

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN TORNILLO SIN FIN PARA EVACUAR AGUAS DE
RELAVES MINEROS PARA LA EMPRESA MINERA
SOL NACIENTE S.R.L.**

TESIS

PRESENTADA POR:

BACH. WILBER EUSEBIO CASTILLO KANQUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO - PERÚ

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“DISEÑO DE UN TORNILLO SIN FIN PARA EVACUAR AGUAS DE RELAVES MINEROS PARA LA EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L”

TESIS PRESENTADA POR:

WILBER EUSEBIO CASTILLO KANQUI


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03-02-2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

Presidente

: 
ING. LEONEL MARINO CASTILLO ENRÍQUEZ

Primer Miembro

: 
M.SC. ANGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

Segundo Miembro

: 
ING. OMAR LUIS NEIRA CUTIPA

Director de Tesis

: 
M.SC. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

Area: Mecánica

Tema: Diseño y construcción de máquinas

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Leonel Marino Castillo Enríquez, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su valiosa labor de asesoramiento y dirección esta Tesis, su constante apoyo y dedicación, así como por sus orientaciones y sugerencias, sin las cuales no hubiera sido posible la realización de este trabajo de investigación.

Igualmente quiero agradecer al M.Sc. Ing. Juan Renzo Illacutipa Mamani de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por sus orientaciones, sugerencias de interés, que han contribuido también a la elaboración de esta Tesis.

También quiero agradecer a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, a los docentes les agradezco sinceramente sus enseñanzas, sugerencias, su buen humor y su disposición a escuchar en todo momento.

DEDICATORIAS

*A Dios por llenarnos de bendiciones
cada día y permitirnos lograr esta
meta en nuestras vidas.*

*A mis padres Bartolomé y María por su
guía y ejemplos maravillosos.*

*A toda mi familia que es lo mejor y más
valioso que Dios me ha dado.*

A mi esposa Norma y mis hijos.

INDICE

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	16
RESUMEN	10
CAPÍTULO I:	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	14
1.2.2 JUSTIFICACIÓN	15
2.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO II:.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	17
2.2 SUSTENTO TEÓRICO.....	19
2.1.1 BREVE HISTORIA.....	19
2.1.1 TORNILLO SINFIN.....	20
1.1.1 GEOMETRIA DEL TORNILLO DE ARQUIMEDES.....	24
2.1.1 CANTIDAD DE AGUA EN EL CICLO DEL TORNILLO.....	29
2.1.2 DIMENSION DE LOS PARÁMETROS	31
3.1.1 VOLUMEN DE UN CUBO	33
4.1.1 ÁNGULO DE LA CUCHILLA.....	33
2.1.3 COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR SINFIN.....	41
2.1.4 COMPONENTES ESTÁTICOS	46
2.1.5 COMPONENTES ESTÁNDARES	60
2.1.6 APLICACIONES.....	61
2.1.7 SELECCIÓN DE LA CONTRUCCION DEL TORNILLO SIN FIN	64
2.1.8 EL MANEJO E INSTALACION DEL TORNILLO DE ARQUIMEDES	65
2.1.9 AGUAS DE RELAVES MINEROS	67
2.1.10 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS	71
2.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
2.2.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	73
CAPÍTULO III:	74
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.1.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	74
3.1.2 UBICACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	75

3.1.3	RECURSOS.....	76
3.1.4	EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	77
3.1.5	HISTORIA DEL YACIMIENTO.....	78
3.1.6	ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA	79
3.1.7	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	80
3.1.8	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	
	82	
	CAPÍTULO IV:.....	84
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	84
4.1	MATERIAL A TRANSPORTAR	84
4.1.1	CAPACIDAD REQUERIDA	87
4.1.2	CONFIGURACIÓN DE TRANSPORTE	88
4.1.2.2	Temperatura del material a transportar	91
4.1.2.3	Tiempo de operación.....	91
4.1.2.4	Capacidad real.....	92
4.1.2.5	Diámetro del sinfín.....	92
4.1.2.6	Velocidad del transportador	93
4.1.2.7	Deflexión en el sinfín	96
4.1.2.8	Expansión térmica.....	98
4.1.2.9	Potencia del motor.....	99
4.1.2.10	Torque crítico	103
4.2	DISEÑO DE TRANSPORTADOR DE TORNILLO SINFÍN PARA LA EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L.	105
4.3	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	109
4.3.1	TAMAÑO Y VELOCIDAD DEL TORNILLO SINFÍN	109
4.4	DATOS Y RESULTADOS	119
4.5	CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS.....	121
	CONCLUSIONES	123
	SUGERENCIAS.....	124
	BIBLIOGRAFÍA	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Tornillo sin fin de Arquímedes.	19
Figura 2-2: Detalles de un tornillo sin fin de Arquímedes.	21
Figura 2.3: Parámetros y dimensiones geométricas de un transportador de tornillo sin fin.	22
Figura 2.4: Carga de la sección transversal del tornillo en modo de gravedad de funcionamiento	22
Figura 2.5: Efecto de la inclinación pronunciada en el transporte en modo de gravedad.	23
Figura 2.6: Parámetros y dimensiones geométricas de un transportador de tornillo sin fin.	25
Figura 2.7: Vista de perfil del segmento de Arquímedes de dos filos.	27
Figura 2.8: Vistas de las secciones de un cucharón mirando hacia abajo en ambos tornillos.	30
Figura 2.9: El gráfico de la relación del paso del tornillo a su radio exterior frente al ángulo de inclinación del tornillo cuando el número de hojas es de 1, 2 o 3.	31
Figura 2.10: Relación de área del cucharón típico del tornillo de 3 cuchillas.	34
Figura 2.11: Perfil y vistas transversales de tornillo.	37
Figura 2.12: Sección transversal del tornillo para varios valores del ángulo de la cuchilla.	37
Figura 2.13: Clasificación de Sinfines por el paso.	39
Figura 2.14: Clasificación de Sinfines por el tipo de helicoide.	41
Figura 2.15: Tornillo Sinfín.	42
Figura 2.16: Sentidos de flujo de un Sinfín.	44
Figura 2.17: Mano de un Tornillo Sinfín.	45
Figura 2.19 Artesa ensanchada.	50
Figura 2.20 Tipos de artesas tubulares.	50
Figura 2.21 Tipos de artesas rectangulares.	51
Figura 2.22 Tipos de cubiertas.	53
Figura 2.23 Tipos de tapas de extremos.	55
Figura 2.24 Tipos de soportes de artesa.	56
Figura 2.25 Tipos de soportes colgantes.	58
Figura 2.26 Tipos de entradas.	59

Figura 2.27 Transportador de Tornillo Sinfín horizontal.....	63
Figura 2-28 Transportador de Tornillo Sinfín inclinado.	63
Figura 2.29: Efecto de la inclinación pronunciada en el transporte en modo de gravedad.	67
Figura 3.1 Accesibilidad para Llegar al Yacimiento.	76
Figura 3.2 Organigrama de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.....	80
Figura 3.3 Flujograma de Actividades.....	82
Figura 3-4 Recolección de Información.	83
Figura 4-1: Cómo leer el código CEMA de un material.....	86
Figura 4-2 Configuraciones de transportador posibles.	89
Figura 4-3 Paso de un Sinfín.....	90
Figura 4-4 Capacidades de trasportadores de tornillo Sinfín.....	94
Figura 4-5 Factor de Sobrecarga de Potencia.	104

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A_0 : fracción del área de la sección transversal del tornillo horizontal ocupado por agua (sin dimensiones).

A_B : área de agua en la sección transversal de una cubeta (m²).

K : pendiente del tornillo (sin dimensiones).

L : longitud total del tornillo (m).

N : número de cuchillas en el tornillo (sin dimensiones);

R_i : radio del cilindro interno del tornillo (m);

R_0 : radio del cilindro exterior del tornillo (m);

V_B : volumen de una cubeta de agua (m³);

V_t : volumen de agua elevada en una vuelta de tornillo (m³);

x : posición a lo largo del eje del tornillo (m);

y : distancia perpendicular al eje del tornillo (m);

α : ángulo de inclinación de la intersección en espiral de la cuchilla y el exterior del cilindro con respecto al eje del tornillo (rad);

β : ángulo de inclinación de la intersección en espiral de la cuchilla y el interior del cilindro con respecto al eje del tornillo (rad);

γ : ángulo de inclinación del tornillo (rad);

Λ : paso (o período) de la cuchilla (m);

λ : relación de paso = $K\Lambda / 2\pi R_0$ (adimensional);

v : fracción de volumen de un ciclo de tornillo ocupado por agua (relación de volumen) (adimensional);

r : radio de relación = R_i/R_0 (sin dimensiones).

ϕ : ángulo de la hoja = $2\pi x / \Lambda$ (rad).

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “DISEÑO DE UN TORNILLO SIN FIN PARA EVACUAR AGUAS DE RELAVES MINEROS PARA LA EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L.” situada en el centro poblado de la Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno; propone el diseño de un tornillo Sinfin considerando todos los aspectos técnicos involucrados, así mismo se definen los parámetros iniciales según CEMA (Convoyar Equipment Manufacture Asociación), tales como tipo de material a transportar, capacidad que se requiere transportar, distancia a transportar, paso del Sinfín, acciones adicionales del transportador, temperatura del material y tiempo de operación y los parámetros requeridos según el Software CAD. Para ello se analiza las diversas características de los materiales; parámetros de diseño y funcionamiento; luego se elabora una metodología de diseño y selección de componentes de un equipo transportador de tornillo sin fin. Para la selección de componente y materiales, se usa los catálogos de las empresas fabricantes. Se logra determinar los parámetros de diseño y funcionamiento del transportador de tornillo sin fin para la capacidad requerida; analizando los parámetros y metodologías, donde se propone un método de diseño semi-empírico para inclinaciones mayores a los 25°. Finalmente resulta ventajoso hacer la fabricación del transportador de tornillo sin fin en la región Puno en cuanto a costos de adquisición, resultando 30% menos que cuando se hace una compra a pedido de otras empresas fuera de la región de Puno.

Palabras claves: Tornillo Sin Fin, Rinconada, relaves, minera.

ABSTRACT

The present research work entitled: "DESIGN OF AN ENDLESS SCREW TO EVACUATE MINING WATERS FOR THE MINERA SOL NACIENTE SRL" located in the town center of Rinconada, Ananea district, San Antonio de Putina province, department of Puno; proposes the design of a screw conveyor considering all the technical aspects involved, likewise the initial parameters are defined according to CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), such as type of material to be transported, capacity that is required to be transported, distance to be transported, Endless, additional actions of the conveyor, temperature of the material and time of operation and the parameters required according to the CAD Software. For this, the diverse characteristics of the materials are analyzed; design and operation parameters; then a methodology for the design and selection of components of a screw conveyor equipment is developed. For the selection of component and materials, the catalogs of the manufacturing companies are used. It is possible to determine the parameters of design and operation of the screw conveyor for the required capacity; Analyzing the parameters and methodologies, where a semi-empirical design method is proposed for inclinations greater than 25 °. Finally, it is advantageous to make the manufacture of the screw conveyor in the Puno region in terms of acquisition costs, resulting 30% less than when a purchase is made at the request of other companies outside the Puno region.

Keywords: Endless screw, Rinconada, tailings, mining.

