

Para esta sección no se incurre en detalles para la conformación o dimensionamiento de las mallas, debido a lo extenso de la información y por qué puede obtenerse a través de planos de fabricación.

6.6.3.1.- Filtro-Tamiz Johnson

El tipo de filtro-tamiz Johnson, también llamado filtro de ranura continua, impide que el material se atasque o se aglomere, debido a que su tipo de ranura permite que las partículas que no posean el tamaño adecuado para pasar por el filtro queden en la superficie de la malla, fluyendo libremente con el resto del material y siendo así deslizados hasta el final del transportador. Permite reducir al mínimo la pérdida de carga por rozamiento, reduciéndose también los costos de operación. Estos filtros usualmente se fabrican con alambre de acero inoxidable y/o carbono, ya que frecuentemente se utilizan en profundidad y puede ser tanto de acero inoxidable 304-316 como de acero galvanizado en caso de querer una versión más económica.

La forma y dirección que tome el filtro en su fabricación dependerá de la dirección en que viaje el contenido y la dirección en la que se quiere filtrar. A continuación, se ilustra de forma esquemática los tipos de conformaciones posibles, para la cual se selecciona la opción que considera un flujo axial al cilindro formado y que el sentido de filtrado sea desde dentro hacia fuera.

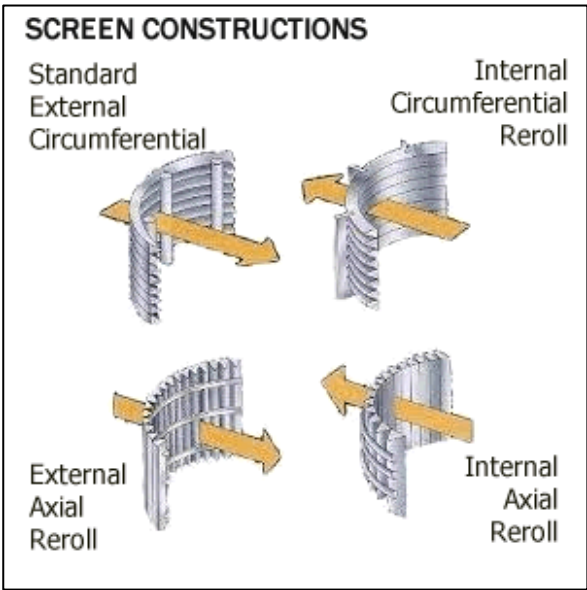


Figura 88: Dirección de filtrado y dirección de flujo. (St, 2018)

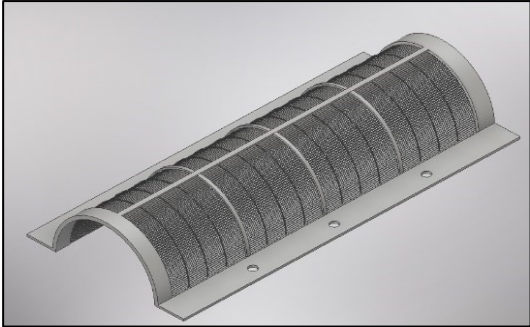
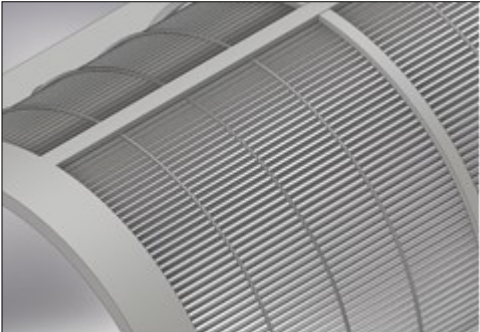
A partir de información proporcionada por catálogos del fabricante nacional “Johnson Screens Chile”, se pueden obtener las características y dimensiones físicas de los filtros para profundidades menores a 100 metros.

Tabla 61: Características físicas de filtros de 6 pulgadas. (St, 2018)

Diámetro			Caudal Admisible [m³/h]						Peso	Peso
Nom.	Int.	Ext.	Abertura de Ranura [mm]						Estimado	Máx.
P.S.	Mm	Mm	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	[kg/m]	[kg]
6"	153	164	7.7	13.6	18.2	21.9	24.7	27.2	8	2750

Debido a que el diámetro externo del helicoidal son 6 [in] exactas, equivalentes a 152.4 [mm], y el diámetro interior del filtro es de 153 [mm], se genera una holgura de 0.6 [mm], 0.3 [mm] de cada lado. Esto da como resultado una posible interferencia por lo ajustado del ensamble. No obstante, debe considerarse que estos filtros deben cortarse a la mitad y ensamblarse con aletas, donde se integra la goma sellante entre las aletas de contacto, lo que proveería una separación adicional de 3.2 milímetros aproximadamente con un mínimo de 1.6 milímetros, espesor al cual se logra compactar la empaquetadura. A continuación, se ilustra en forma 3D como sería una conformación de malla de este este estilo.

Tabla 62: Modelación 3D -Tipo de malla Johnson.

Vista Isométrica Sección de malla estilo Johnson 	Vista en detalle Sección de malla estilo Johnson 
---	--

6.6.3.2.- Malla RLL

Este tipo de malla posee una abertura rectangular alargada y auto limpiante, además de ser mucho más fácil de adquirir y modificar. Los alambres transversales están agrupados en racimos de tres, de rizado cerrado y capaces de soportar una fuerte tensión. Los alambres longitudinales quedan libres de tensión a lo largo, lo que les permite superar la vibración interna. Esta ventaja, combinada con las oscilaciones del elemento vibrador, hace más fácil expeler cualquier material que tenga tendencia a obstruir las aberturas.

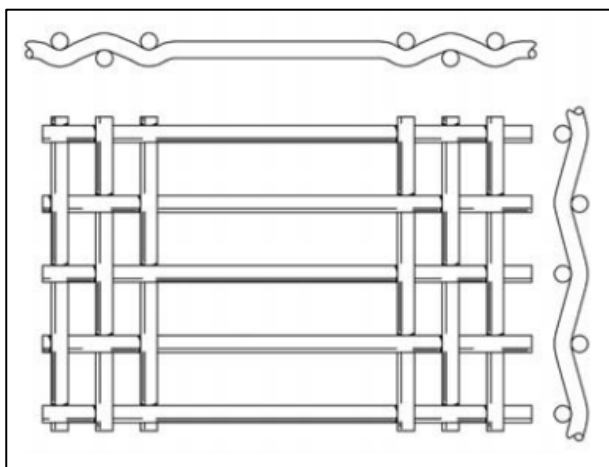


Figura 89: Esquema geométrico del enmallado. (Rivet, 2018)

Se recomienda implementar una malla con abertura de 4x340 [mm] y 2 [mm] de espesor de alambre, en primer lugar, porque se estima que el problema real está en partículas mayores a 4 [mm] de diámetro, toda partícula por debajo de este tamaño se considera despreciable en vista que en los procesos posteriores es fácilmente removible. En segundo lugar, se aconseja esta abertura entre todas las que poseen un mínimo de 4 [mm], debido a que el área útil es de 66.3%, superior a otras opciones con dicho diámetro mínimo.

No obstante, esta malla a diferencia de la propuesta anterior, es solo el armado metálico, no posee marcos o estructuras contenedoras para evitar la deflexión, además de que tampoco posee la curvatura requerida para rodear el tornillo. Todas estas características deben generarse, por lo que recomienda fabricar segmentos de marcos con planchas de acero inoxidable curvadas, cada cierta distancia para sostener el peso del material y evitar la deflexión del enmallado a lo largo del tornillo.

Se recomiendan planchas de 3 [mm] de espesor, cortadas en láminas de 30 [mm] de ancho con una curvatura de aproximadamente 80 [mm] de radio, ensambladas a distancias equidistantes para sostener de forma eficaz el contenido transportado. Se presume que, con esta curvatura al superponer la malla sobre estos marcos, habrá una separación de 1.8 [mm] entre el diámetro externo del tornillo y la superficie interna de la malla.

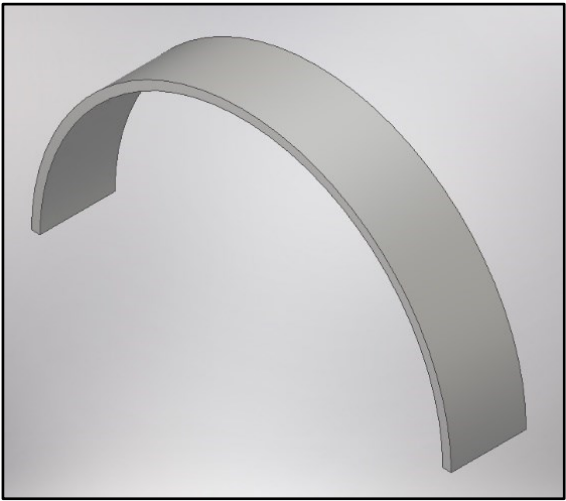
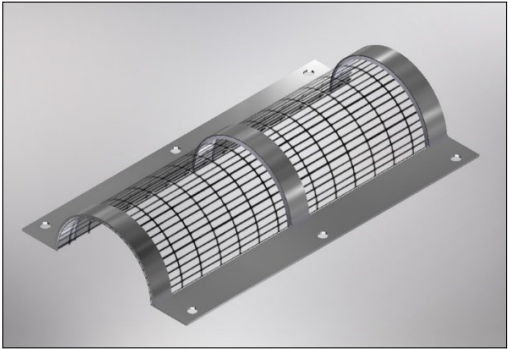
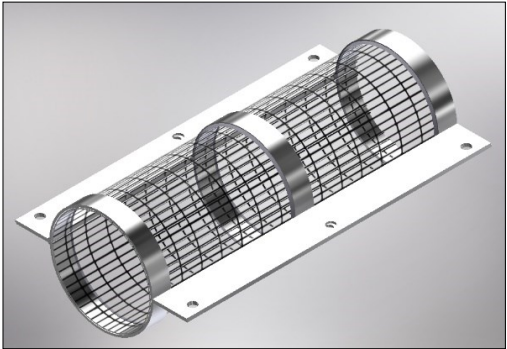


Figura 90: Representación 3D - Marco de malla RRL.

Estos segmentos de marcos se ensamblan junto con las aletas laterales y así forman el esqueleto para la adhesión de la malla, tal como se muestra a continuación.

Tabla 63: Representación 3D – Sección y conjunto de malla RRL.

Vista Isométrica Sección de malla RRL 	Vista Isométrica Ensamble de Sección de malla RRL 
---	--

6.6.3.3.- Plancha perforada

Esta es la versión por la que finalmente se opta. Debido principalmente a que es la versión más factible de construir y modificar, presentando la misma utilidad. Es posible que el material para su construcción no sea el de más bajo costo, no obstante, debido al escaso tiempo para la fabricación, se requiere de componentes con facilidad de mecanizado.

Este modelo de malla consiste en una plancha de acero inoxidable con perforaciones oblongas cruzadas, la cual puede flexionarse fácilmente para alcanzar la curvatura necesaria. Se recomienda un espesor de plancha de 2 [mm], con perforaciones oblongas de 4x20 [mm]. Se espera generar una curvatura de 80 [mm] de radio, logrando así una distancia entre el transportador y la malla de aproximadamente 3 [mm].

Particularmente en este capítulo no se requiere detalles del diseño de todas las secciones de la malla, para estos efectos se puede recurrir a los planos de fabricación. No obstante, algunos valores característicos de estas conformaciones son su peso aproximado de 7.92 [kg/m²] y un ancho de 254 [mm] para lograr una curvatura de 80 [mm] de radio. Lo que implica que cada sección al poseer este ancho y espesor, posee un peso de aproximadamente 2 [kg/m], por lo que para calcular su peso final solo se requiere identificar el largo del cual se desea cada sección. A continuación, se presenta una representación creada en Autodesk Inventor.

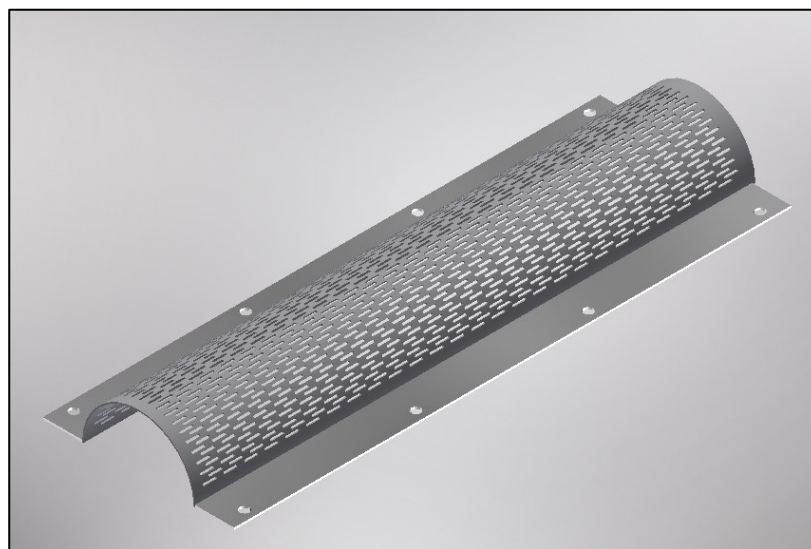


Figura 91: Representación 3D - Sección de Malla versión Plancha Perforada.

6.6.4.- Rodamientos

Una selección de rodamientos adecuados se basa en principalmente en definir correctamente criterios como la precisión, rigidez, espacio disponible, velocidades, cargas, desplazamiento axial y soluciones de obturación. No obstante, debido a las características de operación del prototipo en comparación con máquinas de mayor exigencia, los datos más relevantes en este caso son los tipos de carga y el desplazamiento axial que afectan a los rodamientos.

En este caso particular se presenta una carga combinada, debido a que el eje se encuentra en una inclinación aproximadamente de 65°, esto implica que el rodamiento que sostiene el sistema (en la parte inferior del prototipo) soporta una carga axial y una carga radial simultáneamente. La capacidad de un rodamiento para soportar una carga axial se determina mediante el ángulo de contacto “ α ”. Cuanto mayor sea dicho ángulo, mayor será la capacidad de carga axial del rodamiento. A continuación, se presenta un esquema de funcionamiento del ángulo de contacto “ α ” en los rodamientos para cargas combinadas.

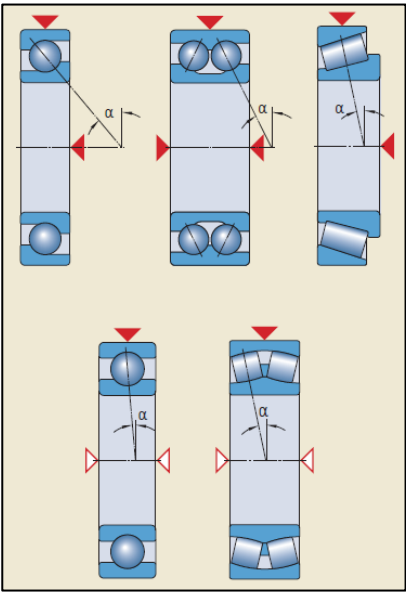


Figura 92: Esquema - rodamientos de cargas combinadas. (SKF, 2015)

Para las cargas combinadas, se usan principalmente los rodamientos de una y de dos hileras de bolas de contacto angular y los rodamientos de una hilera de rodillos cónicos, aunque los rodamientos rígidos de bolas y los rodamientos de rodillos a rótula también son adecuados.