INTRODUCCION

El tema ambiental ante la actividad minera llama la atención de la sociedad por el auge e impactos que esta última viene alcanzando en los últimos años. En torno a esta actividad se genera asentamientos poblacionales y un conjunto de actividades humanas, los cuales están directamente influenciados por la actividad minera. Es por esto que el transporte continuo de materiales y caudales, a cortas distancias y dentro de instalaciones industriales y empresas, se requiere para comunicar una línea de producción o extracción en la que se lleva de un proceso a otro la materia prima para lo cual una de las soluciones de ingeniería es el empleo de transportadores de tornillo Sinfín. A raíz de que en la Región Puno en la parte de la industria más que todo en el sector minero, se requiere máquinas que faciliten el traslado y su manipulación de productos granulares, como parte del desarrollo y la automatización. Muchas empresas pequeñas de la región Puno que anteriormente se dedicaban al mantenimiento de estas máquinas ya sea transportadores de tornillo sin fin; fajas transportadoras; elevador de cangilones; zarandas; chancadoras; molinos; etc., viendo con el tiempo, se dedicaron a la fabricación de estas máquinas en gran escala; muchas de estas carecían de cálculos de ingeniería, una que otras empresas de la región, con la experiencia de la misma de mejorar sus productos, se apoyaron de la experiencia de sus mismas fabricaciones y trataron de mejorar; pero en general como había el bum de la minería; muchas de estas máquinas no se llegaban a reparar, se ponían en funcionamiento hasta su último usos y luego se desechaban y se adquirían otros. Viendo ahora, lo que es la formalización de las pequeñas minerías, se va a tomar en cuenta, las mejoras de las máquinas, cuanto eficientes son, entre otros aspectos; porque ya no hay mucha ganancia a comparación de otros años. Siendo parte de estas mejoras que se tendrán que implementar por lo que este trabajo busca mejorar el aspecto de diseño y selección de trasportadores de tornillo sin fin para inclinaciones mayores a 25°.

Los enfoques y estructura de la tesis constan de cuatro capítulos desarrollados de la siguiente manera:

CAPITULO I: Menciona y describe el planteamiento del problema de investigación; problemas; la justificación y los objetivos.

CAPITULO II: Se describe el marco teórico, antecedentes de la investigación; sustento teórico. Finalmente, la hipótesis de la investigación y la operacionalización de variables.

CAPITULO III: Se plantea el tipo y diseño metodológico de la investigación, definiendo la población y la muestra investigada, describiendo la técnica para la recolección de información.

CAPITULO IV: En la parte final se hace las respectivas conclusiones según los objetivos trazados; se hace las sugerencias para futuras investigaciones; bibliografía; anexos y planos.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La minería en el Perú, es una de las actividades más importantes por la generación de empleos, la participación activa en el incremento del producto bruto interno y en el ingreso per cápita nacional (El Perú posee el 16% de la reserva mineral del mundo; Es el 6to productor mundial de oro, el 2do de plata, el 3ro de estaño y zinc, y 4to de plomo y cobre), sin embargo tiene un efecto negativo, tal es el caso de los relaves los mismos que ocasionan impactos ambientales, sociales y económicos, los residuos provenientes de la actividad minera son por su composición y densidad materiales peligrosos capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, afectan la salud pública, degradan cuerpos de agua y modifican paisajes naturales. La inadecuada disposición de relaves y desmontes así como los métodos inapropiados para su tratamiento han causado casos graves de filtraciones, drenaje de ácidos y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos de la biodiversidad y ecosistemas .La actividad minera que se asienta en la Región Puno es responsable del deterioro del medio ambiente y la degradación de la calidad de vida, el auge e impacto ambiental que viene alcanzando en los últimos años, así mismo nos trae como consecuencia la pérdida de áreas verdes, de la flora, fauna y contaminación de suelos y agua (En la provincia de San Antonio de Putina el 93% familias sin sistema de desagüe, existen más de 50 pozos sépticos, eliminación de aguas residuales en vía pública).

En esta perspectiva se encuentra la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L. formalmente constituida ubicada en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, sus socios han venido explotando el mineral

artesanalmente lo que les ha permitido adquirir gran experiencia en este tipo de actividad, esta empresa genera empleo eventual y permanente en el ámbito local, regional y nacional, permitiendo mejorar los ingresos económicos de sus trabajadores y cooperando en la solución de los problemas sociales del país. Sin embargo, la situación actual que enfrenta la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L. es que no cuenta con sistema para transporte de sólidos, manejo de caudales y depósitos de desechos y residuos de minerales, así mismo no cuenta con un sistema de bombeo ni tanques de relaves. También sus fuentes de agua enfrentan severas amenazas cuantitativas y cualitativas debido a varios factores como el crecimiento de la exploración y extracción de minerales, entre otros factores la población y densidad de la zona, demanda de empleo, el desarrollo económico a razón de la industrialización, la contaminación de los recursos hídricos por otras actividades antropogénicas.

Por lo que el presente trabajo de investigación está orientado a dar respuesta a las siguientes interrogantes:

¿Cómo transportar y evacuar las aguas de relaves mineros de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.

¿Cuáles son los parámetros requeridos para el diseño del tornillo Sinfin? para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.

¿Cuáles son los parámetros calculados para el diseño del tornillo Sinfin? para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.

1.2.2 JUSTIFICACIÓN

Por lo tanto, con el presente estudio queremos dar un aporte a la empresa para que disponga de información y contar con herramientas confiables de diseño de transportador de Tornillo Sinfín, considerando todos los aspectos técnicos involucrados, con estos resultados, el ingeniero podrá planear la construcción e instalación del transportador

requerido para la empresa, así mismo servirá como información para futuros estudios de diseño de transportadores de tornillos Sinfin para las empresas mineras.

2.1 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el análisis y descripción de los métodos de cálculos de los parámetros requeridos de diseño estructural para el diseño del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.
- Determinar los parámetros calculados para el diseño del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.
- Proponer el diseño de una planta de tratamiento de aguas de relaves mineros mediante compra y/o pedido de otras empresas nacionales o extranjeras.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Para, (Rorres, 2017), menciona que, el tornillo de Arquímedes o un sacacorchos dentro de un cilindro se atribuye al gran matemático, ingeniero, inventor y planificador militar griego, *Arquímedes*, que vivió en el *siglo III*. Durante miles de años, los agricultores han utilizado esta máquina simple para el riego y para drenar minas o aguas bajas. Colocado en un ángulo, con un extremo sumergido a una masa de agua, el tornillo se gira a mano (*a veces con los pies*) para elevar el agua hacia arriba y hacia afuera en el otro extremo.

Para, (Rorres, 2017), en la década de 1990, un ingeniero alemán, Karl-August Radlik, determinó que, al correr un tornillo de Arquímedes hacia atrás, es, dejar que el agua entre por la parte superior, el tornillo giraba cuando el agua caía al fondo. También señaló que el flujo natural de agua en las pequeñas corrientes podría generar cantidades modestas (pero impresionantes) de electricidad, suficiente para, alimentar una aldea o una granja grande. Cada vez más, este sistema de generación de energía está demostrando ser una forma robusta, económica y eficiente de generar electricidad a partir de pequeñas corrientes y ríos.

Para, (Yongqin, 1997), revisó los estudios del rendimiento del transportador de tornillo sin fin y su proceso de transporte durante los años 50 a 60. Antes de ese momento, desde su punto de vista, se sabía poco sobre los transportadores de tornillo que no fueran dispositivos. simple de operar y fácil de instalar para transportar materiales granulares. Aunque se dispone de datos exhaustivos, tanto gráficos como tabulares, para describir el

rendimiento del transportador de tornillo, la utilidad de estos datos es limitada porque no se ha recopilado y correlacionado de manera consistente.

Según, (Perez & E., 2007), en la actualidad empresas de la rama del tratamiento de agua tales como Martín, empresa que se encarga del diseño y manufactura de máquinas de transporte para la industria de materiales como lo son las correas transportadoras, elevadores de cangilones, transportadores blindados y tornillos de transporte para la industria sanitaria (dragado de pozos sépticos), radicada en Los Estados Unidos y con varias sedes en dicho país; Huber, empresa especializada en la manufactura de tornillos de Arquímedes para la extracción de lodos producto de la descomposición de materia orgánica depositada en pozos sépticos en varios países de Europa y radicada en Barcelona, España; así como también la empresa Técnica Pensa c.a, empresa especialista en tratamiento de agua y últimamente en transporte de aguas negras utilizando tornillos de Arquímedes con sede en Caracas, Venezuela. Estas empresas 8 han demostrado que para el transporte de fluidos pesados, livianos, bifásicos y monofásicos este tipo de elementos de transporte funcionan de una manera óptima.

(Rorres, 2000) En el reportaje “THE TURN OF THE SCREW: OPTIMAL DESIGN OF THE ARCHIMEDES SCREW” publicado en el “JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING EN ENERO DE 2000”, se habla sobre las diferentes aplicaciones que se le pueden dar a este tipo de máquinas, una explicación profunda sobre su funcionamiento y el procedimiento de cálculo y optimización que se debe hacer en el diseño de una aplicación que involucre este tipo de elementos. De igual manera uno de los fabricantes de tornillos de Arquímedes más grande de Estados Unidos, MARTÍN CONVEYOR MACHINES AND COMPONENTES, ha publicado sus trabajos como manuales de diseño y selección de piezas y componentes en el diseño de aplicaciones de

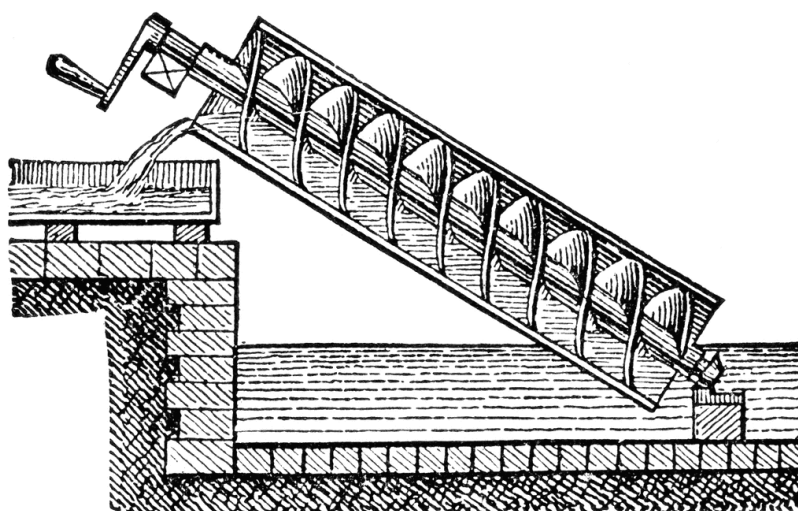
transporte de materiales con tornillos de Arquímedes, que van desde transportar cenizas de carbón hasta cementos y piedras.

2.2 SUSTENTO TEÓRICO

2.1.1 BREVE HISTORIA

La invención de este tornillo se le atribuye al pensador griego Arquímedes de Siracusa en el siglo tercero. El supuesto de que esta atribución fuera realizada en el siglo sexto antes de Cristo por el rey babilonio Nabucodonosor, por el Dalley asiriólogo o pre-Egipto helenístico fue refutado por la falta de evidencia literaria y arqueológica del tornillo antes del 250 a. c. (Andrea, 2015).

Figura 0-1: Tornillo sin fin de Arquímedes.



Fuente: (Dwight, 2018).

Interpretando a (Targhetta 1970), la aplicación del tornillo de Arquímedes como elemento de transporte de diversos tipos de fluidos y materiales, no está documentada con exactitud, pero se dice que se empezó a utilizar durante el siglo primero A.C. y se usaba básicamente para la extracción de agua desde los ríos hasta las orillas que se encontraban a una altura mayor (...).