En cuanto al desplazamiento axial, los ejes u otros componentes giratorios de las máquinas están, generalmente, soportados por un rodamiento del lado fijo y otro del lado libre. El rodamiento del lado estático debe ser capaz de fijar el eje axialmente en ambos sentidos. Los rodamientos más adecuados para la posición fija son los que admiten cargas combinadas o los que pueden proporcionar un guiado axial en combinación con un segundo rodamiento.

Los rodamientos del lado libre deben permitir el movimiento axial del eje para evitar las cargas axiales inducidas en el caso de que ocurra una dilatación térmica del eje. Los rodamientos adecuados para la posición libre son los rodamientos de agujas y los rodamientos de rodillos cilíndricos de diseño NU y N. A continuación, se presenta un esquema de los rodamientos adecuados para desplazamiento axial.

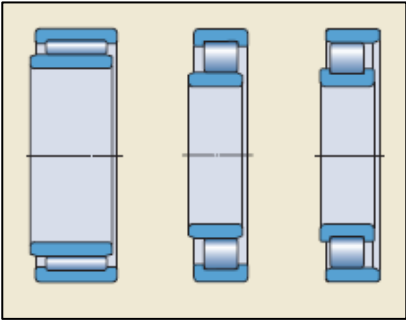


Figura 93: Esquema de rodamientos - desplazamiento axial. (SKF, 2015)

Si se utilizan rodamientos no desmontables como rodamientos libres, como por ejemplo los rodamientos rígidos de bolas o los rodamientos de rodillos a rótula, uno de los aros del rodamiento debe tener un ajuste libre. A continuación, se presenta un esquema que ejemplifica como rodamientos no desmontables pueden funcionar como rodamientos libres.

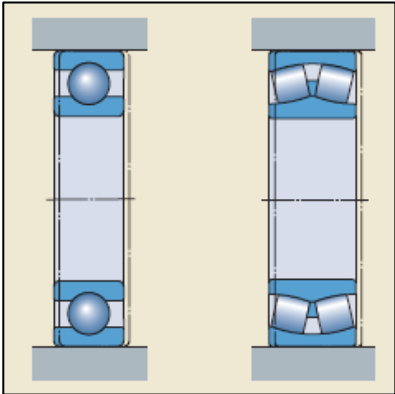


Figura 94: Esquema - Rodamientos no desmontables. (SKF, 2015)

6.6.5.- Dimensionamiento de Carcasa

En este capítulo se desarrolla el proceso de diseño de todo el exterior del prototipo, entiéndase este como un tipo de carcasa protectora de los elementos funcionales. No obstante, no se detallan los procesos de generación de formas y las dimensiones de cada módulo, debido a que esto puede apreciarse de mejor manera en los planos de fabricación. Cabe destacar que las geometrías y parámetros físicos de esta cubierta se han diseñado a partir de resoluciones acordadas por el equipo de trabajo y no obedece a objetivos puramente funcionales, sino también estéticos y comerciales.

El propósito fundamental de esta “carcasa” es el de retener el líquido residual proveniente del filtrado de la malla a lo largo del transportador y devolverlo al afluente. Tal como los demás componentes del prototipo, siguiendo siempre el enfoque desmontable y modular, esta carcasa se constituye de secciones, las cuales poseen diversas geometrías para satisfacer los requerimientos, ensamblándose mediante bridas y aletas. En general esta carcasa se basa en una tubería de acero inoxidable grado 304 con el diámetro suficiente para albergar la malla y el transportador helicoidal. Se estima, según la disponibilidad del mercado, que tuberías con diámetro nominal de 6 [in] con un espesor de pared de 3.4 [mm] de espesor (SCH 10) cumplen los requisitos. Posee 168.3 [mm] de diámetro exterior y 161.5 milímetros de diámetro interior. Esto significa que la distancia de contacto entre la carcasa y la malla es de aproximadamente 1.5 [mm].

Esto es aparentemente suficiente, no obstante, siempre existe la posibilidad que, en la fabricación de componentes o ensamblado, exista imprecisión o imperfecciones que puedan alterar el correcto funcionamiento, por tanto, se recomienda un diámetro nominal de 8[in] con espesor de pared SCH 10 de 3.76 [mm] y un peso aproximado de 19.94 [kg/m]. Esta posee un diámetro exterior de 219.07 [mm] y un diámetro interior de 211.55 [mm], lo que genera una distancia de contacto de 51.55 [mm]. Aparentemente es bastante más que la anterior, pero tomando en cuenta que una mayor distancia de contacto no tiene efectos más allá del costo de una tubería de diámetro mayor, es preferible esta opción.

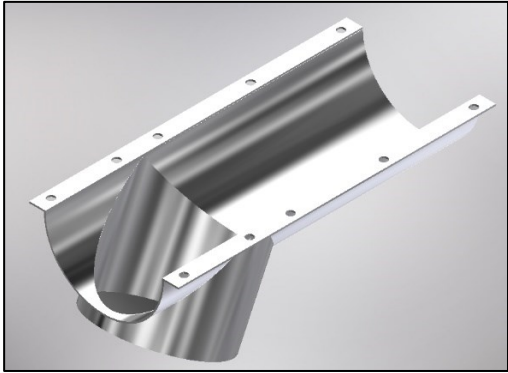
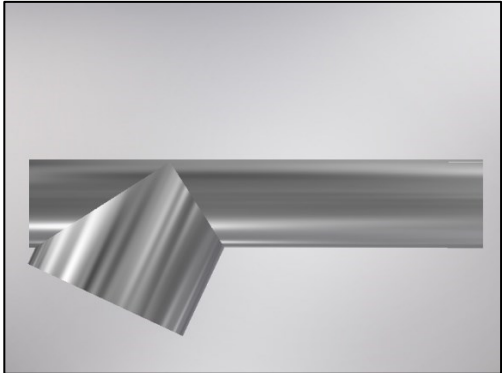
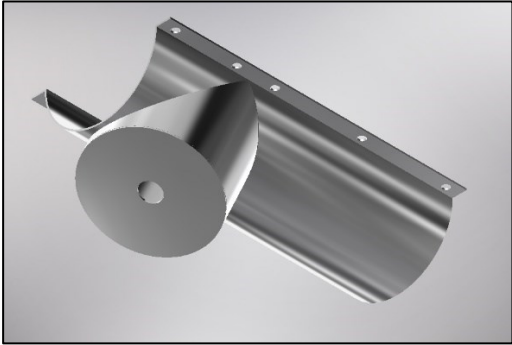
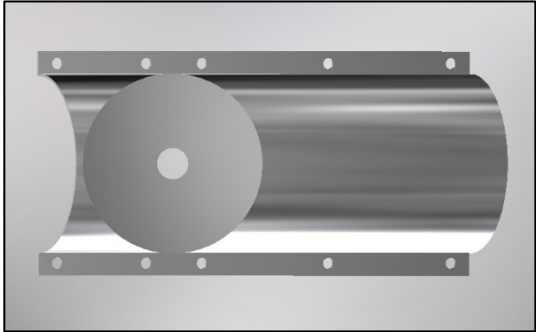
En cuanto al uso de bridas o flanges, se seleccionan por supuesto los adecuados al diámetro de la tubería, no obstante, la presión ejercida desde el interior de esta, es mucho menor a la que soportan habitualmente las bridas, por tanto, se opta por la categoría de menor resistencia y más económica. En este caso serían Bridas tipo slip-on 8 [in] de acero inoxidable grado 304L Clase 150lb, de fácil adquisición en el mercado.

6.6.5.1.- Modulo Inferior – Carcasa Inferior Base

Este módulo, posee una geometría poco convencional, obtenida a partir de la mecanización y unión de segmentos de carcasa. Esta ha sido planteada para permitir tanto el ingreso y salida del líquido, como para ser la base del transportador helicoidal.

Como se ha planteado anteriormente, el sistema de unión entre módulos es a través de pernos dispuesto en las aletas perforadas que se adhieren a cada módulo. La base de la carcasa tiene una inclinación de 65° para poder presentar una superficie plana perpendicular al eje del helicoidal. Posee además una perforación concéntrica de 1.5 [in], mismo diámetro del eje del transportador, esto para poder insertar dicho eje en el rodamiento fuera de la carcasa. Los detalles dimensionales sobre el diseño del módulo se pueden encontrar en el posterior capítulo de planos de fabricación del modelo optimizado.

Tabla 64: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Inferior Base.

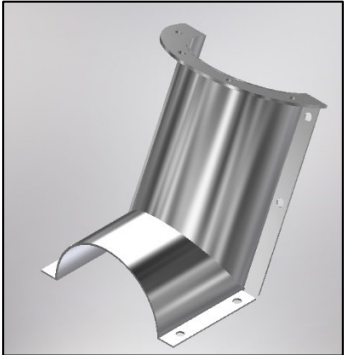
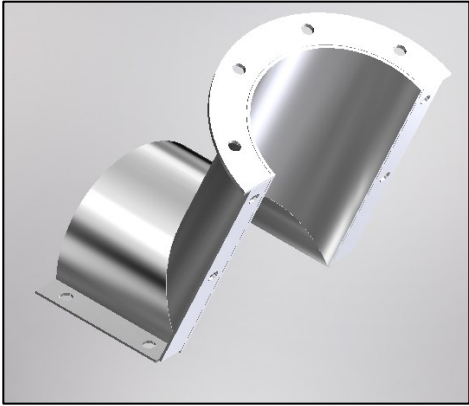
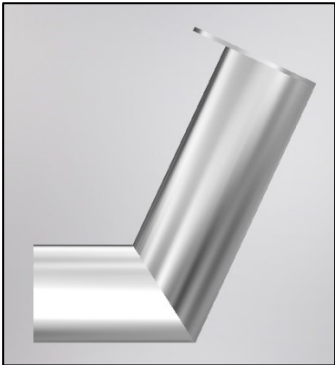
Vista Isométrica Superior Módulo de Carcasa Inferior Base 	Vista Lateral Módulo de Carcasa Inferior Base 
Vista Isométrica Inferior Módulo de Carcasa Inferior Base 	Vista Inferior con inclinación de 65° Módulo de Carcasa Inferior Base 

6.6.5.2.- Modulo Inferior – Sección inclinada izquierda

Este módulo se compone principalmente de dos segmentos de tubería, mecanizados y ensamblados para formar un ángulo de 65° y lograr una envoltura tanto horizontalmente para la recepción del material, como una inclinada para albergar el transportador helicoidal. Posee aletas laterales para su fijación con los módulos inferior base y el módulo inferior derecho, además de una media brida en su parte superior para el ensamble con el módulo medio.

La característica de “Sección inclinada izquierda” es solo una referencia de ensamble para su mejor comprensión. Los detalles dimensionales sobre el diseño del módulo se pueden encontrar en el posterior capítulo de planos de fabricación del modelo optimizado.

Tabla 65_ Modelamiento 3D - Módulo Carcasa Inferior Inclinada Izquierda.

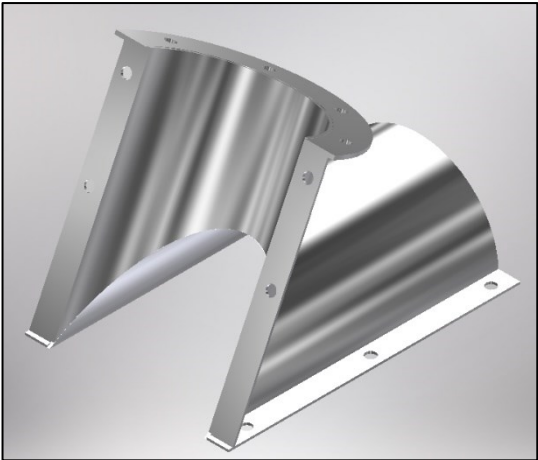
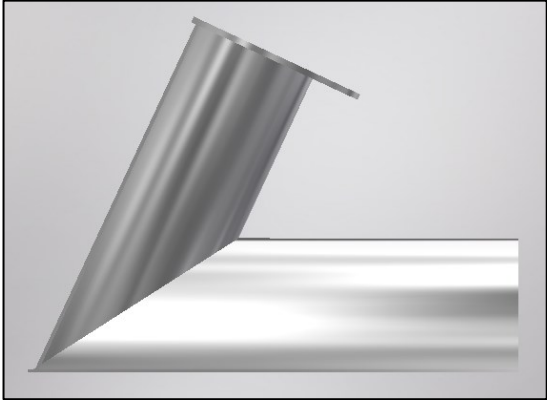
Vista Isométrica Superior Izquierda Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 	Vista Isométrica Superior Derecha Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 
Vista Lateral Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 	Vista Frontal Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 

6.6.5.3.- Modulo Inferior – Sección inclinada derecha

Este módulo es de similares características al anterior, con una sección vertical inclinada por donde escurre el líquido filtrado y una sección horizontal por donde el líquido sigue su recorrido tras volver al afluente.

Este módulo también lleva aletas tanto horizontales como inclinadas, además de una sección media de brida en la parte superior para ensamblar con la parte media del prototipo.

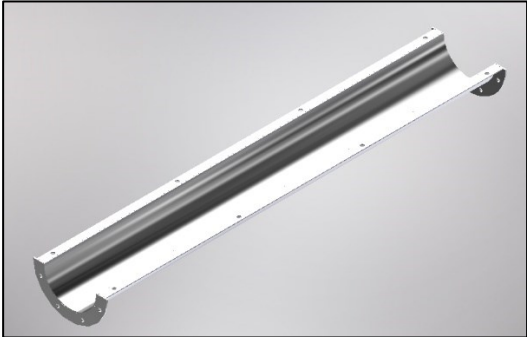
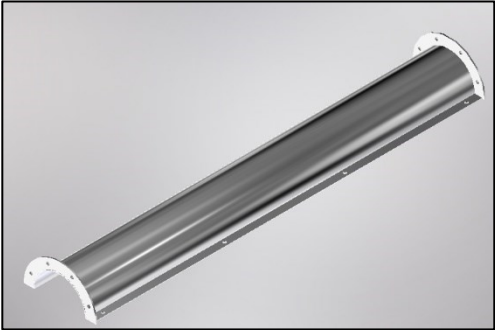
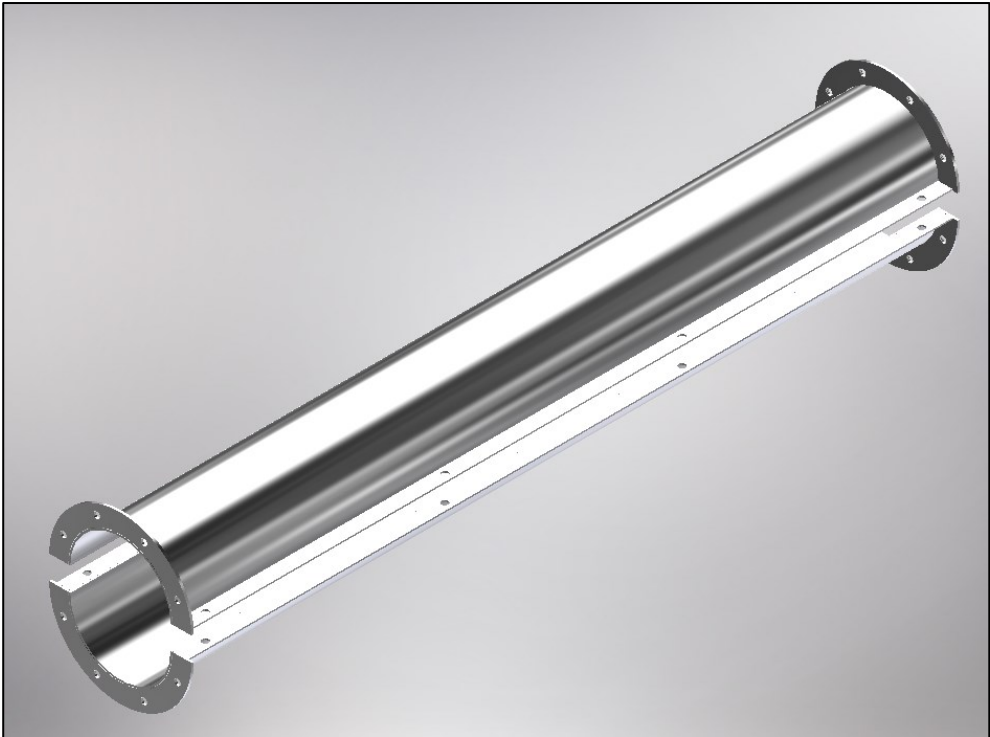
Tabla 66: Modelo 3D - Módulo de Carcasa Inferior Inclinada Derecho.

Vista Isométrica Superior Izquierda Módulo derecho de Carcasa Inferior 	Vista Isométrica Superior Derecha Módulo derecho de Carcasa Inferior 
Vista Lateral Módulo derecho de Carcasa Inferior 	Vista posterior Módulo derecho de Carcasa Inferior 

6.6.5.4.- Modulo Medio – Carcasa media

Este módulo posee una geometría bastante más simple y por tanto más rápida de fabricar. Consta de una sección de tubería recta alargada, en forma de medio casco tal como las secciones anteriores, con secciones de bridas en sus extremos, lo que le permite ensamblar tanto con los módulos inferiores, como los superiores con el compactador escurridor.

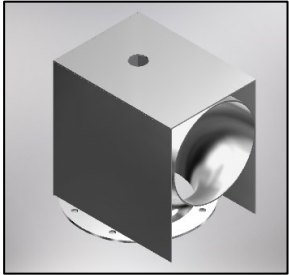
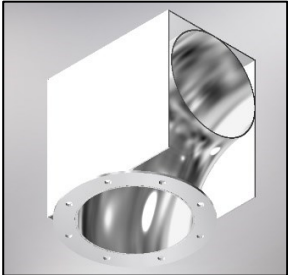
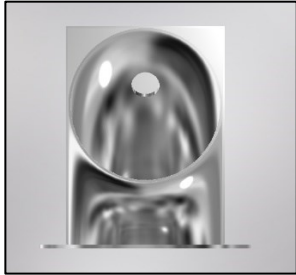
Tabla 67: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Media.

Vista Isométrica Módulo Carcasa Media Inferior 	Vista Isométrica Módulo Carcasa Media Superior 
Vista Isométrica Conjunto Modulo Carcasa Media 	

6.6.5.5.- Modulo Superior – Descarga del Sistema

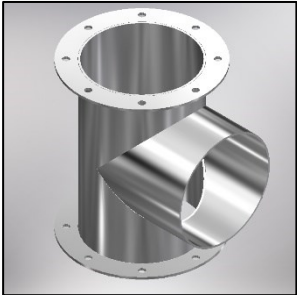
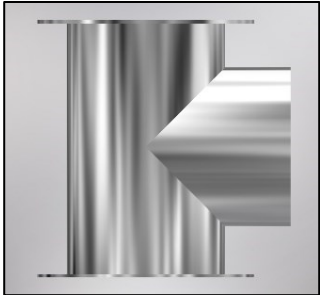
Finalmente, en la parte superior del prototipo, se dispone un codo de 90°, con el objetivo de generar la salida del sistema. Este codo tiene la particularidad de poseer placas en su periferia, las cuales forman una especie de carcasa alrededor del codo, plasmando en su exterior una forma cubica y plana para posteriormente montar tanto los componentes del sistema motriz como el rodamiento para el eje del sistema. Al igual que las secciones anteriores, este módulo lleva en su parte inferior una brida que genera el ensamble con la carcasa media.

Tabla 68: Modelamiento 3D para el Módulo Superior con Codo.

Vista Isométrica Módulo Superior 	Vista Isométrica Módulo Superior 	Vista Frontal Módulo Superior 
--	---	---

Este modelo es aplicable en el contexto en que la transmisión del sistema motriz es de forma paralela y mediante cadena. En caso de optar por una transmisión directa, se recomienda una tubería en forma de “T” con brida en en su parte superior, con el propósito de acoplar el sistema motriz.

Tabla 69: Modelamiento 3D para el Módulo de Carcasa Superior en “T”.

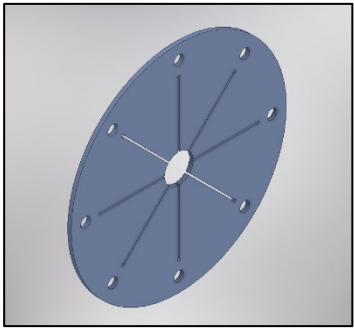
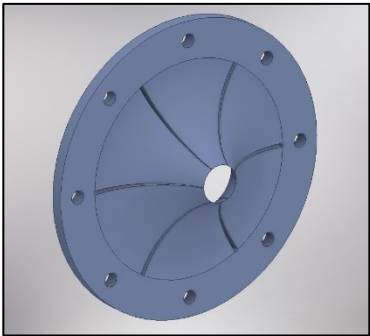
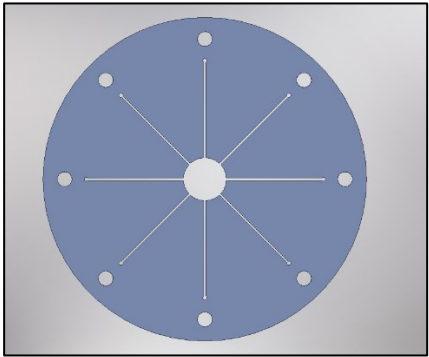
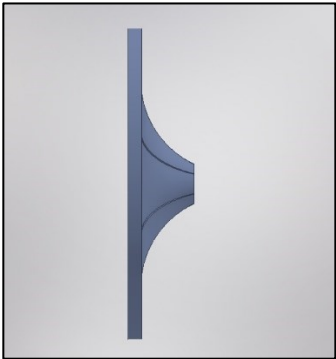
Vista Isométrica Módulo Superior 	Vista Isométrica Módulo Superior 	Vista Frontal Módulo Superior 
--	---	---

6.6.5.6.- Modulo Superior – Compactador Escurridor

Uno de los requerimientos específicos para el prototipo es el de incorporar un mecanismo que comprima en cierta medida el material antes de ser arrojado fuera del sistema con el objetivo de recuperar todo el líquido posible, tanto para fines de tratamiento de riles como para el procesamiento de los residuos sólidos.

El requerimiento nace particularmente de la empresa ISMA Consultores, propuesta por un integrante con trayectoria en ingeniería de campo. No obstante, este sistema no es de adquisición estándar en el mercado, por lo que es necesario diseñar un elemento que cumpla las funciones requeridas con el menor costo posible y procurando que le material sea moldeable, pero con cierto grado de rigidez, tal como el caucho. A continuación, se ejemplifica mediante modelos en 3D las características dimensionales del compactador, tanto en su forma plana como en su versión deformada.

Tabla 70: Modelamiento 3D - Compactador Escurridor.

Vista Isométrica Superior Izquierda Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 	Vista Isométrica Superior Derecha Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 
Vista Lateral Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 	Vista Frontal Módulo izquierdo de Carcasa Inferior 

6.6.6.- Ensamble final de prototipo optimizado

Tras finalizar el proceso de diseño de los componentes necesarios, se realiza el ensamble de todos los módulos. Sin embargo, existen algunos elementos los cuales no se modelan, aunque en terreno existen, como el soporte en la base y el soporte en medio del separador. Esto se debe a que la empresa metalmecánica a cargo de la fabricación asegura que no requiere de estos modelos y planos, tal como ocurre con los componentes motrices. En vista que en esta etapa del proyecto el tiempo es sumamente limitado, se prescinde de esta actividad para optimizar el avance y la fabricación. A continuación, se presenta la evolución de ensamble de los componentes en una tabla esquemática.

Tabla 71: Ensamble N°1 módulo inferior -modelo optimizado.

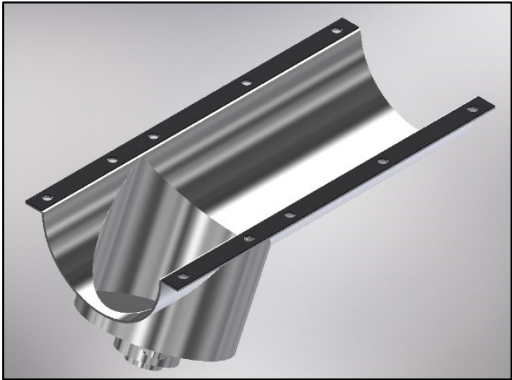
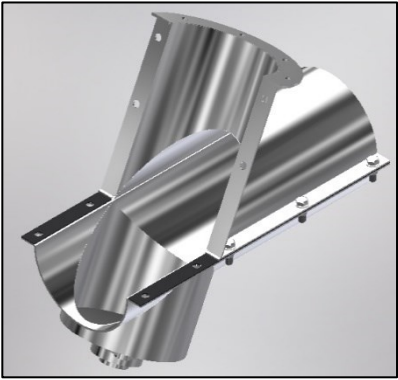
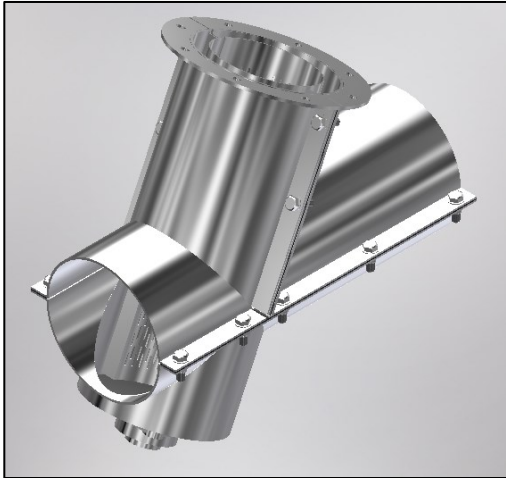
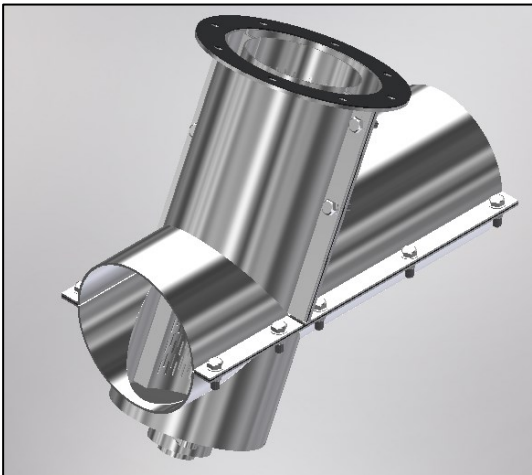
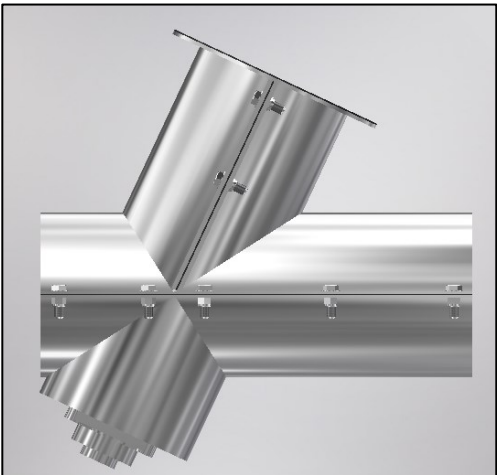
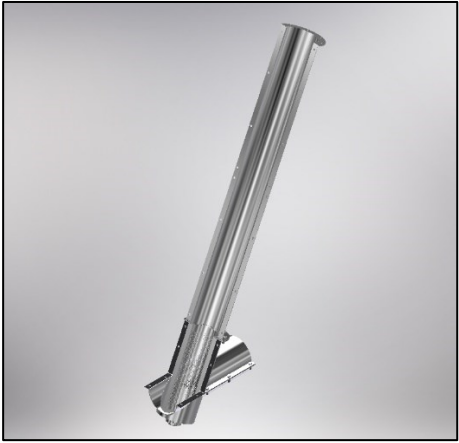
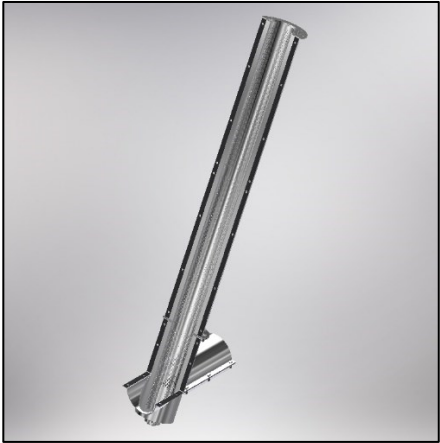
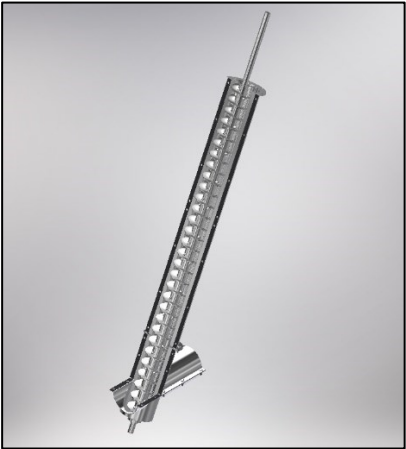
Vista Isométrica Carcasa Inferior Base 	Vista Isométrica Primer Ensamble Modulo Inferior 
Vista Isométrica Segundo Ensamble Modulo Inferior 	Vista Isométrica Tercer Ensamble Modulo Inferior 

Tabla 72: Ensamble N°2 módulo inferior -modelo optimizado.

Vista Isométrica Cuarto Ensamble Modulo Inferior 	Vista Isométrica Quinto Ensamble Modulo Inferior 
Vista Isométrica Sexto Ensamble Modulo Inferior 	Vista Lateral Segundo Ensamble Modulo Inferior 

Esta es una de las alternativas de ensamble inicial, comenzar ensamblando le modulo inferior completo y luego integrar tanto la carcasa media derecha como la malla media y superior derecha, para así poder instalar el transportador helicoidal. No obstante, puede presentarse otra posibilidad de ensamble, en donde no se instala de inmediato la sección izquierda del módulo inferior, para así poder tener una mejor perspectiva de la instalación del transportador. A continuación, se presenta esta progresión de ensamble.