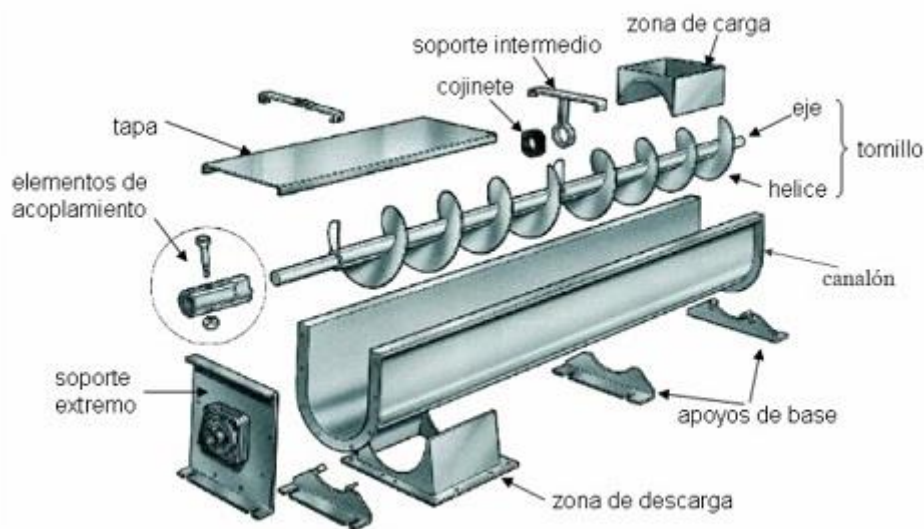
2.1.1 TORNILLO SINFIN

El transporte en modo de gravedad es la manera en que operan los transportadores de tornillo convencionales. Estos normalmente funcionan horizontalmente o suavemente inclinados, con una carga transversal de hasta 45 % de llenado. Si el nivel de llenado excede la altura del eje central, el material se lleva al espacio de paso anterior y no se mueve hacia adelante. La carga transversal se vuelve altamente sensible cuando se excede este nivel de llenado. (Bates, 2000).

La publicación estadounidense *CEMA 500* proporciona información sustancial sobre la construcción y el rendimiento características de los transportadores de tornillo estándar. *BS 4409* enumera los tamaños estándar del Reino Unido e *ISO 7119 IDT*, *ISO 1050 EQV*, y *ISO 1819 EQV* y son equivalentes internacionalmente para calcular las potencias de accionamiento.

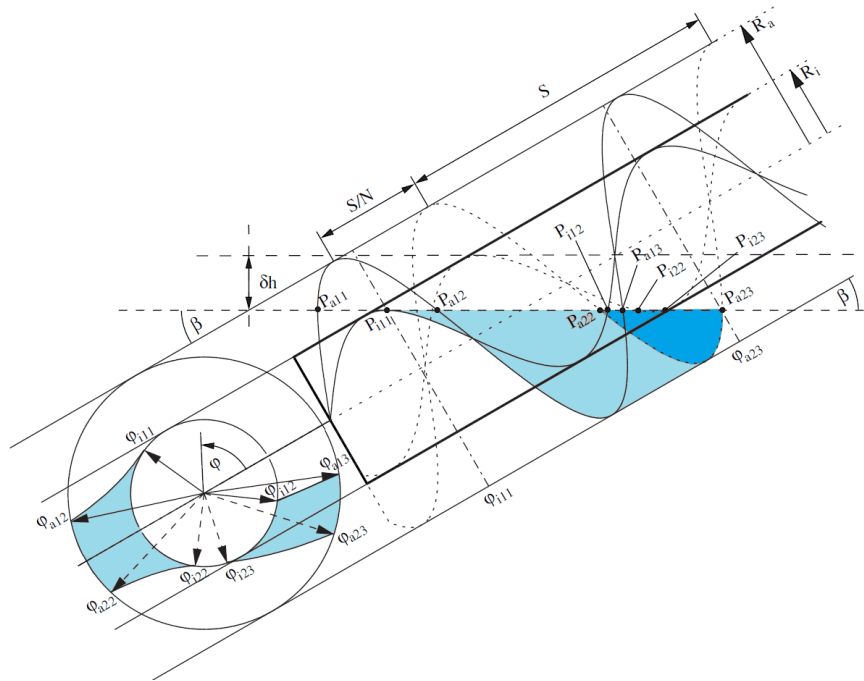
“El tornillo Sinfin o tornillo de Arquímedes es una máquina gravimétrica helicoidal que se hace girar dentro de un cilindro hueco, el cual tiene un cierto ángulo de inclinación. Se le conoce como tornillo Sinfin debido a que constituye un circuito infinito”. (Pino Eduardo Paúl, 2010).

El tornillo Sinfin es uno de los dispositivos mecánicos más antiguos que existen. En la actualidad sigue siendo de mucha utilidad y su diseño inicial no ha variado en gran medida, lo que demuestra la sencillez de su funcionamiento. A lo largo de la historia se ha utilizado para elevar agua o algunos otros materiales.

Figura 0-2: Detalles de un tornillo sin fin de Arquímedes.**Fuente: (Dwight, 2018).**

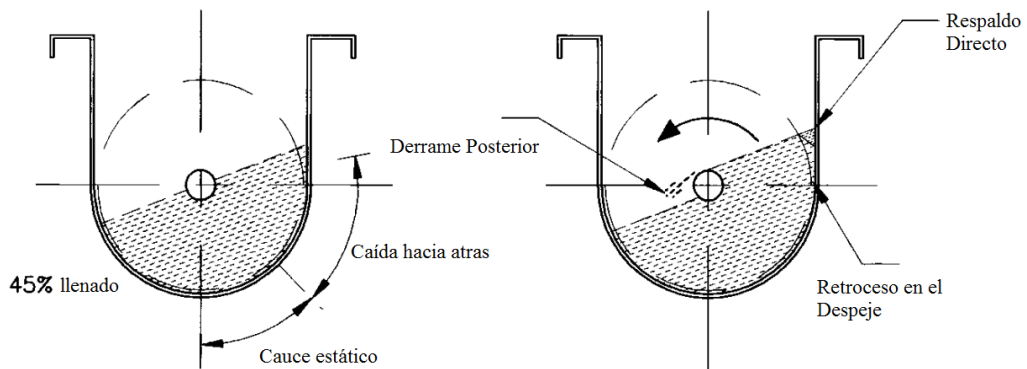
Los transportadores de tornillo son ampliamente utilizados en la industria para manejar sólidos y pastas en una variedad de tamaños estándar. Una característica principal de su operación es que la cantidad de material transportado está controlada por equipos anteriores. Las máquinas generalmente se construyen con tramos de tornillo de diámetro y paso uniformes, y en longitudes desde menos de 1 m hasta más de 50 m de largo. Se pueden acomodar múltiples entradas y salidas. Intermedio los rodamientos son necesarios para máquinas largas, excepto en aplicaciones especiales donde el tornillo se mueve en el canal o en placas de revestimiento. Cuando la alimentación cubre el tornillo en la entrada, las máquinas funcionan como alimentadores, y se aplican condiciones especiales a consideraciones de potencia, rodamientos intermedios y la influencia de variaciones y características aparentemente menores de la construcción. Las variantes de diseño pueden acomodar muchos de estos efectos, pero las unidades dejan de ser simples transportadores. (Bates, 2000).

Figura 2.3: Parámetros y dimensiones geométricas de un transportador de tornillo sin fin.



Fuente: (Nuernbergk, 2013).

Figura 2.4: Carga de la sección transversal del tornillo en modo de gravedad de funcionamiento

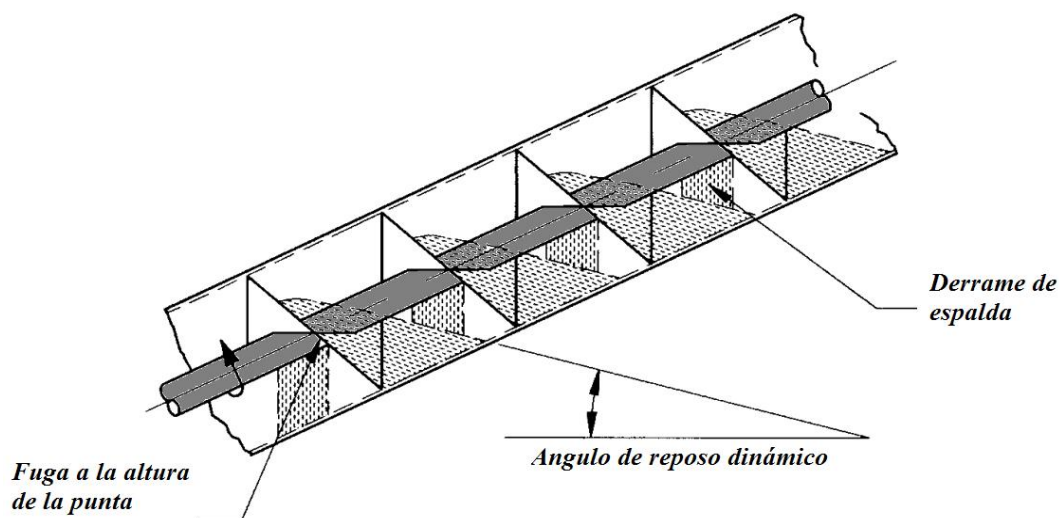


Fuente: (Bates, 2000).

La inclinación del eje del tornillo para dar una función de elevación tiene tres principales efectos que se combinan para reducir la capacidad de transporte. En primer lugar, se reduce la inclinación de la cara del tornillo hacia la horizontal, sobre la cual el material debe deslizarse para avanzar. Las consecuencias de reducir la inclinación del ángulo de la cara del tornillo son más pronunciadas en las regiones interiores de la cara

del vuelo, porque el ángulo de la hélice del vuelo del tornillo es mucho más grueso en radios más pequeños que en el borde del vuelo. La razón de esto es que el paso de vuelo es constante para todas las posiciones radiales, por lo que la hélice de la cara debe progresar a la misma distancia axial dentro de una longitud circunferencial más pequeña. El efecto de esta variación de hélice es que la inclinación de la superficie de la hoja de tornillo cerca del eje central hace que esta región de la superficie de vuelo caiga rápidamente por debajo del ángulo de fricción de deslizamiento del material a granel. Como resultado, el material en esta región tiende a descansar, en lugar de deslizarse, sobre la cuchilla, para ser transportado sobre los ejes y volver a caer en el espaciado de paso de vuelo anterior a medida que gira el tornillo. (Bates, 2000).

Figura 2.5: Efecto de la inclinación pronunciada en el transporte en modo de gravedad.



Fuente: (Bates, 2000).

Un segundo factor que reduce la cantidad de material transportado cuando el eje está inclinado, es que el reposo dinámico del material que se mueve permanece inalterado en relación con la horizontal. El volumen de la sección transversal axial del material que descansa entre los pasos de vuelo se reduce a medida que la inclinación de la cara del

vuelo se aproxima al ángulo de reposo, por lo que se puede transportar menos material. (Bates, 2000).

El tercer factor que perjudica las capacidades de elevación de un tornillo en el funcionamiento en modo de gravedad es la "fuga" de la punta de vuelo, es decir, la facilidad con que el material fluye a través de brechas de separación de trabajo entre el vuelo y la carcasa.

Incluso cuando un tornillo se está transportando horizontalmente, hay un grado de "fuga" de material a través de este espacio libre de punta, porque los diferentes niveles de material antes y después de la cara del vuelo permiten el derrame a través del espacio, Fig. 2.6. Este efecto aumenta rápidamente a una carga transversal alta, particularmente cuando el nivel de material en el costado de la carcasa excede la altura central del tornillo, porque la curvatura del borde circular del tornillo de la carcasa expone progresivamente una abertura de desbordamiento sin restricciones contra la cara vertical, ver Fig. 2.7. Como la carcasa del tornillo está inclinada, el material contra la cara del tornillo tiende a descansar en niveles más altos en el lado de la cubeta, ya que los contenidos mantenidos en el espacio de paso de vuelo se vuelven a polarizar en la hoja de tornillo.