Tabla 73: Tercera parte Ensamble Modulo Inferior y Medio - Modelo Optimizado.

Vista Isométrica Ensamble Modulo Carcasa Media 	Vista Isométrica Ensamble Malla Media y Superior 
Vista Isométrica Ensamble Transportador Helicoidal 	Vista Isométrica Ensamble Modulo Inferior Izquierdo 
Vista Isométrica Ensamble Malla Media y Superior 	Vista Isométrica Ensamble Modulo Carcasa Media 

Finalmente se realiza el ensamble del módulo superior y se agrega una representación básica del entorno directo del prototipo.

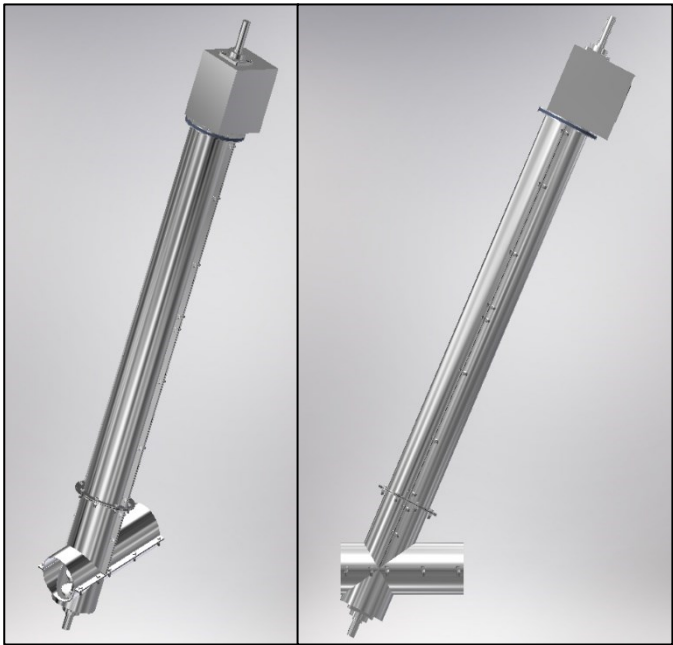


Figura 95: Vista Isométrica y Lateral de Conjunto - Prototipo Optimizado.

En la siguiente ilustración se aprecia como el prototipo debe ingresar al receptáculo y como la viña espera disponer de él y del Bin instalado para la retención del material expulsado.

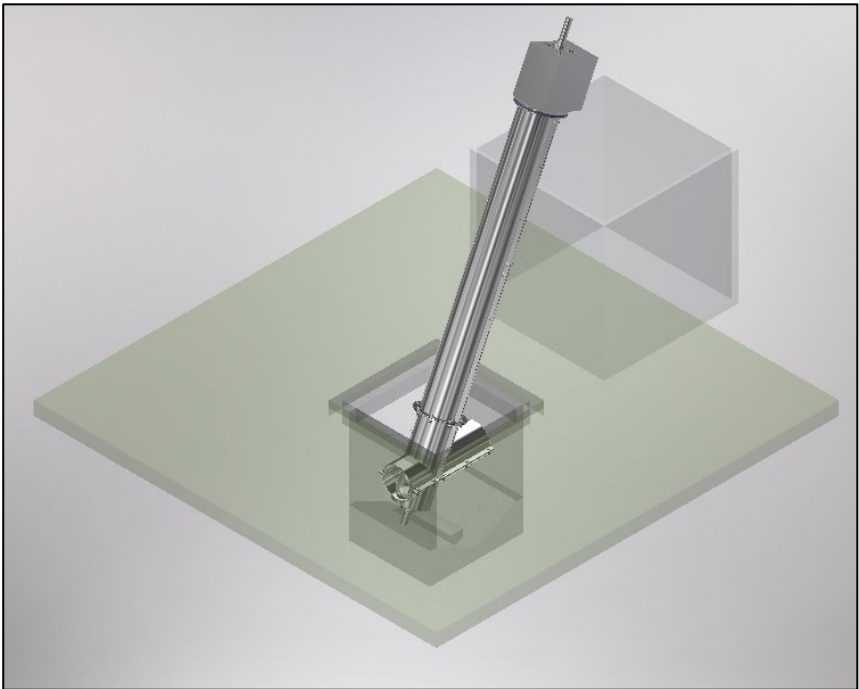


Figura 96: Vista Isométrica Instalación de Prototipo en Receptáculo.

La siguiente representación 3D, ejemplifica con mejor perspectiva el nivel al que se debe instalar la base del prototipo y de cómo se debe transportar el material.

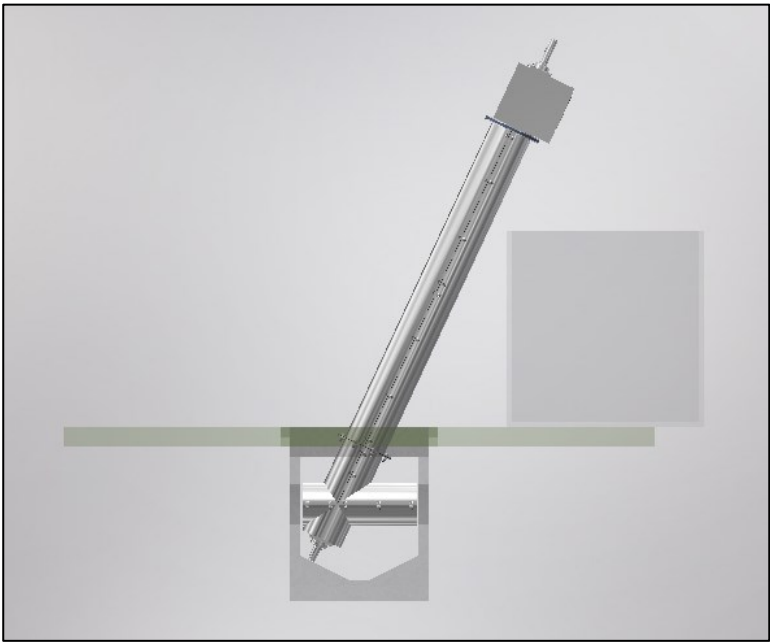


Figura 97: Vista lateral Instalación de Prototipo en Receptáculo.

A demás se incluye una representación con transparencia para aprecia de mejor manera la disposición del transportador helicoidal dentro de la malla y la carcasa.

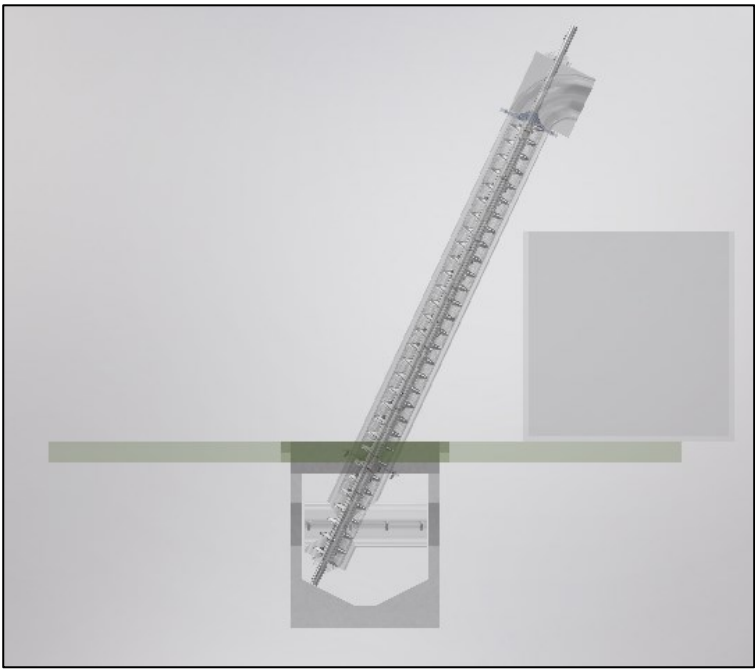


Figura 98: Vista lateral transparente para Instalación de Prototipo en Receptáculo

6.7.- Modelo Alternativo - Económico

Tras la finalización del modelo optimizado, se aprueba tanto por el directorio de Kraken S.P.A, como por los representantes de la empresa ISMA Consultores. No obstante, al ser cotizado ante la compañía metal mecánica que fabricara los componentes, se contempla un precio de fabricación por encima del presupuesto esperado por las compañías. Esta complejidad implica modificar el prototipo de tal forma que este dentro del presupuesto asignado, sin desatender claro los objetivos esperados del prototipo.

La mayoría de las modificaciones realizadas, han sido recomendadas por la maestría y sus expertos en fabricación de maquinaria industrial, siendo aprobadas por ambos directorios a cargo del proyecto. En este proceso de modificación se han intervenido ciertos sectores del sistema, simplificándolos y en algunos casos eliminando características en función de favorecer el objetivo fundamental del prototipo de separar sólidos y extraerlos hacia una zona de fácil remoción.

Se debe establecer que los cambios realizados al modelo optimizado son estrictamente por situaciones financieras de las empresas que dirigen el proyecto, por tanto, no son parte del diseño y desarrollo del prototipo separador de sólidos para la optimización de los procesos en el tratamiento de riles, sino más bien una adaptación simplificada que cumple el propósito principal del sistema incurriendo en bajos costos de fabricación.

Es de vital importancia considerar esta variante, ya que el modelo optimizado para la fabricación del prototipo ha sido calculado y diseñado bajo los más rigurosos criterios de evaluación a la hora de establecer los parámetros que determinan el comportamiento mecánico del sistema y su interacción con el proceso productivo. Mientras que el modelo alternativo presenta una serie de modificaciones que transforman el prototipo en una máquina sin módulos de ensamble, que cumple los requisitos solicitados por las empresas, excepto la función de compactar el material antes de dejar el sistema, hecho que ha sido planteado y aprobado por las compañías dirigentes del proyecto.

Este modelo surge durante el periodo de finalización del proyecto según los plazos estipulados por CORFO, por tanto, el diseño de modelación 3D, así como los planos, se han realizado solo a nivel esquemático, puesto que anteriormente la maestría se ha familiarizado con las dimensiones del prototipo y los componentes necesarios para su fabricación. Solo se exponen los cambios más relevantes.

Tal como se aprecia en la siguiente representación 3D, se han reemplazado los módulos por una conformación única y estática.

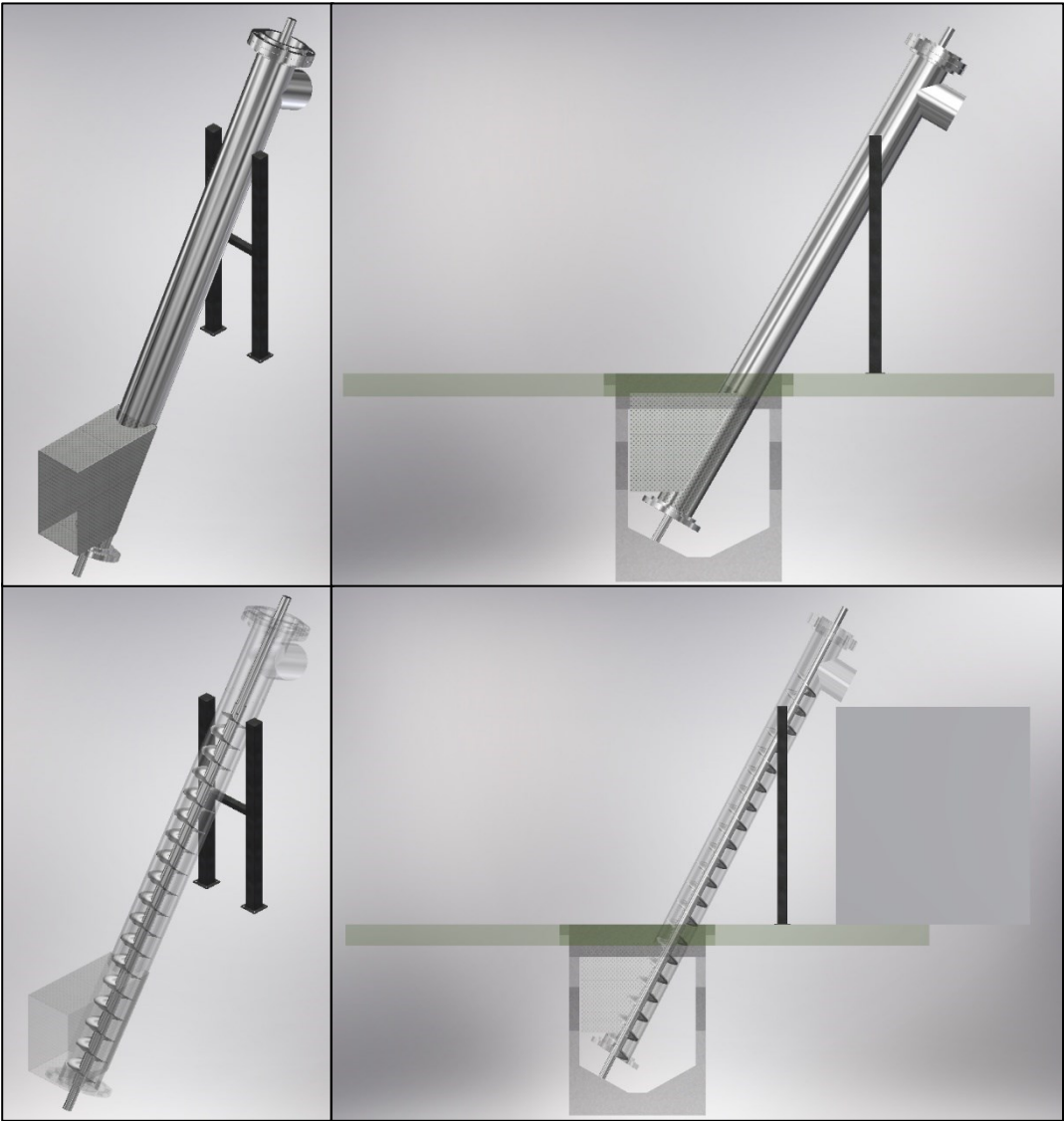
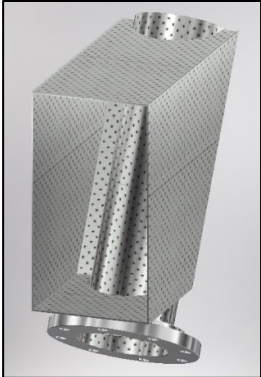
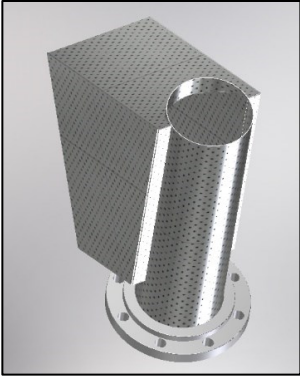
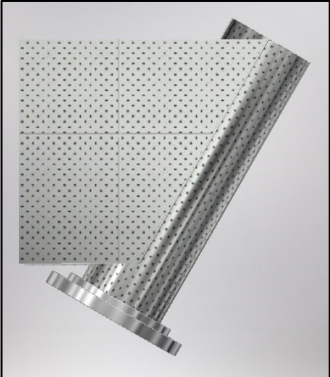


Figura 99: Representación 3D - Modelo alternativo.

En la parte izquierda del cuadro se presentan vistas isométricas del sistema sin elementos del entorno, mientras que las imágenes de la parte derecha representan una vista lateral del prototipo tal como se monta en la práctica con los elementos del entorno. En cuanto a la parte superior, ambas representaciones ejemplifican el exterior del sistema, mientras que las ilustraciones de la parte inferior poseen una leve transparencia para así apreciar el interior del prototipo.

En esta nueva versión se descarta el concepto del módulo inferior, el cual poseía un conducto de entrada y de salida del sistema. En su lugar se incorpora una tolva horizontal de geometría rectangular que permite el ingreso del material hasta el área de transporte, pero a diferencia de su predecesor, esta no posee un conducto de salida, debido a las perforaciones en el primer tramo de la sección inclinada. Al permitir el flujo del líquido escurrir a través de las perforaciones, este seguirá el caudal original hasta la siguiente estación de control. A continuación, se presentan modelos creados en el software de modelamiento Autodesk Inventor que ejemplifican de mejor manera las características de la sección.

Tabla 74: Modelamiento 3D - Tolva de recepción.

Vista Isométrica Frontal Tolva de Recepción	Vista Isométrica Posterior Tolva de Recepción	Vista Lateral Tolva de Recepción
		

Tal como se aprecia en las representaciones, la parte inferior de esta tolva, específicamente en el fondo del transportador helicoidal, se ubica una brida, cuyo propósito es la conexión con su contraparte que alberga el rodamiento base para el sistema de transporte helicoidal. Esta contraparte no se modela puesto que la empresa metalmecánica que fabricara las secciones no requiere de esta información.

Cabe destacar que la nueva carcasa posee un diámetro de 6 [in], ya que reemplaza el nivel de la malla y es necesario que se ajuste al transportador para cumplir su objetivo eficazmente. Además, se contempla que de ser necesario se debe implementar un sistema de sujeción en la base que pueda sostener el sistema.

En lo que respecta a la sección superior no perforada, reemplaza tanto a la sección media como a la superior, combinándolas en una sección única. Anteriormente se ha implementado un codo de 90° para realizar la salida del material, no obstante, en este caso es sustituido por una tubería en forma de “T”. Al realizar esta acción y eliminar la sección media, también se quita el compactador, en parte debido a que la maestranza no es capaz de recrearlo a un precio accesible al presupuesto para la fabricación del prototipo. Pese a esto, la definición de prototipo conlleva un sistema que puede ser mejorable y escalable, por tanto, se propone como optimización a las funciones del sistema. Esta sección es fácilmente apreciable en el esquema general del sistema, no obstante, para una mejor concepción del dimensionamiento de este, se muestra a continuación una representación generada en el software Autodesk Inventor.



Figura 100: Representación 3D- Artesa de transporte y descarga.

En la parte superior de esta sección, se observa que tal como la sección inferior con tolva, posee una brida. Este, así como su homologó, es utilizado para conectar con su contraparte que alberga el sistema motriz. En este sector se monta tanto el rodamiento superior del transportador como el motor, cuya transmisión es por correa.

Perpendicular al eje del transportador, se encuentra la salida en “T” para la descarga, en donde se proyecta implementar el futuro compactador.

Finalmente, la parte menos perceptible a simple vista, pero determinante en el diseño del prototipo, es el transportador helicoidal. Este fue diseñado pensando en su mantención, montaje y adaptación. No obstante, por situaciones financieras de la empresa y el ajustado presupuesto para el proyecto, se ha decidido implementar un transportador helicoidal estándar, para propiciar el objetivo principal del sistema.

Este transportador posee dimensiones físicas similares al propuesto anteriormente, pero con algunas modificaciones recomendadas por el fabricante. El diámetro se mantiene en 6 [in], pero el paso del tornillo cambia de paso medio a paso corto de $\frac{2}{3}$ del diámetro. Esta decisión es aceptada por el directorio del proyecto, debido a la experiencia de trabajo del fabricante.

En cuanto al tubo y eje del transportador, estos ya no presentan características seccionales, sino que se implementan como elementos continuos. Puede ejemplificarse este sistema de manera más intuitiva en una representación generada en el software de modelamiento Autodesk Inventor.

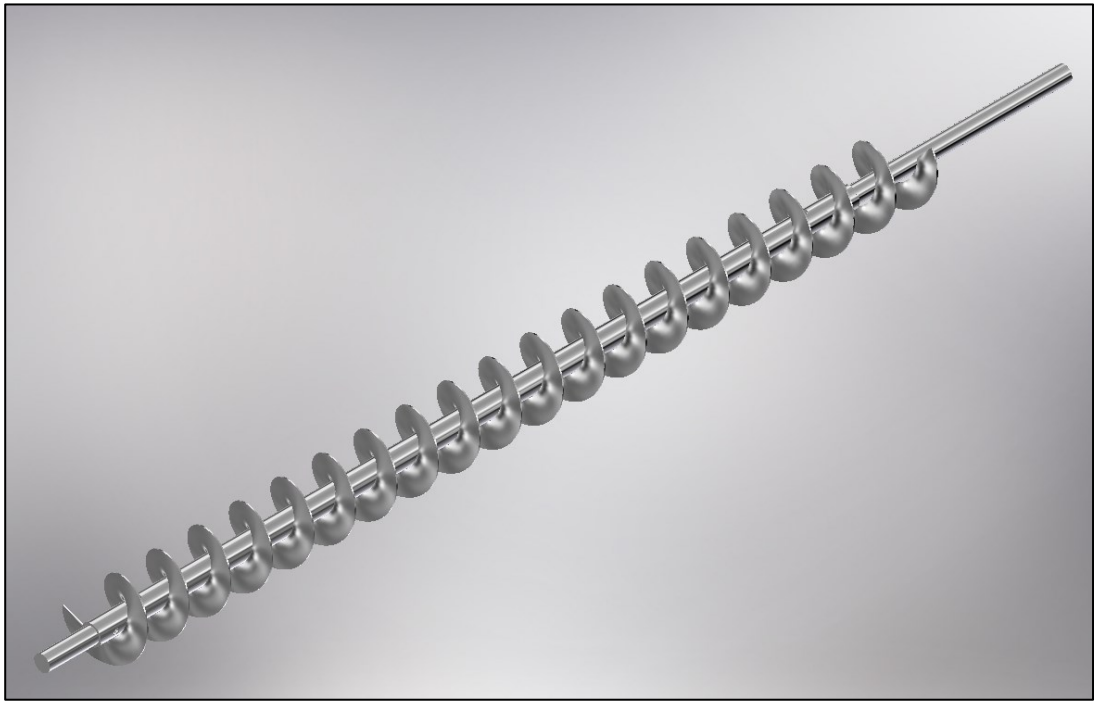


Figura 101: Representación 3D para la fabricación de Transportador Helicoidal.

Como es de esperarse, una parte del eje es más sobresaliente puesto que la hélice del transportador no llega hasta el final del eje en la parte superior del sistema, en donde se encuentra el sistema motriz.

Para una apreciación más clara de la versión final del modelo económico del prototipo, se presentan a continuación representaciones esquemáticas realizadas en el software de modelamiento Autodesk Inventor. Estos modelos involucran el entorno directo con el que debe interactuar el prototipo. Por un lado, están el receptáculo que alberga la parte inferior del sistema, junto con el terreno adyacente. Por otro lado, se encuentra el Bin de descarga que la Viña pretende implementar para la remoción del material.

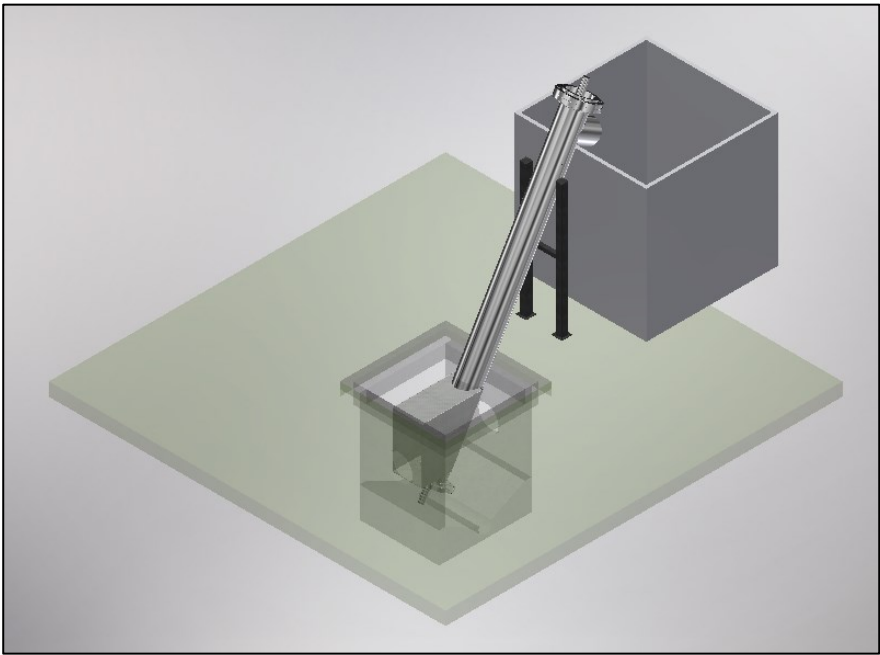


Figura 102: Representación 3D – Conjunto Prototipo Alternativo.

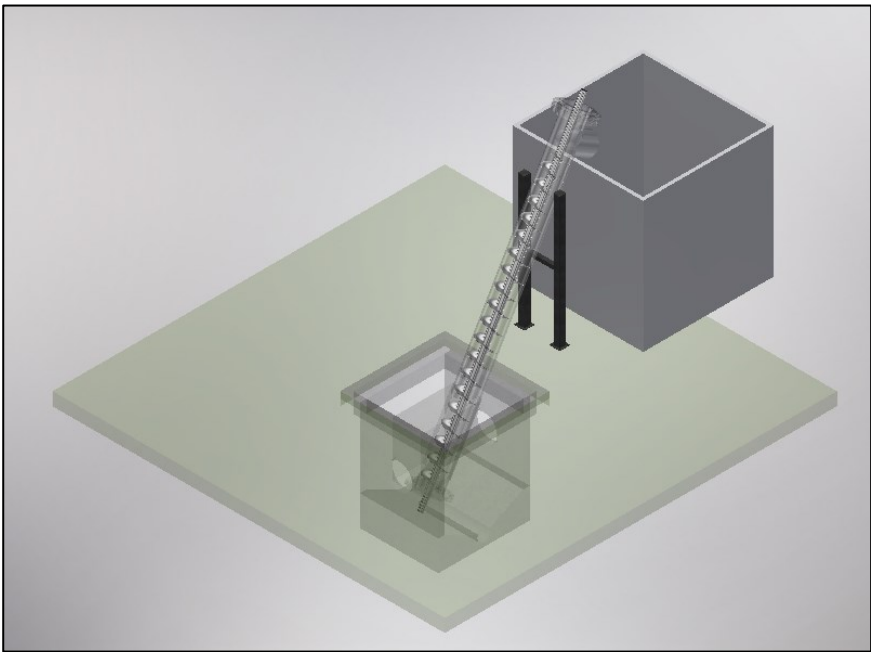


Figura 103: Transparencia 3D – Conjunto Prototipo Alternativo.

7.- Conclusiones y Recomendaciones

Como es habitual en el campo de la innovación y el desarrollo tecnológico, el diseño de prototipos suele estar ligado a diversos tipos problemas, tanto en su implementación, como en el proceso de diseño. Los factores que propician estas problemáticas abarcan una gamma muy amplia de posibilidades, por lo que es vital importancia realizar un análisis retrospectivo y una evaluación de funcionamiento para propiciar de forma certera la información expuesta.

A continuación, se detallan problemas surgidos durante la fase de desarrollo y las respectivas recomendaciones para evitar futuras ineficiencias en los procesos de diseño y posteriormente la evaluación funcional del prototipo con respectivas recomendaciones de mejoramiento y evolución.

7.1.- Problemas en el desarrollo del Diseño

1. **Problema de diseñar y luego cotizar:** El principal y más determinante de los problemas, es la iteración producida entre el diseño planteado por la empresa y la capacidad productiva y adquisitiva del fabricante. Este problema surge a raíz de realizar en primera instancia el proceso de diseño, implementando componentes con difícil mecanización o poco accesible en el mercado y luego buscar un tipo de industria capaz de realizar la fabricación.
- ❖ **Recomendación:** El contacto con un fabricante de calidad es de vital importancia en etapas tempranas del desarrollo de un proyecto. Es por esto, que, junto con un asesoramiento previo, es idóneo realizar el contacto con un fabricante calificado en el momento de concebir el primer modelo preliminar.

2. **Problema de sobre detalle:** El sobre detallismo en algunas etapas de desarrollo, conlleva generalmente exceder el tiempo asignado para cada actividad, aportando relativamente poco en comparación con el recurso temporal dispuesto, por tanto, se generan periodos de ineficiencia, que al cabo de ciertas etapas posteriores comienzan a percibirse de forma contundente.

Un ejemplo claro de esto es la iteración entre el diseño de planos propuesto y la evaluación realizada por un especialista en el área. Se debe tomar en cuenta que el perfeccionismo en cada uno de los planos conlleva un tiempo excesivamente largo en comparación con su utilidad, esto debido a que los fabricantes metalmecánicos, tal como lo declara el fabricante seleccionado para este caso, son capaces de mecanizar componentes a partir de bocetos generados con básicos niveles de detalle.

Otro ejemplo, es el de invertir tiempo en detallar el modelo 3D para la generación de planos, intentando que todo calce a la perfección. Debe considerarse que los procedimientos y herramientas aplicadas en la industria metalmecánica son de poca precisión y por lo tanto es muy probable que los componentes no calcen de manera perfecta, no obstante, esas imperfecciones no afectan el rendimiento del sistema.

- ❖ **Recomendación:** Evaluar y programar de manera certera los tiempos y niveles de detalles dispuestos a cada fase de desarrollo, aplicando niveles de prioridad a cada ámbito del diseño.

En los casos donde es requerida una evaluación de un supervisor en alguna actividad concreta, procurar que esta sea acorde al nivel de detalle requerido.

En cuanto al sobre tiempo dispuesto en fases de modelamiento, se recomienda utilizar geometrías fáciles de generar y utilizar como base elementos del mercado, ya que la mayoría de las industrias metalmecánicas operan con elementos estándar.

3. **Problema de Implementación:** Es común que, al diseñar un sistema mecánico, se utilicen catálogos y referencias de fabricantes internacionales con cierto nivel de experiencia en el manejo y tratamiento de materiales. No obstante, basar un sistema con presupuesto ajustado en diseños y maquinaria especializada utilizada mayormente en el extranjero, conlleva un gasto de recursos significativos a la hora de adquirir estos componentes, tanto monetariamente como temporalmente.

❖ **Recomendación:** Utilizar fabricantes y catálogos de industrias cercanas capaces de generar los componentes deseados.