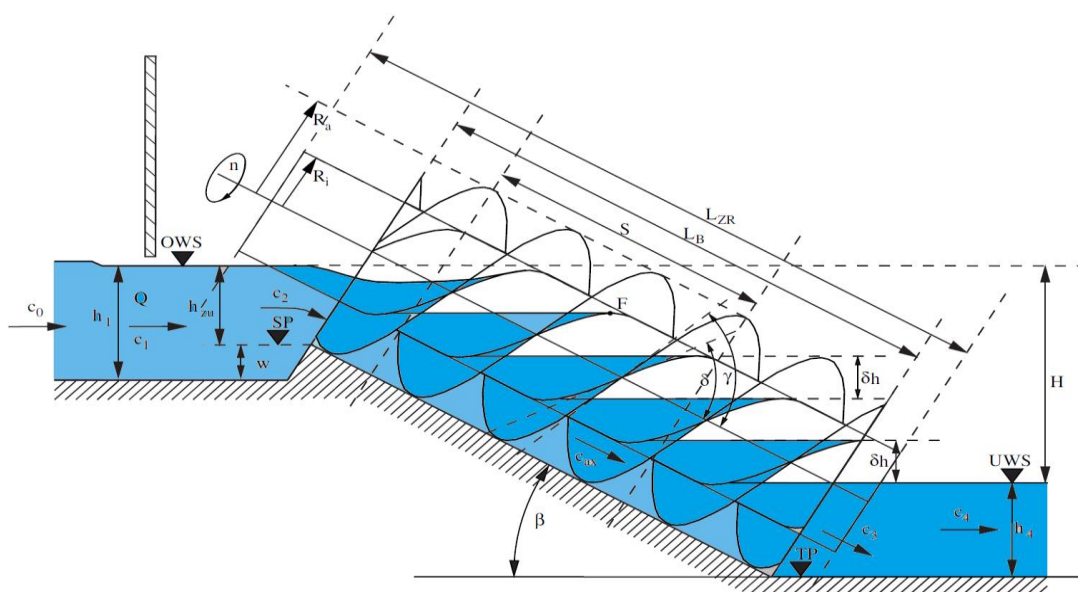
El aumento de la gravedad también actúa para promover el "reflujo" del producto a través del despeje de la punta del vuelo ya que la cubierta está inclinada más abruptamente.

1.1.1 GEOMETRIA DEL TORNILLO DE ARQUIMEDES

Esta tesis modifica el modelo de rendimiento de (*Archimedes Screw Turbine-AST*) para incluir pérdidas de potencia previamente omitidas, es necesario delinear los componentes clave y el vocabulario. Es en realidad una serie de modelos matemáticos que se pueden usar para simular tanto los flujos esperados como la potencia pronosticada para una geometría del husillo dado y un régimen de flujo. Este modelo cuasi estático

calcula los volúmenes de agua y el par en el tornillo suponiendo que el tornillo no está girando y sin experimentar flujos de agua internas. (Kozyn, 2016, pág. 21).

Figura 2.6: Parámetros y dimensiones geométricas de un transportador de tornillo sin fin.



Fuente: (Nuernbergk, 2013).

Formula del diámetro del Tornillo: Calculo de valores de δ y σ en función del ángulo α

$$H = StP - FP \tag{2.1}$$

$$\delta = \frac{d}{D} \tag{2.2}$$

$$\sigma = \frac{P}{D} \tag{2.3}$$

$$\cos\alpha = H + h_4/L_{ZR} \tag{2.4}$$

Determinación del diámetro de hélice: $Q_r = 1,15\mu \cdot ND^3$ (2.5)

$$N = \frac{50}{D^3} \tag{2.6}$$

Efectos del funcionamiento: $Q_e = \frac{Q_P}{12 \times 3600}$ (2.7)

Se sabe que: $\mu = 4.2 \times 10^{-3}$ (coeficiente del gráfico).

Donde:

TP, Punto de contacto Nivel de agua de entrada en la que cesará la entrega.

FP, Punto de llenado Nivel de agua de admisión en el que la bomba de tornillo alcanza su capacidad máxima y la mejor eficiencia, pero también el mayor consumo de energía.

SP, Nivel del canal de descarga Nivel de descarga, agua derramada al canal de descarga.

StP, Punto de entrega Nivel de agua que sale de la bomba de tornillo. Esto representa el nivel máximo contra que la bomba de tornillo puede entregar sin reflujos / recirculación.

β , ángulo de instalación El ángulo de instalación se puede determinar entre 30° y 40° .

D, diámetro de hélice.

d, Diámetro del tubo central.

LB, Longitud de Helix.

H₁, Cabezal de suministro hidráulico *StP* – *FP*.

H₂, Cabezal de suministro de construcción *SP* – *TP*.

En la figura () se muestra una vista de perfil de un segmento de un tornillo de Arquímedes que muestra cómo se forman los cubos entre pares de cuchillas adyacentes. Los cubos se mueven hacia arriba del tornillo a medida que se gira en el sentido de las agujas del reloj cuando se ve desde el depósito superior. A lo largo de este documento, los tornillos están orientados para la rotación en el sentido de las agujas del reloj. Los bordes interno y externo de cada cuchilla determinan dos curvas sinusoidales del mismo período (*o paso*) y fase. Uno tiene una amplitud igual al radio interior del tornillo y el otro tiene una amplitud igual al radio exterior. El ángulo u que el tornillo forma con la horizontal determina su pendiente $\tan u$. (Rorres, 2000).

Ahora se definen los siguientes tres parámetros "*externos*":

R_o = radio del cilindro exterior del tornillo (m).

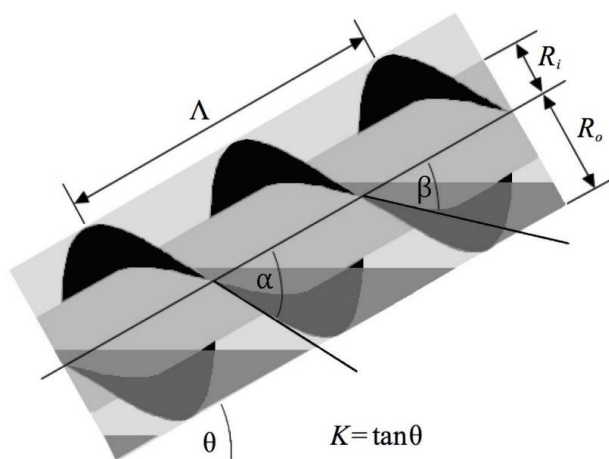
L = longitud total del tornillo (m).

K = pendiente del tornillo (sin dimensiones).

Definiciones esenciales para la selección y el diseño

- a) *Touch Point o Punto de contacto (TP)*: Es el nivel de agua de entrada en la que cesará la entrega.
- b) *Filling Point o Punto de llenado (FP-UWS)*: Punto de llenado Nivel de agua de admisión en el que la bomba de tornillo alcanza su capacidad máxima y la mejor eficiencia, pero también el mayor consumo de energía.
- c) *Chute Point o Nivel de canal (SP)*: Denominado también nivel de descarga, agua derramada al canal de descarga.
- d) *Delivery Point o Punto de entrega (STP-OWS)*: Del nivel de agua que sale de la bomba de tornillo. Esto representa el nivel máximo contra que la bomba de tornillo puede entregar sin reflujo / recirculación.
- e) *Es el ángulo de instalación (β)*: El ángulo de instalación se puede determinar entre 30° y 40° .

Figura 2.7: Vista de perfil del segmento de Arquímedes de dos fillos.



Fuente: (Rorres, 2000).

Determinación del diámetro exterior de la hélice:

$$D = \left(\frac{Q_e}{57,5\mu ND^3} \right) \quad (2.8)$$

$$P = \sigma \cdot D \quad (2.9)$$

Longitud de la turbina:

$$\text{sen}\alpha = \frac{SP - TP}{BL} = \frac{H + FP}{BL} \quad (2.10)$$

$$TP \approx 50 \quad (2.11)$$

$$\text{StP} = SP \quad (2.12)$$

$$\text{Diametro } D \text{ a } BL = \frac{H+FP}{\text{sen}\alpha} \quad (2.13)$$

$$\text{Número de filetes } \eta f = \frac{BL}{D} \quad (2.14)$$

Estos parámetros externos generalmente están determinados por el sitio del tornillo y los materiales disponibles para su construcción. Estos tres parámetros se toman como fijos aparte, se necesitan los siguientes tres parámetros "internos" para especificar por completo la geometría del tornillo. (Rorres, 2000).

$$R_i = 1 \text{ radio del cilindro interno del tornillo (m)} \quad 0 \leq R_i \leq R_o \quad (2.15)$$

$$S = \text{paso (o período) de una cuchilla (m)} \quad 0 \leq S \leq 2\pi R_o / K \quad (2.16)$$

$$N = \text{numero de cuchillas (sin dimensiones)} \quad N = 0,1,2,3, \dots, \quad (2.17)$$

- a) Por "un ciclo del tornillo" se entiende un segmento del tornillo cuya longitud es igual a un paso del tornillo. El volumen de un ciclo del tornillo es $\pi R_o^2 S$.
- b) Por un "conducto" se entiende una región del tornillo delimitada por dos cuchillas adyacentes y los cilindros interior y exterior. La región entre los cilindros interior y exterior del tornillo consta de N conductos congruentes disjuntos separados por las N láminas. El volumen de cada canal es $\pi(R_o^2 - R_i^2)L/N$.

- c) Por un “*cubo*” se quiere decir una de las regiones conectadas al máximo ocupadas por el agua atrapada dentro de cualquier tolva. Cada cubo se llena con agua en el depósito inferior y se vacía en el depósito superior. Dentro de un ciclo del tornillo, el volumen del agua dentro de todos los cubos es N veces el volumen de un cubo. El volumen de un cubo se denota por V_B . Es una función complicada de N , K , Λ , R_o y R_i .

La restricción $\Lambda \leq 2\pi R_o/K$ dado anteriormente en el tono Λ del tornillo necesita un poco de discusión. Para que el agua quede atrapada en el tornillo, es necesario que la curva sinusoidal en la figura (), define el borde exterior de una hoja inclinada hacia abajo cuando cruza el eje del tornillo. En términos de los ángulos θ y α en la figura, es necesario que $\theta \leq \alpha$ de manera equivalente, $\tan\theta \leq \tan\alpha$. Ahora $\tan\theta = \alpha$ por definición y $\tan\alpha = R_o(2\pi/\Lambda)$ ya que la curva sinusoidal tiene amplitud R_o y período Λ . La condición $\tan\theta \leq \tan\alpha$ es por lo tanto $K \leq R_o(2\pi/\Lambda)$, que es justamente $\Lambda \leq 2\pi R_o/K$. (Rorres, 2000).

Si Λ se encuentra en el intervalo $(2\pi R_i/K, 2\pi R_o/K)$, entonces el nivel de agua horizontal está justo en el punto donde el interior y las curvas sinusoidales externas cruzan el eje del tornillo. En ese punto, la curva sinusoidal interna tiene una pendiente positiva (con respecto a la horizontal) y la curva sinusoidal externa tiene una curva negativa cuesta abajo. Los cubos de agua que se forman en este caso son bastante pequeños y, de hecho, no estarán en contacto con el cilindro interno. (Rorres, 2000).

2.1.1 CANTIDAD DE AGUA EN EL CICLO DEL TORNILLO

Volviendo a nuestro problema de optimización, la siguiente cantidad ahora está definido:

V , volumen de agua en un ciclo del tornillo (m^3)

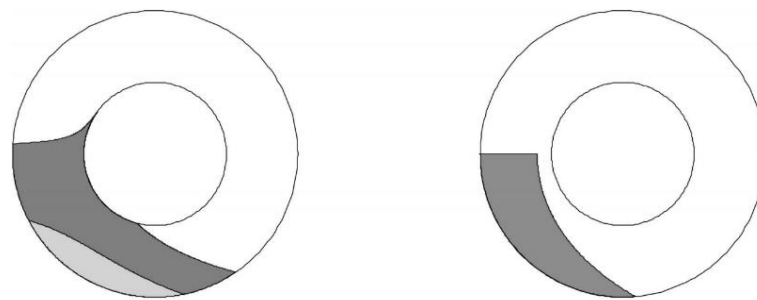
Esta cantidad es también el volumen de agua vaciado en el depósito superior con cada vuelta del tornillo, precisamente la cantidad que se debe maximizar. Tenga en cuenta también que $V_T = NV_B$, que expresa V_T es volumen de agua en un ciclo del tornillo, con respecto a los N cubos de agua que se vacían en el depósito superior con cada vuelta del tornillo V_B . (Rorres, 2000). El problema básico de este documento ahora se puede establecer de la siguiente manera:

Dado; N , R_o y K , encuentre valores de R_i y L que maximizará V_T .