Diseñar siempre desde la perspectiva de fabricación, contemplando la forma en que se materializara el componente, tomando en cuenta la capacidad productiva de la industria y los recursos disponibles en el mercado capaces de ser modificados hasta conseguir el modelo requerido.

4. **Problema de Presupuesto:** Finalmente, considerar el presupuesto asignado al proyecto y la cantidad exacta dispuesta para cada fase de desarrollo es imprescindible. El hecho de no evaluar correctamente el costo total de fabricación durante el proceso de diseño es probablemente uno de los factores más difíciles de analizar, puesto que en primera instancia se pierde la noción de costos durante el modelamiento de componentes, priorizando la eficacia del sistema y su geometría. No obstante, esto genera eventualmente problemas, incurriendo en la necesidad de modificar el prototipo para entrar en el presupuesto disponible.

❖ **Recomendación:** Mantener una activa comunicación con el encargado de finanzas del proyecto. Cotizar paso a paso los componentes introducidos al sistema. Tener precaución al intentar implementar los modelos que mejor satisfacen la problemática, siempre considerar una curva de eficiencia en cada actividad.

7.2.- Problemas de Funcionamiento

1. Problema de Obstrucción: Este problema surge principalmente en pruebas posteriores a la prueba inicial. La prueba inicial se realiza en general con elementos de tamaños superiores a los 10 [mm]. Mientras que las posteriores incluían flujos con elementos de diámetros menores. Estos elementos de pequeños tamaños, en muchas ocasiones pepas de uva, debido a su geometría y densidad, flotan en el flujo y en general tapan las perforaciones de la tolva, lo que resulta en un atochamiento y rebalse del flujo. Este hecho ocurre posterior a la finalización del proyecto, no obstante, representa una buena oportunidad para ejemplificar errores de diseño y plantear una solución funcional.

❖ **Recomendación:** En primera instancia la empresa Kraken propone agrandar el diámetro de las perforaciones, puesto que el objetivo es eliminar los elementos contundentes o de tamaños relativamente grandes. Sin embargo, se plantea una solución posiblemente más eficaz, aunque con cierto grado de incertidumbre, debe ser probada en acción para determinar su eficacia real. Esta consiste en adherir a las superficies perforadas una membrana filtradora, tal como podría intuirse a partir de un papel filtro de laboratorio. Esta membrana debe poseer características físicas que permitan pasar el volumen de líquido proveniente del proceso productivo y resista ataques químicos. Con esto, las partículas más pequeñas quedarían albergadas en la superficie de la membrana, pero no representarían un atochamiento, ya que, al no estar incrustadas en una cavidad, son fácilmente removibles con el flujo posterior.

7.3.- Resultados Preliminares

Tras la finalización del proyecto, las compañías incurren en una fase de prueba, donde el prototipo cumple en primera instancia su función y opera correctamente. No obstante, en pruebas posteriores se identifican algunas dificultades respecto de algunas geometrías de la máquina. Este problema se describe con anterioridad en los problemas de funcionamiento del prototipo.

Actualmente el prototipo no se encuentra instalado, debido a que las compañías han decidido complementarlo con el compactador escurridor y diseñar una forma de solucionar el problema producido por la obstrucción.



Figura 104: Fotografía - Prototipo Alternativo Terminado.



Figura 105: Fotografía - Sistema motriz del prototipo.



Figura 106: Fotografía - Tolva de recepción perforada.

Bibliografía

- CORFO. (2018). *Prototipos*. Recuperado el Abril de 2018, de <file:///C:/Users/Kevin/Downloads/Prototipos_Corfo,0%20(1).pdf>
- Galbarro, H. R. (2018). *www.ingenieriamecanica.com*. Recuperado el Mayo de 2018, de Cálculo de Transportadores de tornillo sin fin: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- Kraken. (2017). *Identificacion del Proyecto*. Recuperado el Abril de 2019, de <C:\Users\Kevin\Google Drive\Voucher ISMA-KRAKEN\Postulación>
- Kraken, L. (2016). *Quienes Somos*, [En línea]. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://krakenlabs.cl/>
- Kraken, S. (2017). *Planificacion*. Recuperado el Abril de 2019, de <C:\Users\Kevin\Google Drive\Voucher ISMA-KRAKEN>
- MS&G, M. S. (2013). *Martin Sprocket*. Recuperado el Mayo de 2018, de El Gran Catálogo 4000: <http://es.martinsprocket.com/documents/Safety/Material%20Handling>
- NUTECO, N. T. (2019). *Grupo COMES*, [en línea]. Recuperado el Mayo de 2019, de Tamiz Tornillo. Transportador filtro fangos: <http://grupocomes.com/tamiz-tornillo/>
- OCDE. (2015). *Manual de Frascati 2015*. Recuperado el Abril de 2018, de Guia para la recopilacion y presentacion de informacion sobre la investigacion y el desarrollo experimental: <file:///C:/Users/Kevin/Downloads/manual_de_frascati_web_0.pdf>
- RAE. (2019). *Prototipo*, [En Línea]. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <https://dle.rae.es/?id=UTAcBkl>
- Rivet. (2018). *Industria metalmecanica Rivet Ltda*. Recuperado el Junio de 2018, de Catálogo de productos y servicios: <file:///C:/Users/Kevin/Downloads/Rivet-Catalogo-Mallas.pdf>

- Siegel, W. (2019). *Tradicion Familiar*, [en linea]. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de <<http://www.siegelvinos.com/about-us/family-tradition/>>
- SKF. (2015). *Svenska Kullagerfabriken AB*. Recuperado el Julio de 2018, de Catalogo de productos y servicios: <C:\Users\Kevin\Downloads\sfk.pdf>
- SLA. (2010). *Separaciones Mecanicas*. Recuperado el Mayo de 2019, de Muestreo y preparacion de la muestra: <C:\Users\Kevin\Download\stema-4-separaciones-mecc3a1nicas>
- SODIPER. (2018). *SODIPER LTDA*. Recuperado el Junio de 2018, de Catalogo de Productos y servicios: <C:\Users\Kevin\Downloads\tesis>
- St. (2018). *Stainless trading (Pty) Ltda.*, [en linea]. Recuperado el Junio de 2018, de Wedge Wire Profiles: <<http://www.stainlesstradingsa.com/products-wedge-wire.html>>
- UNAM, F. d. (2019). *Procesos de Separacion*. Recuperado el Mayo de 2019, de Practicas de Laboratorio: <<http://depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/ProcesosI.pdf>>
- Yactayo, V. M. (2010). *Manuel 1: Teoria*. Recuperado el Mayo de 2019, de Capitulo 9: Filtracion: <<http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf>>

Planos de Fabricación - Modelo Optimizado

Esta sección incluye representaciones de los planos de Conjunto y Sub ensambles, ya que los tamaños reales de estos planos involucran dimensiones que exceden el formato del documento.

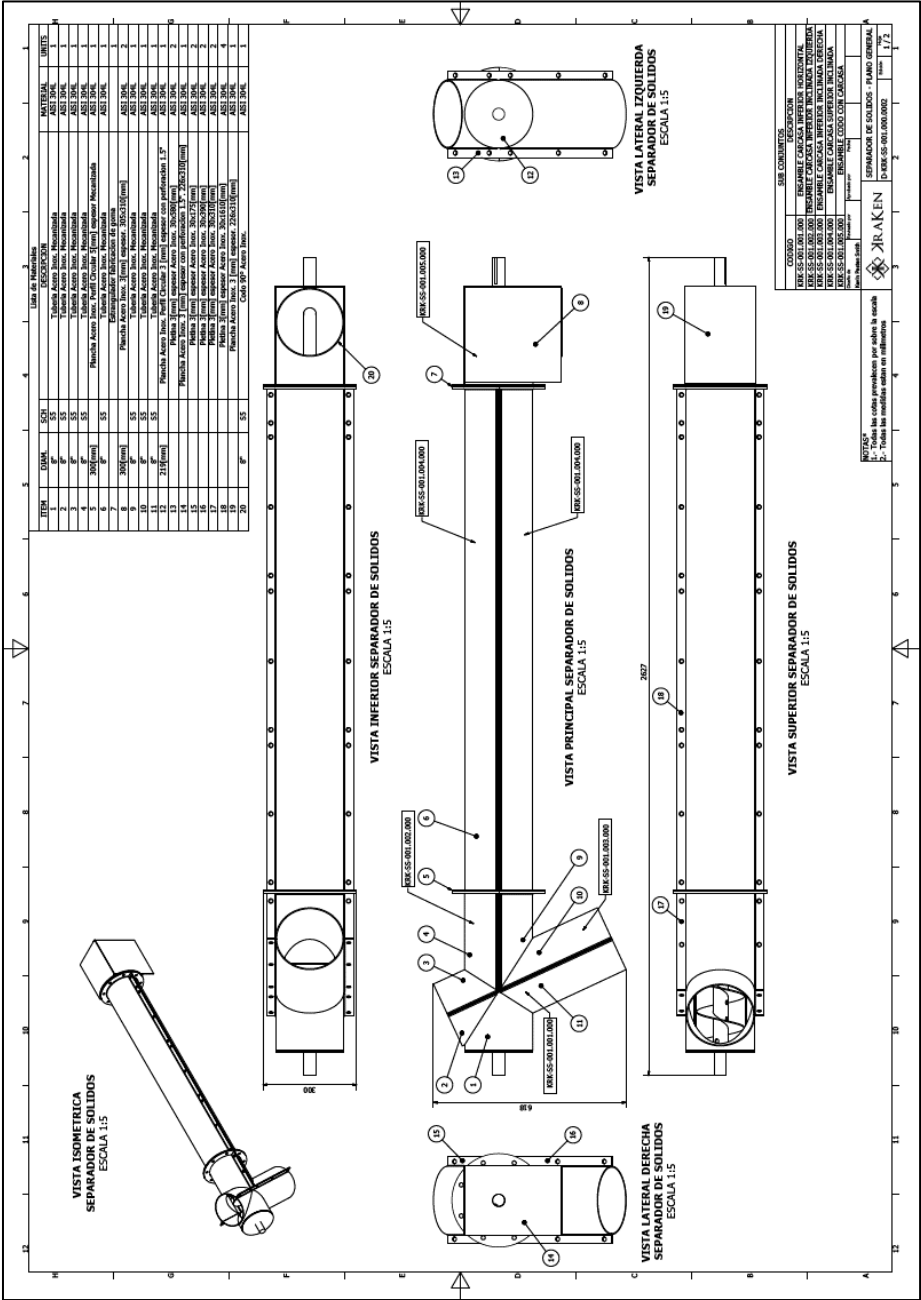


Figura 107: Plano de Fabricación - Prototipo Optimizado.

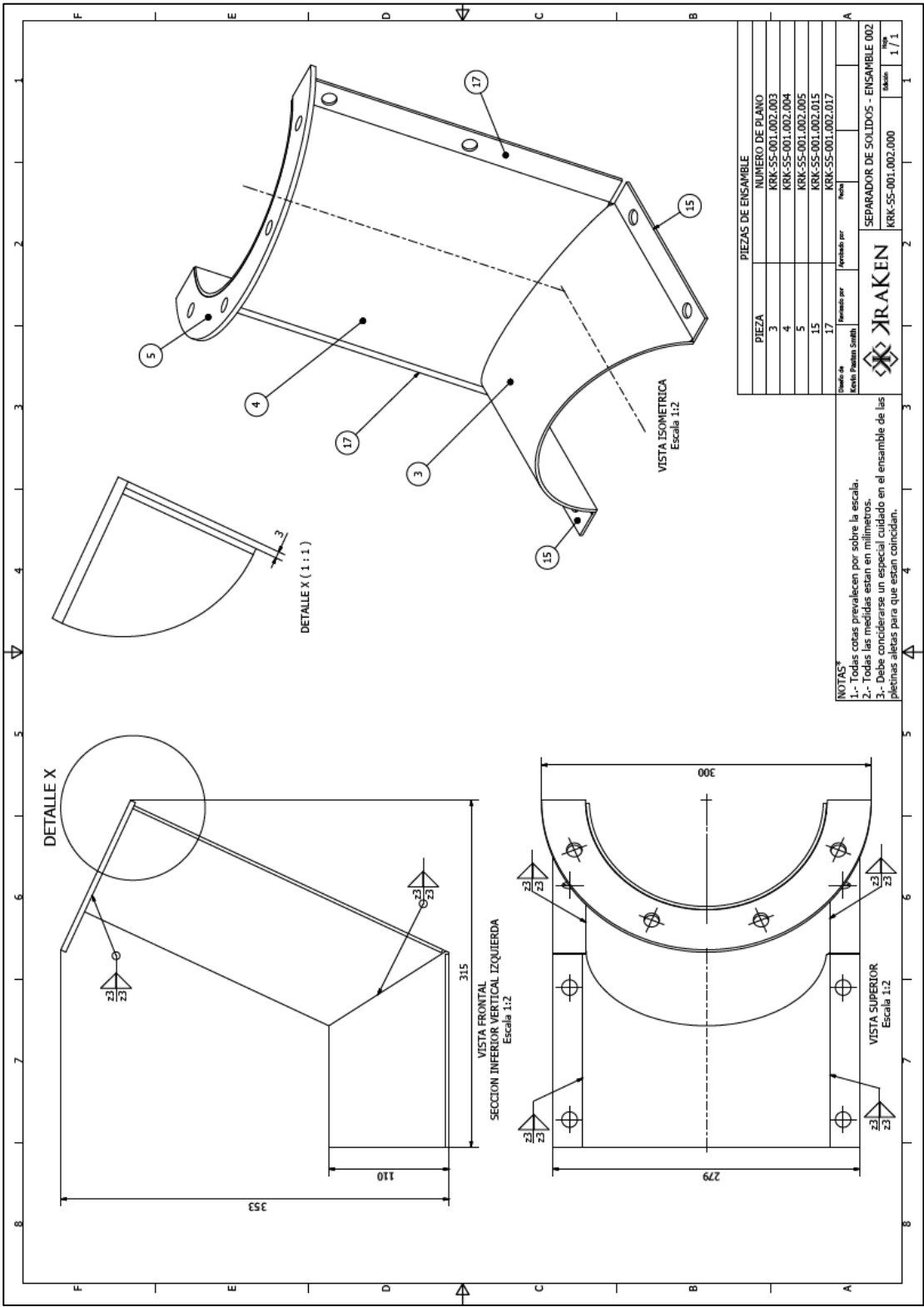


Figura 109: Plano de Fabricación - Carcasa Inferior Izquierda.