Resumiendo, el nivel de agua horizontal de un cubo es:

- Tangente a la curva sinusoidal interna en una vista de perfil si $\Lambda \in (0, 2\pi R_i/K)$.
- En la intersección de las curvas sinusoidales externa e interna en una vista de perfil si $\Lambda \in (2\pi R_i/K, 2\pi R_o/K)$.

Figura 2.8: Vistas de las secciones de un cucharón mirando hacia abajo en ambos tornillos.

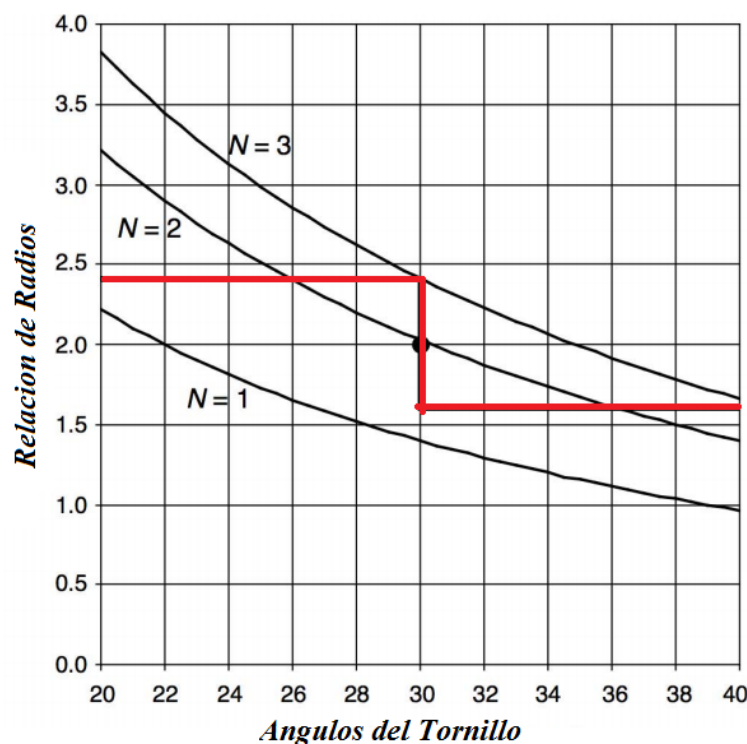


(a) $\Lambda \in (0, 2\pi R_i/K]$

(b) $\Lambda \in (2\pi R_i/K, 2\pi R_o/K]$

Fuente: (Rorres, 2000).

Figura 2.9: El gráfico de la relación del paso del tornillo a su radio exterior frente al ángulo de inclinación del tornillo cuando el número de hojas es de 1, 2 o 3.



Fuente: (Rorres, 2000).

2.1.2 DIMENSION DE LOS PARÁMETROS

El análisis del problema de optimización se inicia definiendo un parámetro adimensional v como la relación de V_T (el volumen de agua en un ciclo del tornillo) a $\pi R_0^2 \Lambda$ (el total del volumen de un ciclo del tornillo):

$$v = \frac{V_T}{\pi R_0^2 \Lambda} = \text{Volumen del radio} \tag{2.18}$$

Donde:

v , fracción del volumen de un ciclo del tornillo ocupado por agua.

Esta relación de volumen también es la fracción de todo el tornillo ocupado por el agua si los extremos donde el agua está entrando y dejando el tornillo descuidado. Por su definición v es un número entre 0 y 1. Observe que maximizar V_T , no es lo mismo que maximizar v . Dos parámetros adimensionales más se definen de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{R_i}{R_o} = \text{Radio } (0 \leq \rho \leq 1) \quad (2.19)$$

$$\lambda = \frac{K\Lambda}{2\pi R_o} = \text{altura del radio } (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (2.20)$$

Donde:

R_o , es valor máximo del radio interno

R_i , es el valor del radio interno

ρ , es la relación entre el radio interno real y su máximo valor posible.

Del mismo modo, porque $2\pi R_o/K$ es la altura máxima para lo cual se formarán cubos, con relación al λ que es la proporción de la elevación real a su máximo valor posible. En el caso similar del Tornillo de Vitruvio: $R_i = (\frac{1}{2})R_o$, $\Lambda = 2\pi R_i$, $K = 3/4$, y por lo tanto $\rho = 1/2$ y $\lambda = 3/8$. Un análisis dimensional muestra que n depende solo de N , r , y yo . Esta cantidad se puede escribir como $n(N, r, l)$ para enfatizar este hecho. De las tres ecuaciones anteriores se desprende que:

$$V_T = \left(\frac{2\pi^2 R_o^3}{K} \right) \lambda v(N, \rho, \lambda) \quad (2.21)$$

Dado que, N, R_o y K , el problema de maximizar V_T con respecto a R_i y Λ se puede maximizar $\lambda v(N, \rho, \lambda)$ con respecto a ρ y λ , cada uno restringido en el intervalo de $[0, 1]$. Los valores de ρ y λ que maximizan $\lambda v(N, \rho, \lambda)$ se denoten por ρ^* y λ^* , respectivamente. Entonces los valores óptimos de R_i , Λ y V_T vienen dados por:

$$V_B = \frac{A}{2\pi} \int_{\phi_0}^{\phi_1} \lambda_B(\phi) d\phi \quad (2.22)$$

$$R_i^* = \rho^* R_o \quad (2.23)$$

$$V_T^* = \left(\frac{2\pi^2 R_0^3}{K} \right) \lambda^* v(N, \rho^*, \lambda^*) \quad (2.24)$$

$$\Lambda^* = \frac{2\pi R_0 \lambda^*}{K} \quad (2.25)$$

3.1.1 VOLUMEN DE UN CUBO

El algoritmo para el cálculo de la relación de volumen $v(N, \rho, \lambda)$. Ejecutando un eje x a lo largo del eje del tornillo, con un aumento de x subiendo el tornillo. Se selecciona cualquier cubo particular del tornillo en cualquier momento particular y configurar

$AB(x) = \text{Área } (m^2)$ del agua en la sección transversal del tornillo en la posición $x(m)$ en el cubo seleccionado.

El volumen de V_B del cubo es la integral de $A_B(X)$ sobre la extensión del cubo a lo largo del eje x . Por lo tanto, si (x_0, x_1) es el intervalo a lo largo del eje x sobre el cual se define el cubo, entonces:

$$V_B = \int_{x_0}^{x_1} A_B(X) dx \quad (2.26)$$

Volviendo a nuestro problema de optimización, ahora se define la siguiente cantidad:

$$\phi = \frac{2\pi x}{\Lambda} \quad (2.27)$$

4.1.1 ÁNGULO DE LA CUCHILLA

El ángulo de la cuchilla pasa a través de 2π rad más de un ciclo del tornillo. Con respecto al ángulo de la hoja:

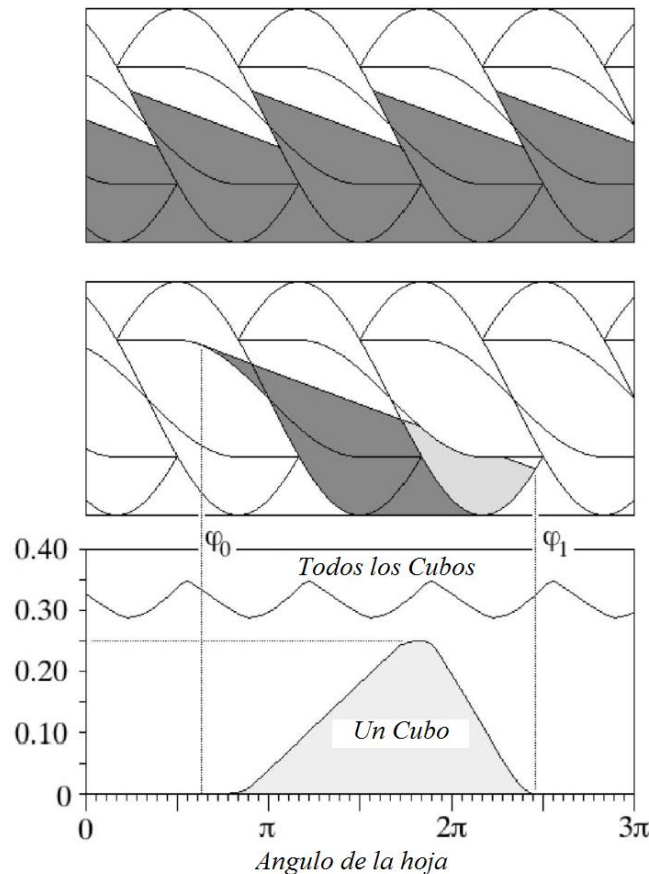
Donde:

λ_B , es función de A_B , expresado desde ϕ , y los nuevos límites de integración de $\phi_0 =$

$\frac{2\pi X_0}{\Lambda}$ y $\phi_1 = \frac{2\pi X_1}{\Lambda}$, y se define los siguientes parámetros:

$$\gamma_B(\phi) = \frac{\lambda_B(\phi)}{\pi R_0^2} = \text{Area del radio} \tag{2.28}$$

Figura 2.10: Relación de área del cucharón típico del tornillo de 3 cuchillas.



Fuente: (Rorres, 2000).

$$v = \frac{V_T}{\pi R_0^2 \Lambda} = \frac{N V_B}{\pi R_0^2 \Lambda} = \frac{N}{2\pi} \int_{\phi_0}^{\phi_1} \lambda_B(\phi) d\phi \tag{2.29}$$

Los conceptos anteriores se ilustran en la figura anterior con un tornillo de 3 palas para el cual $K = 3/8$, $\Lambda = \pi R_0$, y $R_i = \left(\frac{1}{2}\right) R_0$ (por lo tanto, $N = 3$, $\rho = 1/2$, y $\lambda = 3/16$). El diagrama superior muestra el perfil del tornillo con el cubo sombreado. Por

supuesto, el tornillo está realmente inclinado hacia arriba con pendiente $K = 3/8$ y las líneas rectas inclinadas hacia abajo en el diagrama son los niveles horizontales de agua en los cubos. El diagrama del medio muestra una sola cubeta con los ángulos ϕ_0 y ϕ_1 indicados. El origen se ha elegido a lo largo del eje ϕ de modo que la ecuación de la curva sinusoidal que forma el borde exterior de la cuchilla inferior del cubo es $R_0 \sin \phi$. El diagrama inferior es un gráfico de $\gamma_B(\phi)$, contra ϕ , del cubo particular seleccionado. (La curva superior en el gráfico inferior es la relación de área acumulada de todos los cubos en el tornillo. Es una curva periódica con período $\frac{2\pi}{N}$, y su valor promedio es v .)

La figura muestra secciones transversales de 3 tornillos con cuchilla para los valores del ángulo de la cuchilla en 90° a 420° . La canaleta contiene el cucharón seleccionado está delineada en gran medida, y la sección transversal de la cubeta misma está sombreada más oscura que los cubos en las otras dos rampas. El ciclo de secciones transversales se repite con cada paso del tornillo, es decir, por cada aumento de 360° del ángulo de la cuchilla repite cada 120° o, más generalmente, cada $2\pi/N$ radianes para un tornillo de hoja N . Tenga en cuenta que para ángulos cercanos a 330° , la sección transversal de la cuchara llena por completo la sección transversal de la rampa de modo que el valor de γ_B sea de $1/4$, ya que para, el área de la sección transversal de cada rampa es un cuarto del área de la sección transversal de todo el tornillo.

Además, las superficies de las dos cuchillas y los cilindros interior y exterior se han hecho transparentes. Mirando abajo en el tornillo en la vista transversal, la región más oscura es la superficie superior horizontal del agua del cucharón y la región más clara es la porción del cucharón en contacto con la superior hoja de la rampa. Si dejamos que denote la distancia sobre el eje del tornillo en la vista de perfil, las siguientes curvas en esta figura tienen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Borde exterior de la cuchilla inferior (izquierda): } y = R_0 \text{ sen } \phi \quad (2.30)$$

$$\text{Cuchilla interior de la cuchilla inferior (izquierda): } y = R_i \text{ sen } \phi \quad (2.31)$$

$$\text{Borde exterior de la cuchilla superior (derecha): } y = R_0 \text{ sen } \left(\phi - \frac{2\pi}{N} \right) \quad (2.32)$$

$$\text{Borde interno de la cuchilla superior (derecha): } y = R_i \text{ sen } \left(\phi - \frac{2\pi}{N} \right) \quad (2.33)$$

$$\text{Nivel de agua en el cubo: } y = -\frac{K\Lambda}{2\pi} (\phi - \phi_0) + R_i \text{ sen } \phi_0 \quad (2.20)$$

El ángulo ϕ_0 , donde comienza la cuchara, es donde el nivel del agua es tangente al borde interno de la cuchilla inferior.

$$R_i \cos \phi_0 = \frac{K\Lambda}{2\pi} \text{ o } \cos \phi_0 = -\frac{\lambda}{\rho} \quad (2.21)$$

(Esto está asumiendo $\lambda < \rho$; de lo contrario $\phi_0 = \pi$). El ángulo ϕ_1 , donde termina la cubeta es donde el nivel del agua golpea el borde exterior de la cuchilla superior por tercera vez.

$$R_0 \text{ sen } \left(\phi - \frac{2\pi}{N} \right) = -\frac{K\Lambda}{2\pi} (\phi_1 - \phi_0) + R_i \text{ sen } \phi_0 \quad (2.22)$$

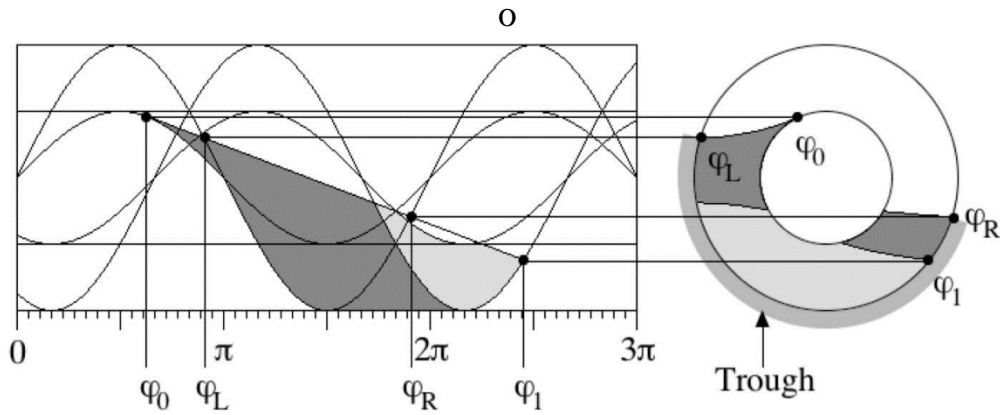
$$R_0 \text{ sen } \left(\phi - \frac{2\pi}{N} \right) = -\lambda(\phi_1 - \phi_0) + \rho \text{ sen } \phi_0 \quad (2.23)$$

Los ángulos denotados ϕ_L o ϕ_R determinan la porción del cilindro exterior en contacto con el agua. Si el cilindro exterior es un canal abierto, entonces determinan los límites angulares mínimos del canal necesario para contener los baldes de agua. Ambos ángulos están determinados por los puntos de intersección del nivel del agua y el borde exterior de la cuchilla inferior, de modo que ambos son soluciones de la ecuación:

$$R_0 \text{sen} \phi = -\frac{K\Lambda}{2\pi} (\phi_1 - \phi_0) + R_i \text{sen} \phi_0 \tag{2.24}$$

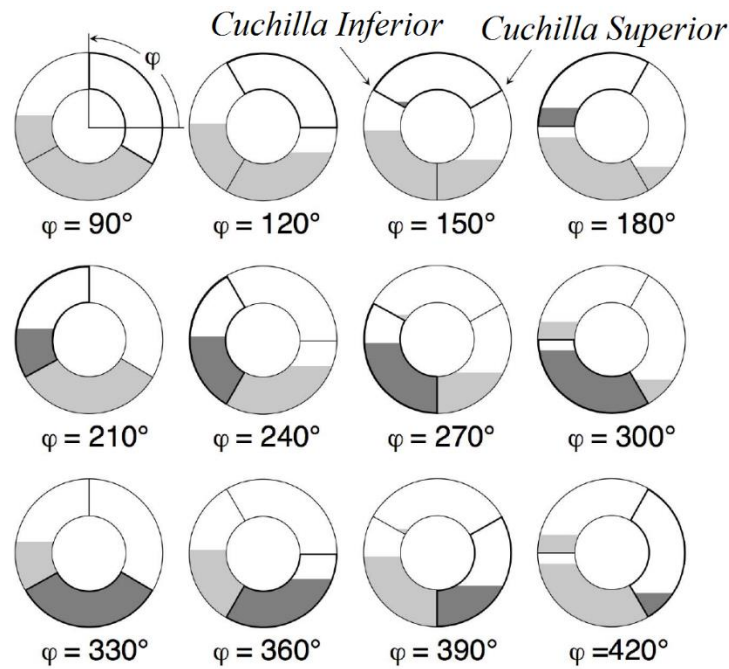
$$\text{sen} \phi = -\lambda(\phi_1 - \phi_0) + \rho \text{sen} \phi_0 \tag{2.25}$$

Figura 2.11: Perfil y vistas transversales de tornillo.



Fuente: (Rorres, 2000).

Figura 2.12: Sección transversal del tornillo para varios valores del ángulo de la cuchilla.



Fuente: (Rorres, 2000).

2.1.2.1 Tornillo óptimo

La determinación del tornillo óptimo ahora se considera. Este es el problema de encontrar los valores de $\lambda < \rho$ en el intervalo $[0, 1]$ que maximiza la función de $\lambda v(N, \rho, \lambda)$. Para un tornillo de 8 palas. Al igual que con $v(N, \rho, \lambda)$, las representaciones de $\lambda v(N, \rho, \lambda)$ para diferentes valores de N son similares entre sí, con $\lambda v(N, \rho, \lambda)$ aumentando monótonamente como N .

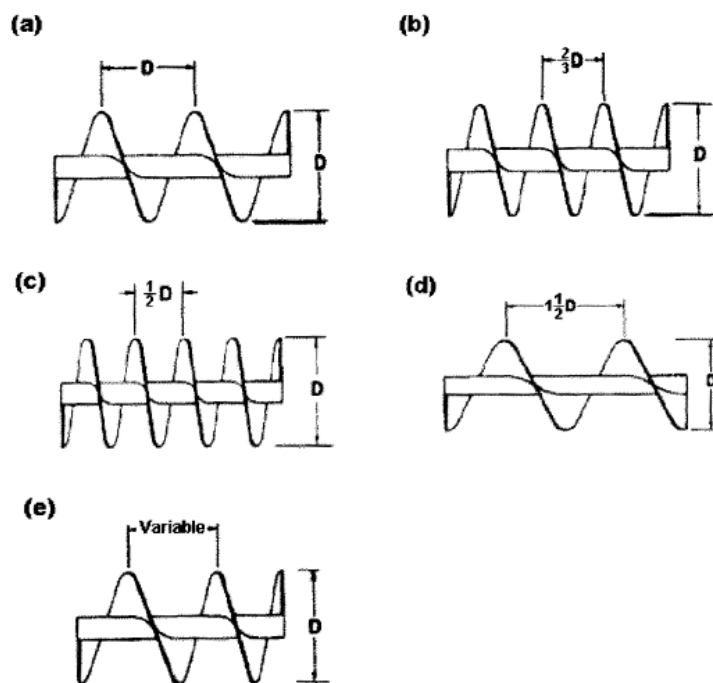
2.1.2.2 Clasificación

Los transportadores de Tornillo Sinfín se clasifican según el paso en: (Pino Eduardo Paúl, 2010)

- a) *Transportadores de paso estándar:* Estos transportadores tienen un paso igual al diámetro y se los denomina estándares, se utilizan para todas las aplicaciones comunes de transporte continuo de materiales al granel.
- b) *Transportadores de paso corto:* Los transportadores helicoidales de paso corto son de construcción regular (estándar) excepto que el paso de los helicoidales está reducido a $2/3$ del diámetro del Sinfín, se recomiendan para uso en transportadores inclinados con inclinaciones de 20 grados o más; También son usados extensivamente en alimentadores helicoidales (FEEDERS) y para controlar la carga transversal en el balance de un transportador cuando el paso corto es usado en la abertura de la entrada, esto es cuando la entrada no es uniformemente regulada.
- c) *Transportadores de paso medio:* Son similares a los de paso corto excepto que el paso es reducido a $1/2$ del diámetro del Sinfín. Son utilizados en 7 aplicaciones inclinadas, verticales, alimentadores y cuando se conduzcan materiales extremadamente fluidos.

- d) *Transportadores de paso largo*: En este caso el paso es 1-1/2 veces el diámetro, y son usados para agitar materiales fluidos o para mover materiales de flujo muy libre.
- e) *Transportadores de paso variable*: Estos transportadores consisten de helicoidales sencillos subsiguientes o en grupos que incrementan el paso. Se utilizan como alimentadores de helicoidales para mover uniformemente materiales de flujo libre a través de toda la longitud de la abertura de entrada o alimentación.

Figura 2.13: Clasificación de Sinfines por el paso.

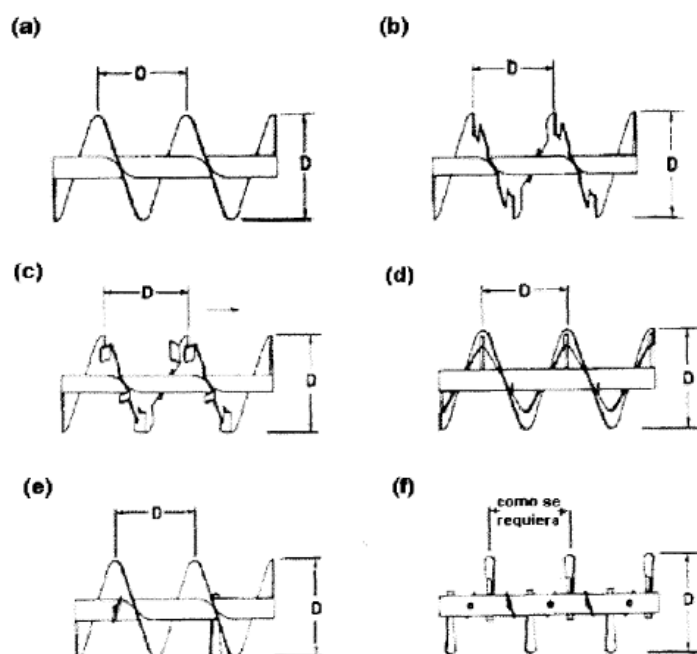


Fuente: (Andreu, 2011).

- f) *Transportadores de espiras recortadas*: En este caso, en el borde exterior de los espirales es recortada una sección a intervalos regulares. Permitiendo una acción adicional de mezcla y agitación en tránsito del material que se transporta. Es útil para transportar materiales que tienden a compactarse y formar terrones, los cuales son destruidos por estos bordes cortantes.

- g) *Transportadores de espiras recortadas y dobladas*: Similar al caso anterior, con la diferencia de que las secciones recortadas no son extraídas de los espirales, sino que son dobladas a 90 grados hacia el lado de giro del transportador. Obteniendo así un efecto de retardo de flujo y mezcla en tránsito del material transportado, es útil para el calentamiento, enfriamiento o aireación de sustancias ligeras.
- h) *Transportadores de cinta*: Los transportadores de cinta, son excelentes para transportar materiales pegajosos y viscosos. El espacio abierto entre el borde interior de la espiral y el tubo, evita la acumulación del material conducido.
- i) *Transportadores de espiras con paletas*: Son Transportadores helicoidales estándar, pero llevan paletas ajustables unidas al tubo y distribuidas siguiendo una trayectoria helicoidal opuesta a la del Sinfín a lo largo del tubo del Sinfín. Lo que proporciona al material transportado una suave y completa mezcla.
- j) *Transportadores de paletas*: Son Transportadores que sólo están formados de paletas ajustables unidas al tubo y distribuidas siguiendo una trayectoria helicoidal, cuyo paso es como se requiera. Permiten dar una completa acción de mezcla y un flujo controlado a materiales granulares y finos.