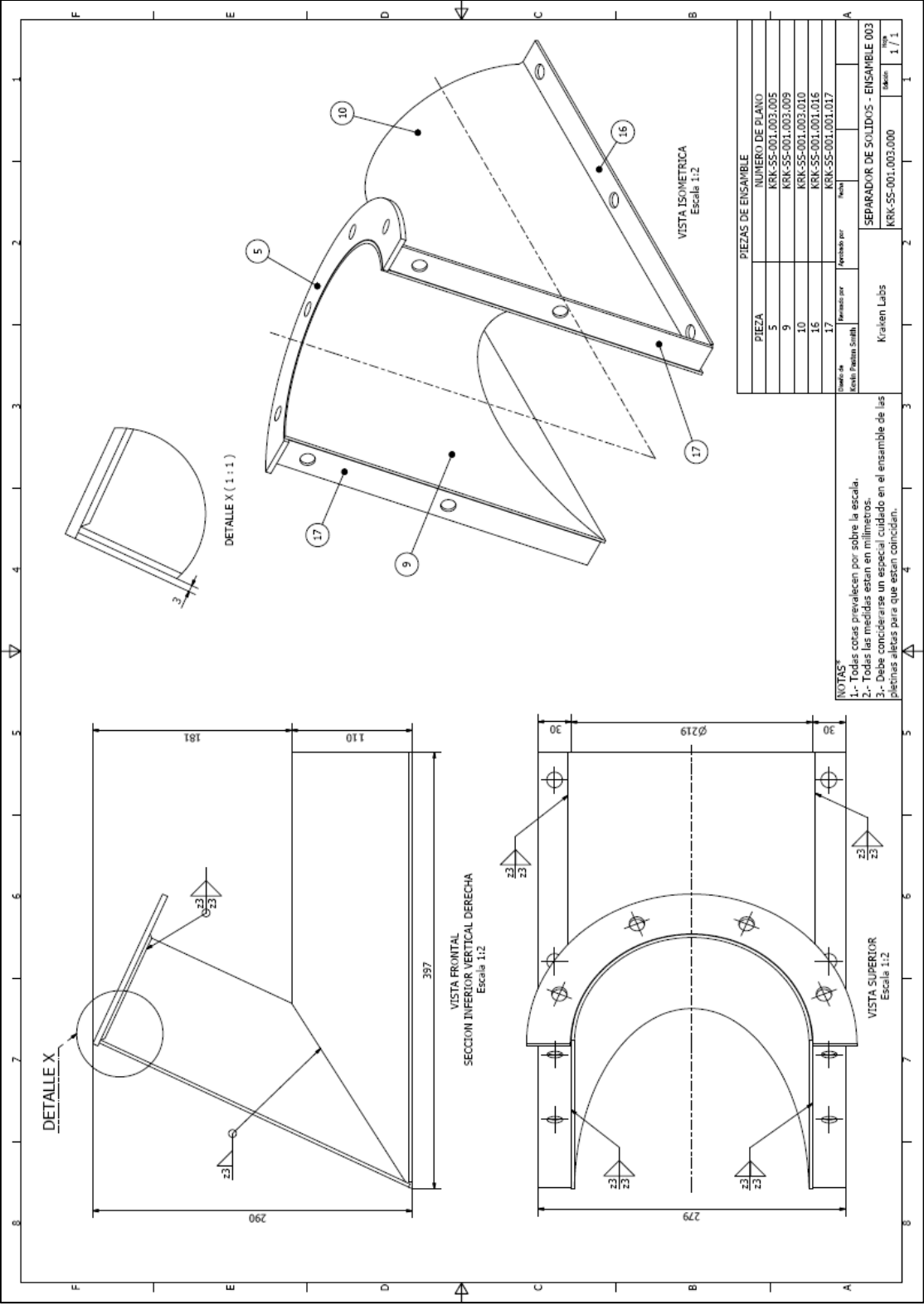


Figura 110: Planos de Fabricación - Carcasa Inferior Derecha.

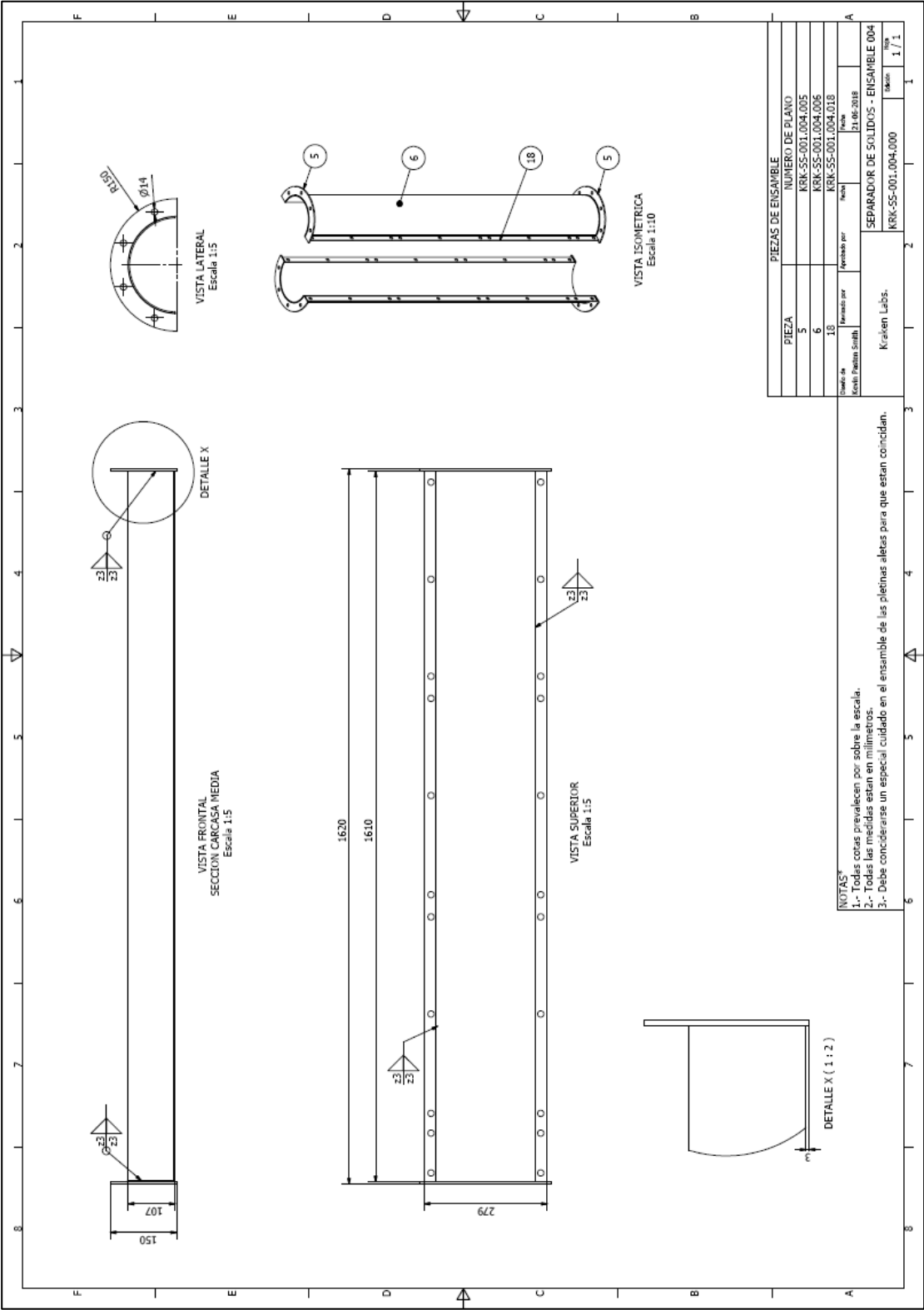


Figura 111: Plano de Fabricación - Modulo Carcasa Media.

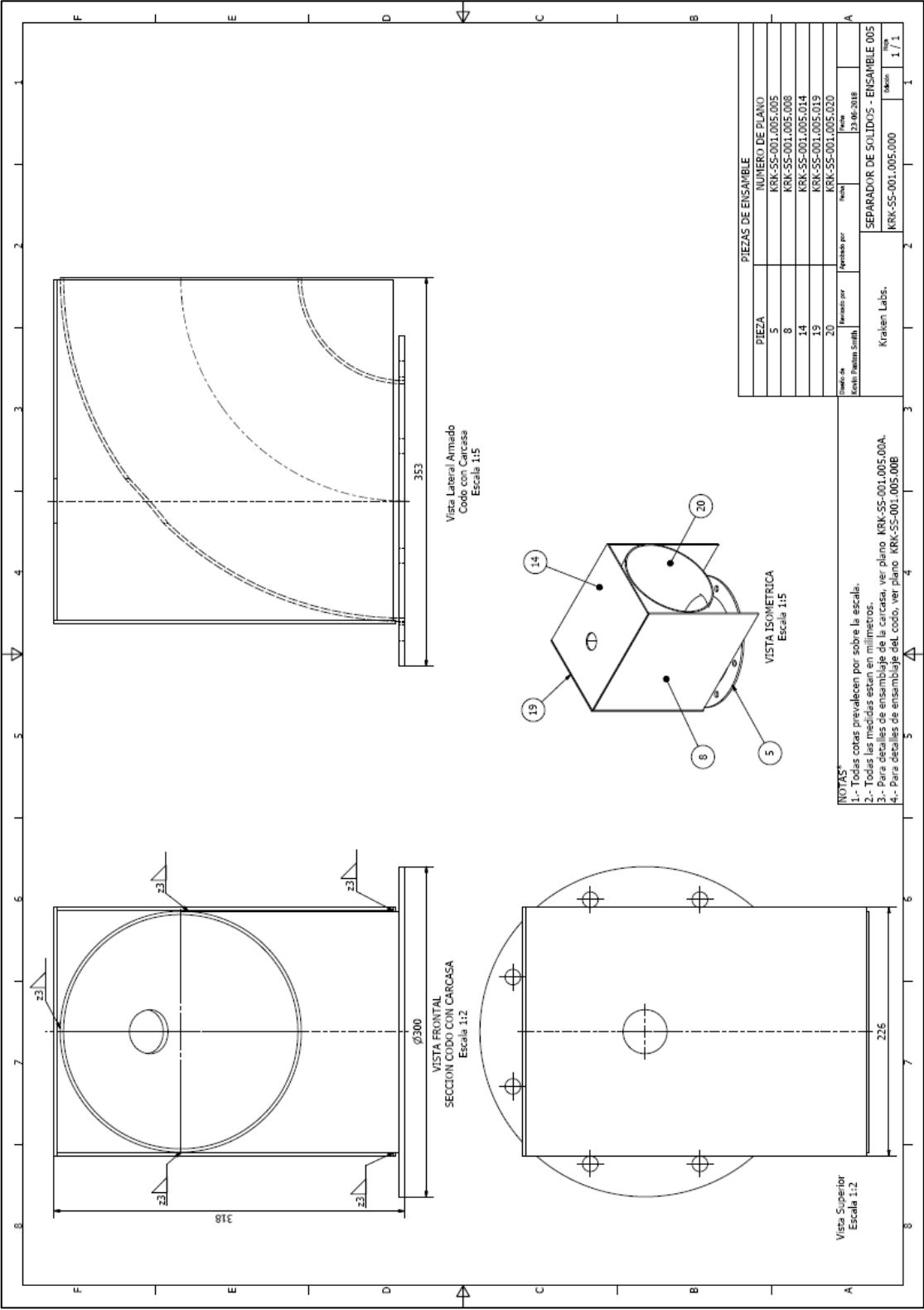


Figura 112: Plano de Fabricación - Modulo Superior.

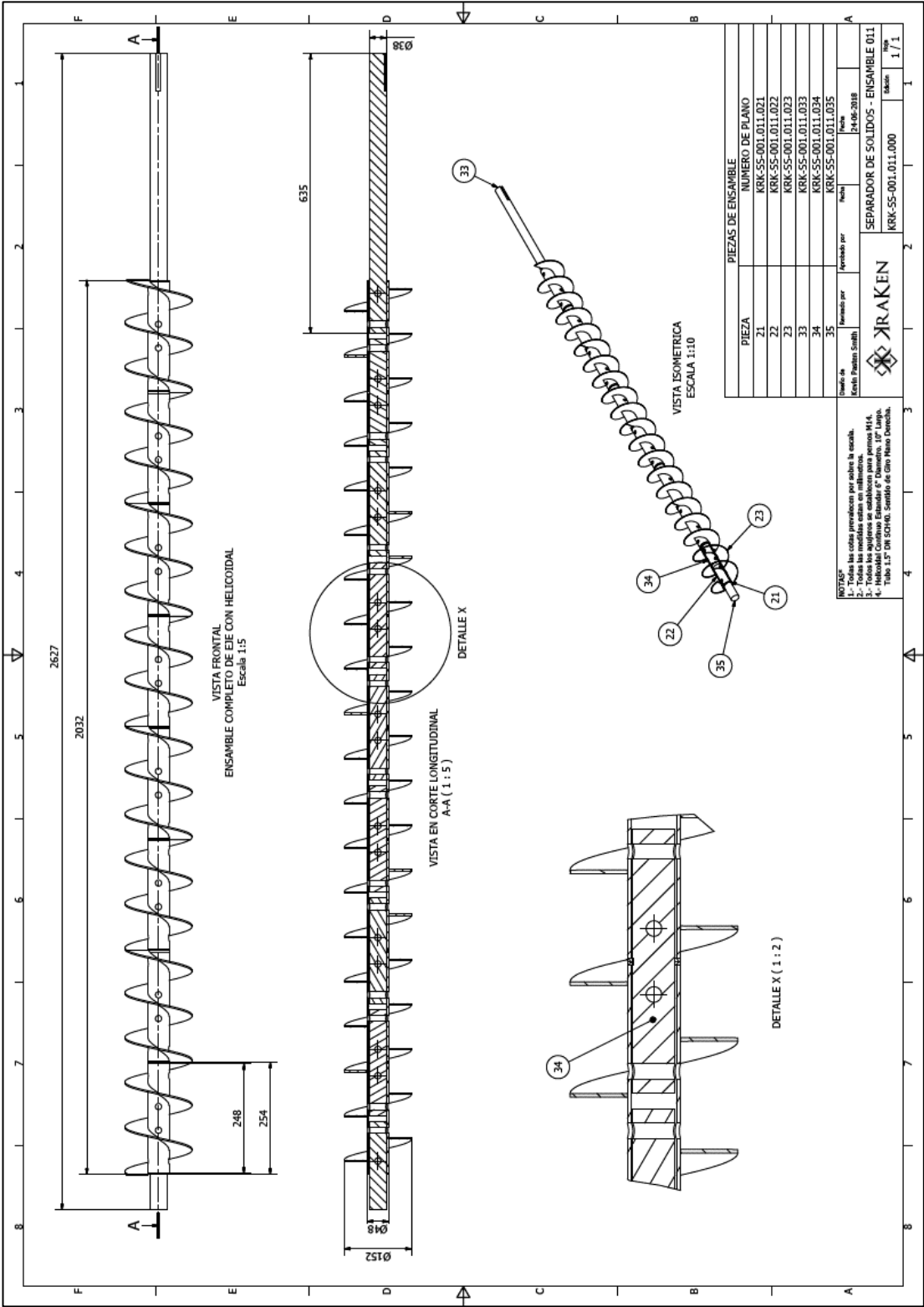


Figura 113: Plano de Ensamble - Transportador Helicoidal.

Planos de Fabricación – Modelo Alternativo

Esta sección incluye representaciones de planos de Conjunto y Sub ensambles, ya que los tamaños reales de estos planos involucran dimensiones que exceden el formato del documento.