Figura 2.14: Clasificación de Sinfines por el tipo de helicoide.



Fuente: (Andreu, 2011).

Los transportadores de Tornillo Sinfín pueden operar sobre un plano horizontal e inclinado, con múltiples entrada y salida. Con ellos se moviliza una amplia gama de materiales que tienen tendencia a fluir tales como granos, polvos, pellets e incluso algunos líquidos. En aplicaciones especiales las características poco usuales más comunes de materiales que requieren consideraciones adicionales en el diseño de las partes componentes del transportador se mencionan en el siguiente apartado. (Garske Wolfgang, 2005)

2.1.3 COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR SINFÍN

2.1.3.1 Componentes móviles

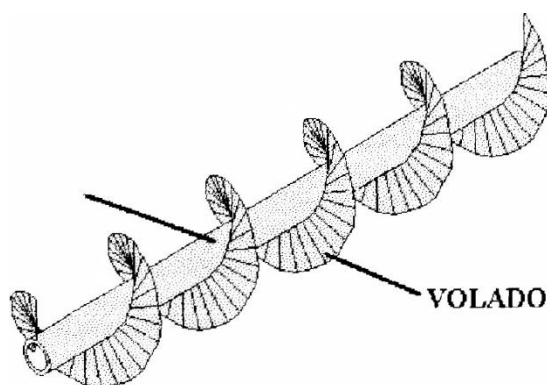
Según, (J.E.SHIGLEY - C. R. MISCHKE, 2009), los que tienen movimiento rotacional transmitido por el motor son:

2.1.3.2 Sinfín

El Sinfín es el principal componente del transportador y de este viene su nombre "transportador de Tornillo Sinfín". El Sinfín está compuesto por el helicoide y el tubo.

Este elemento puede ser metálico o plástico.

Figura 2.15: Tornillo Sinfín.



Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

El helicoide” o volado (flight) consiste de un elemento que envuelve y está unido a un tubo siguiendo una trayectoria helicoidal. Dicho elemento puede ser construido de dos maneras:

- a) *En forma continua:* se realiza con maquinaria especial con la que cuentan sólo las casas constructoras de estos transportadores, mediante el conformado o extruido del material constitutivo, de tal manera que se obtiene un helicoide o espiral continua (una sola pieza). Una característica importante de este método es que se obtiene un helicoide con espesor variable, el mismo que es mayor en el borde interior y menor en el borde exterior.
- b) *Por secciones:* esta es la manera más común y práctica para construir un sinfín en cualquier parte del mundo y con un mínimo de herramental de taller. Consiste en cortar discos anulares, estirarlos y conformarlos hasta obtener espiras o segmentos

helicoidales del diámetro y paso deseados para luego unirlos en un solo elemento helicoidal. En este método el espesor es del helicoide es constante.

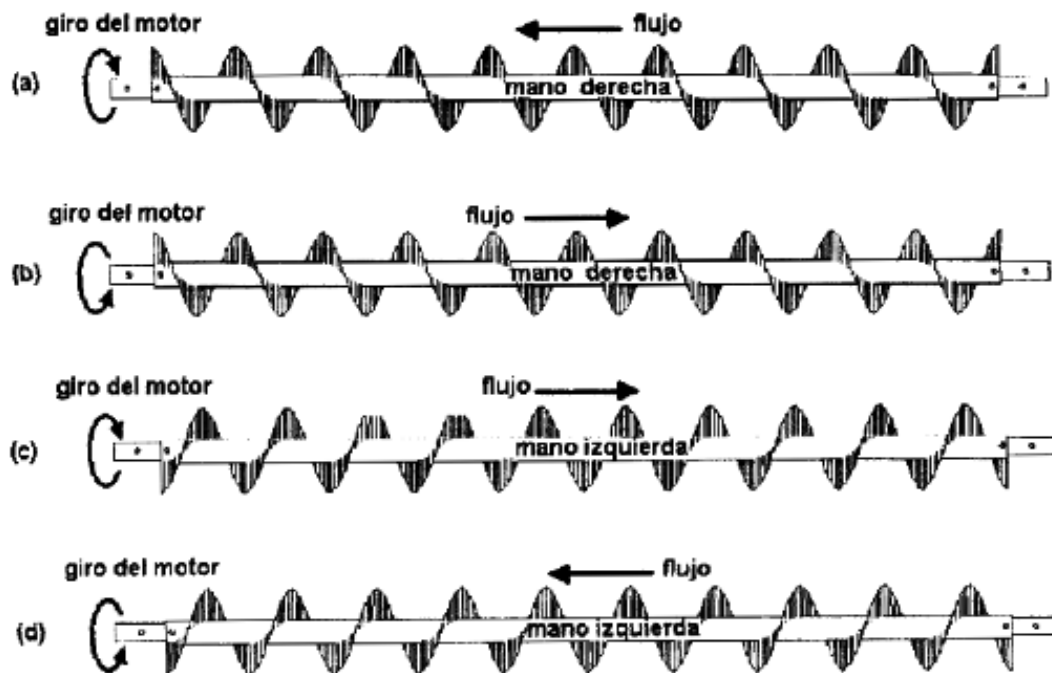
- c) *Independientemente del método de construcción:* la superficie del helicoide puede ser de varias formas, según el tipo de acción adicional que vaya a realizar el Sinfín sobre el material en tránsito, así pues, dependiendo del caso se tendrán helicoidales de espira estándar, de espira recortada, y doblada, de espira de cinta, y de espira estándar con paletas. Un caso aparte pero no menos importante es el caso del Sinfín compuesto solo por paletas (remos), en donde los ejes de las paletas son perpendicular y corta al eje del tubo. Las paletas son atornilladas al tubo y están dispuestas a cierta distancia una de otra siguiendo una trayectoria helicoidal.
- d) *El tubo:* es el elemento que soporta al helicoide y le transmite el movimiento y potencia del motor. Dependiendo de la aplicación puede usarse en cédula 40 o en cédula 80.
- e) *Los transportadores helicoidales de longitud estándar:* deben ser utilizados siempre que sea posible para reducir el número de colgantes requeridos. Cuando una longitud más corta que la estándar requiera usarse, esta debe ser localizada preferiblemente en el extremo de la descarga. El uso de transportadores helicoidales estándares continuos y seccionales es en general una cuestión de preferencia.

2.1.3.3 Sentido de flujo

La "mano" de un tornillo Sinfín conjuntamente con la dirección con la que el transportador es girado (giro del motor: horario o anti horario), determinan la dirección del flujo del material a transportarse. . (Pino Eduardo Paúl, 2010)

El transportador helicoidal mano derecha, hala el material hacia el extremo que está siendo girado en dirección de las manecillas del reloj, Si la rotación es en reversa (dirección opuesta al reloj) el material es empujado en dirección opuesta a ese extremo.

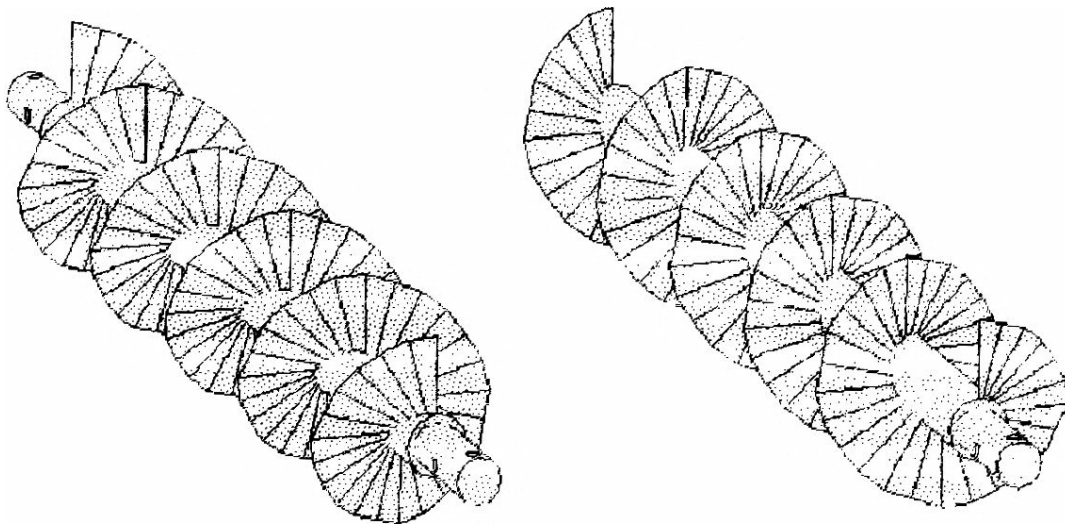
Figura 2.16: Sentidos de flujo de un Sinfín.



Fuente: (Andreu, 2011).

- (a) Sinfín mano derecha y motor girando en sentido horario.
- (b) Sinfín mano derecha y motor girando en sentido antihorario.
- (c) Sinfín mano izquierda y motor girando en sentido horario.
- (d) Sinfín mano izquierda y motor girando en sentido antihorario.

En transportadores helicoidales mano izquierda, empujan el material desde el extremo que está siendo girado en dirección de las manecillas del reloj (lado del motor). Si la dirección de rotación del motor es revertida, el sentido de flujo del material se revertirá también (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Figura 2.17: Mano de un Tornillo Sinfín.

Fuente: (Andreu, 2011).

Los Sinfines que mueven material en un sólo sentido, no deben ser volteados de extremo a extremo al momento de ensamblarlos sin que la dirección de rotación se revierta también. Para determinar la mano de un transportador observe el contorno del volado de éste, si dicho contorno avanza o se desarrolla hacia la derecha, el transportador es mano derecha. Si el contorno se desarrolla hacia la izquierda, el transportador es mano izquierda.

El material se lleva hacia un lado del helicoide del transportador en Sinfines que se requieren para transportar material en una dirección, por lo tanto, los talones (refuerzos) en extremos de transportadores serán localizados en la cara opuesta para facilitar el libre flujo de material. Las secciones del transportador al momento de instalarlo no deben cambiarse de extremo a extremo sin invertir la dirección de rotación, o lo inverso, La dirección de rotación no debe ser invertida sin cambiar las secciones del transportador de extremo a extremo, porque de otro modo el sentido de flujo no sería el deseado. Las espirales deben ser omitidas del tubo del Último tramo del Sinfín sobre la abertura de descarga para asegurar la descarga total de material sin sobrepasarse más allá del punto

de descarga. La continuidad del flujo de material en puntos de colgantes se logra oponiendo extremos de espirales adyacentes a aproximadamente 180° , (Tan cerca de 180° como lo permitan los hoyos perforados con anterioridad).

2.1.3.4 Ejes

Como la estructura del Sinfín es un tubo (hueco), el Sinfín lleva acoplado en sus extremos ejes macizos concéntricos al tubo para poder transmitir potencia y movimiento a lo largo de todos los tramos que forman el Sinfín. Dicha unión es empernada, un eje es el motriz, es el más largo y va acoplado al dispositivo motriz (piñón, cadena o acople para reductor o moto reductora) y el otro es el eje final que va soportado por la tapa de extremo del lado opuesto al eje motriz.