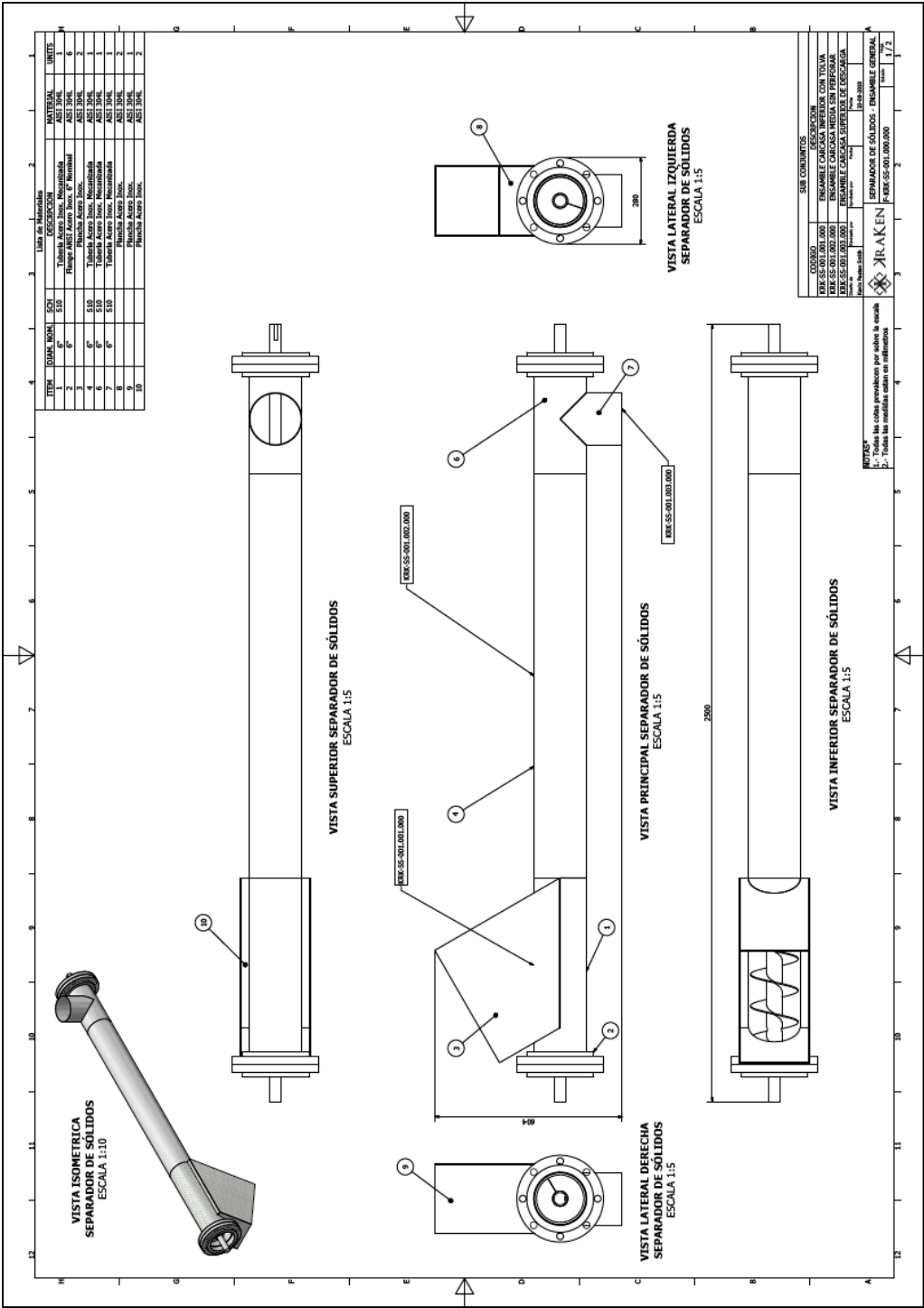


Figura 114: Plano de Fabricación - Conjunto Prototipo Alternativo.

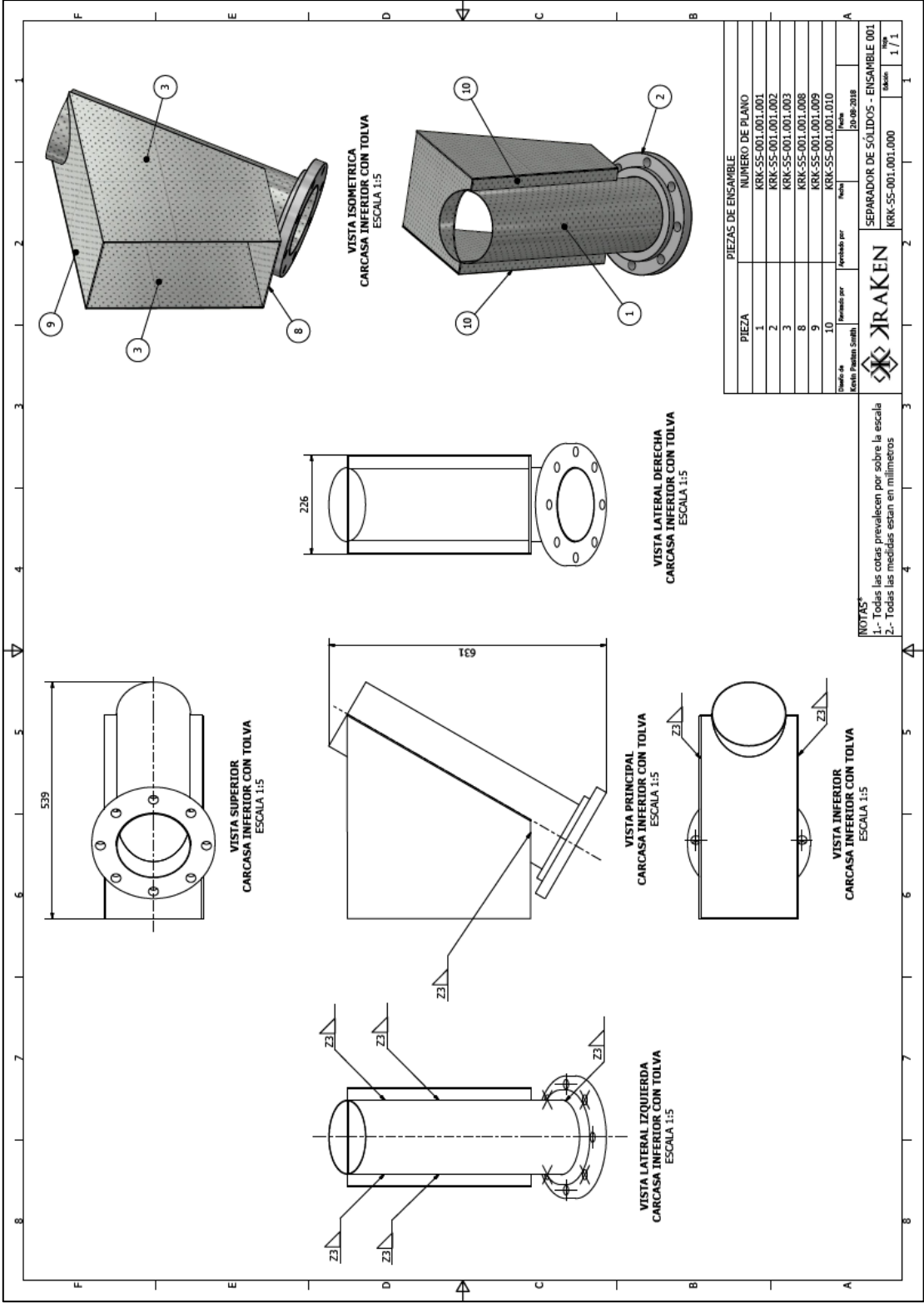


Figura 115: Plano de Fabricación - Modulo Inferior.

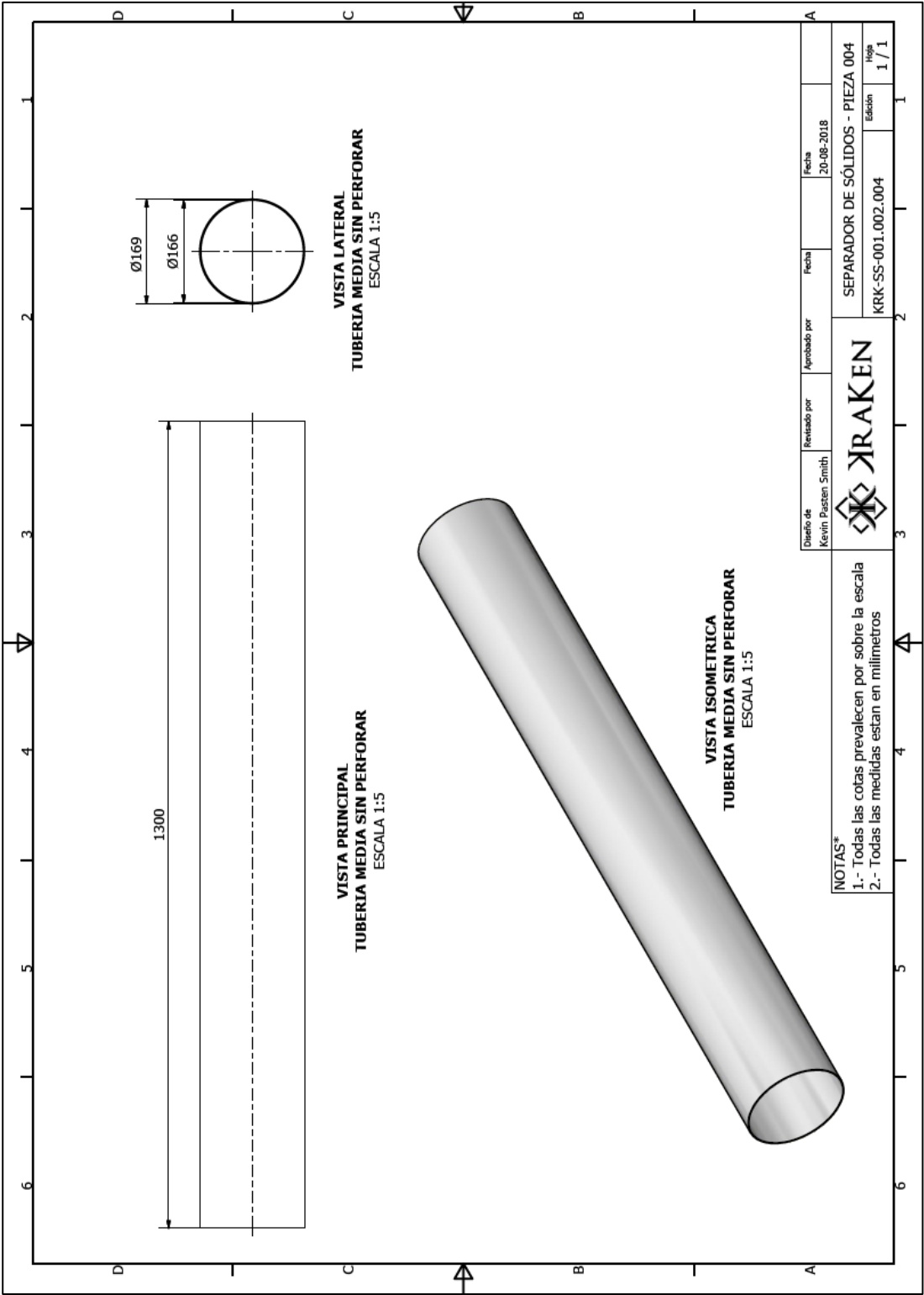


Figura 116: Plano de Fabricación - Modulo Medio.

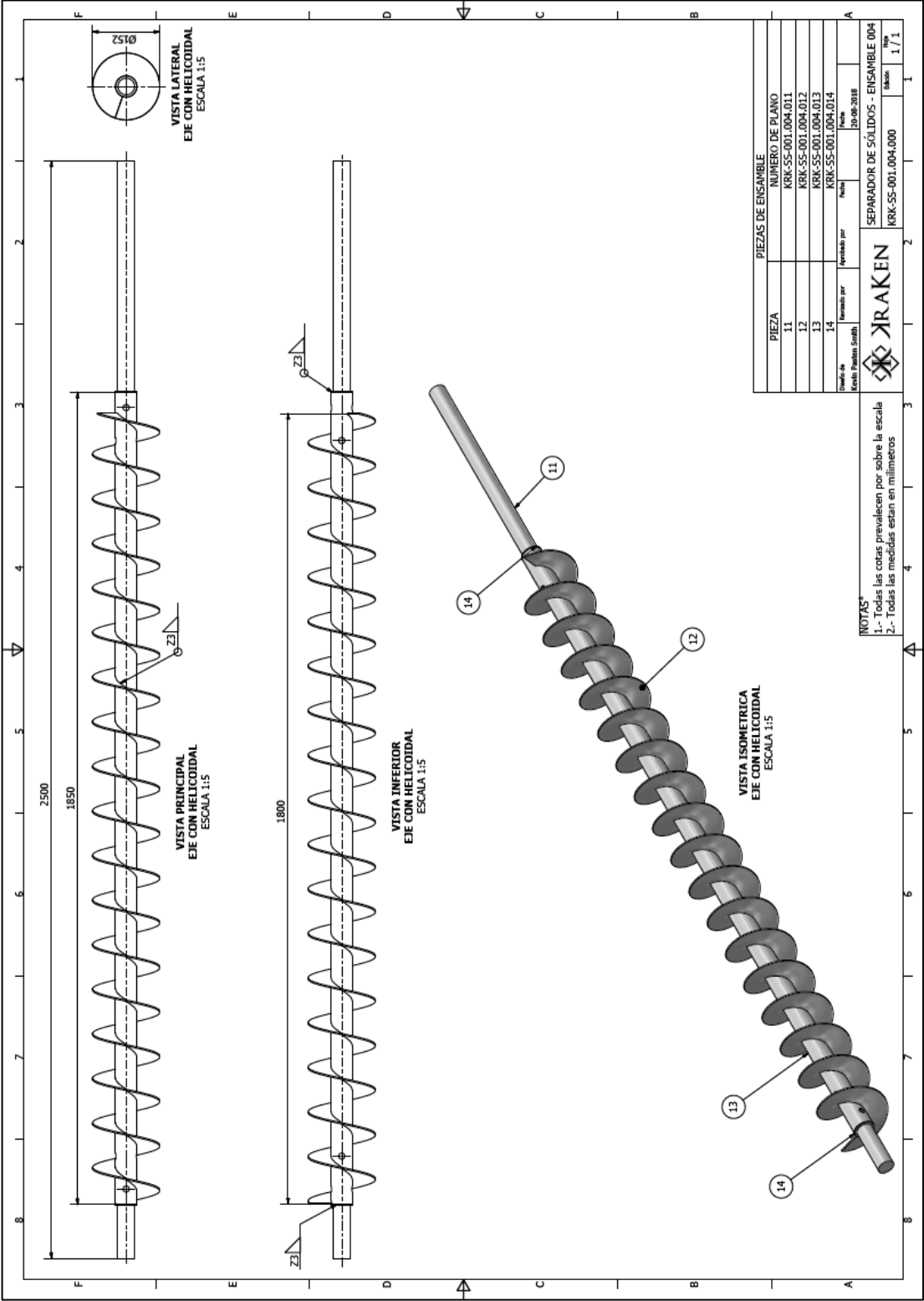


Figura 117: Plano de Fabricación - Transportador Helicoidal.