En el caso de usar colgantes intermedios, se usan ejes conectores, para unir los tramos del Sinfín formando así un solo componente giratorio y transmitir de este modo el movimiento y potencia motriz a todo lo largo del Sinfín. La primera consideración para determinar el tipo y tamaño de acoplamiento y de ejes motrices es determinar si los ejes seleccionados son adecuados para transmitir la potencia requerida, incluyendo cualquier sobrecarga que pudiera presentarse. Normalmente los ejes acero rolado en frío son adecuados. Sin embargo, los ejes de acero de alta tensión pueden ser requeridos debido a limitaciones de torque. También pueden ser necesarios ejes de acero inoxidable cuando deban manejarse materiales corrosivos y contaminables. Los transportadores equipados con bujes para colgantes no lubricados de hierro duro requieren ejes de acoplamiento endurecidos. (Pino Eduardo Paúl, 2010)

2.1.4 COMPONENTES ESTÁTICOS

Son los componentes que se mantienen fijos durante el funcionamiento del equipo, sirviendo de recipiente, soporte y cobertura al material, brindando así protección y

seguridad tanto al material a transportarse como al personal operativo y estos son: (Pino Eduardo Paúl, 2010)

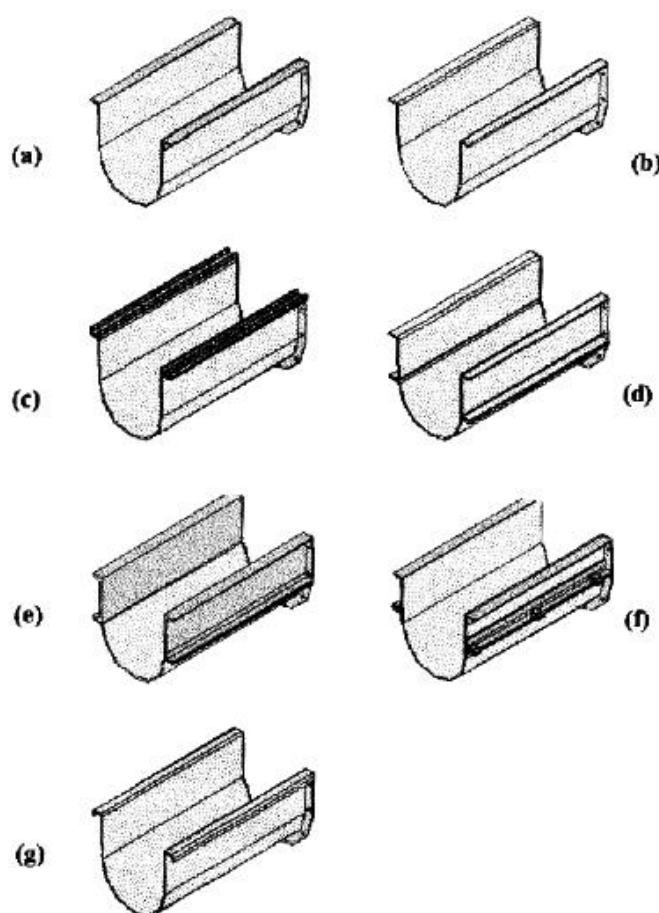
2.1.4.1 Artesa

La artesa es un recipiente cerrado que va a contener y le sirve de camino al material a transportarse, cuyo volumen interior está definido por una sección transversal (sección transversal) que difiere según la aplicación y por la longitud del recorrido o distancia.

Las artesas estándar son fabricadas con una longitud tal que previenen los problemas de reflexión. Para poder llegar a la longitud requerida en una aplicación particular, estas artesas estándares están provistas de bridas en sus extremos y son acopladas por medio de pernos. Las secciones estándares de artesas están disponibles en longitudes de 5, 6, 10 y 12 pies. Las longitudes estándar de 5 y 6 pies deben ser usadas cuando las bridas de conexión coincidan con las aberturas de descarga o con los colgantes. Existen varios modelos de artesas los cuales son:

- a) *Artesa "Estándar U"*: Estas artesas tienen un cuerpo de acero cuya sección transversal tiene forma de "U" y de acuerdo a alguna característica especial pueden ser:
- *Con ceja de ángulo*: La artesa "U" más comúnmente empleada es la de tipo ceja de ángulo. La parte superior consiste de ángulos de acero estructural, soldados uno a cada borde de la artesa "U" lo cual le da una alta rigidez en la sección de estas artesas.
 - *Con ceja formada*: En esta artesa, las cejas o dobleces de la parte superior están formados por la misma plancha que la artesa (una sola pieza), obteniéndose con esto un peso más ligero y conservando la rigidez en la sección de estas artesas.

- *Con ceja formada con doble doblez:* Esta artesa tiene un doblez más por lado que el caso anterior, obteniéndose con esto mayor resistencia y rigidez en la sección de estas artesas.
- *Sellada contra polvo:* La artesa sellada contra polvo algunas veces llamada artesa sellada contra arena, es similar a la artesa de brida formada, pero adicionalmente lleva en la parte superior un canal, el cual va unido a la artesa por arriba en forma perimetral, y al unir todos los tramos de artesas se crea un canal continuo alrededor de la parte superior de la artesa total dentro del cual se montan cubiertas con cejas especiales. El canal se llena con la arena o polvo del producto transportado creando de tal forma un sello efectivo contra el escape de polvo dentro del transportador.

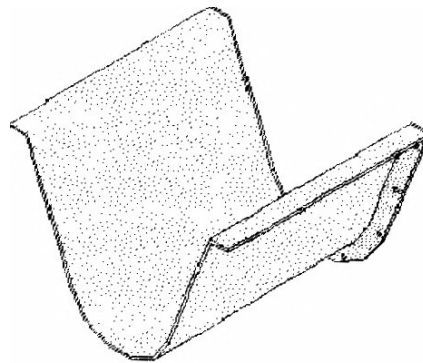


Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

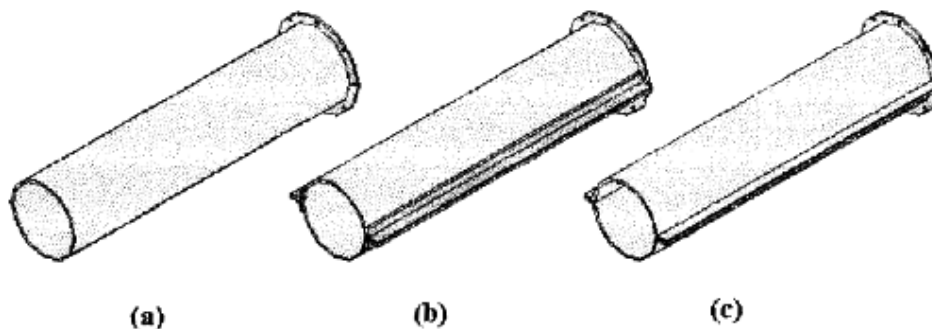
- *Con canal lateral estructural:* La artesa con canal lateral está hecha con fondos de artesa desmontables separados, los cuales están atornillados o prensados a canales de acero rolados. Este diseño ofrece una facilidad en la limpieza de la artesa y del transportador helicoidal y se utiliza frecuentemente al manejar materiales de origen alimenticio donde la inspección interna y la limpieza del transportador helicoidal son necesarias. Cualquier longitud razonable para abarcar soportes ampliamente espaciados. Este tipo de artesa es usado ocasionalmente para el fácil reemplazo de fondos de artesa y para facilitar las reparaciones cuando el transportador helicoidal o los colgantes no son accesibles desde la parte superior. La artesa con canal lateral también puede ser utilizada sin fondo para llenar depósitos y tolvas.

- *Con canal lateral formado:* Esta artesa, es similar a la anterior, excepto que los lados de la artesa son construidos con el mismo material del fondo de la artesa (plancha de acero) y se extienden más arriba de lo estándar, es decir de la línea del centro de la parte superior. Este tipo de artesa se usa frecuentemente para transportar materiales que se juntan y viajan en masa en la parte superior del transportador helicoidal. La artesa con parte lateral alta mantendrá este tipo de material dentro de la artesa dando así mismo el suficiente espacio para expansión.

- *De fondo desmontable:* La artesa de fondo desmontable, está equipada con un fondo desmontable empernado o prensado, completamente removible o con una bisagra en uno de sus lados y con pernos o prensas en el lado opuesto.

Figura 2.18 Artesa ensanchada.

Fuente (Andreu, 2011).

Figura 2.19 Tipos de artesas tubulares.

Fuente (Andreu, 2011).

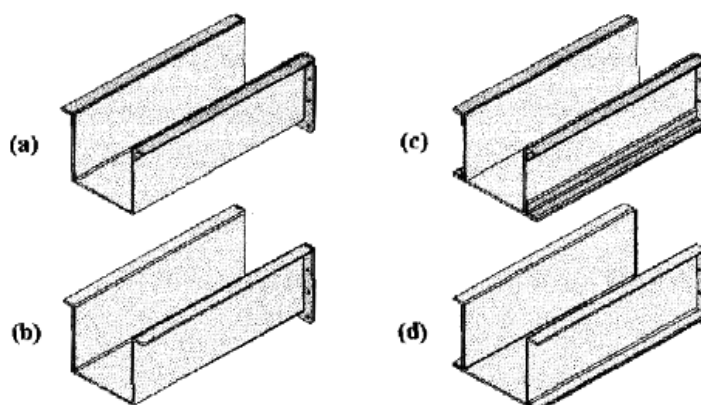
- (a) De tubo sólido o estándar
- (b) De tubo bipartito con ceja de ángulo
- (c) De tubo bipartito con ceja formada

b) *Artesa "Ensanchada"*: Las artesas ensanchadas, se usan principalmente para transportar materiales que tengan un flujo libre o que tiendan a pegarse a la artesa. Las artesas tubulares, para transportadores Sinfín protegen al material del polvo y el clima y pueden ser totalmente cargadas en su sección transversal (porcentaje de carga hasta 95%). Los transportadores con artesas tubulares son rígidos y son muy convenientes para transportar material en planos inclinados. Esta artesa es un

armazón tubular completo y se utiliza para aplicaciones inclinadas donde la caída obliga a la artesa a operar una carga total. La artesa tubular puede ser de construcción de tubo sólido o bipartito con ceja para empernar o prensar las dos mitades.

- c) *Artesa "Rectangular"*: Las artesas rectangulares están dotadas con fondo plano y pueden ser formadas a partir de una sola lámina metálica o de lados y fondo en piezas separadas. Este tipo de artesas se usan generalmente al manejar materiales abrasivos capaces de formar una capa de material en el fondo de la artesa.

Figura 2.20 Tipos de artesas rectangulares.



Fuente (Andreu, 2011).

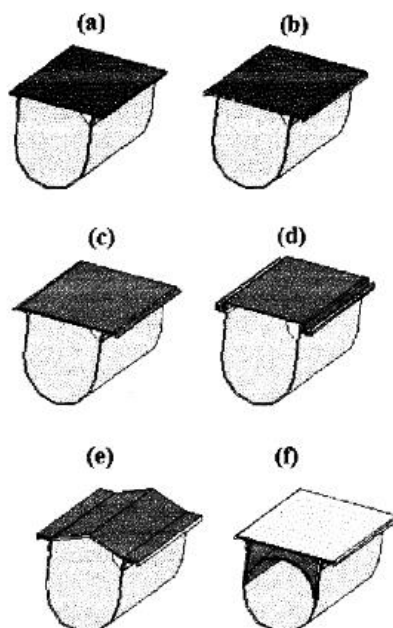
- (a) Con ceja de ángulo
- (b) Con ceja formada
- (c) Con ceja de ángulo arriba y abajo
- (d) Con ceja formada arriba y abajo

El material por lo tanto se mueve sobre sí mismo, protegiendo la artesa del desgaste. Al manejar materiales calientes, el material formara su propio aislamiento interno con este tipo de artesa.

2.1.4.2 Cubierta

La cubierta es un elemento que cubre la parte superior de la artesa y brinda protección tanto al material transportado como para el personal operativo. Dependiendo de ciertas características especiales de cada aplicación, las cubiertas pueden ser: (J.E.SHIGLEY - C. R. MISCHKE, 2009).

- a) *Totalmente planas:* Las cubiertas totalmente planas no llevan ningún tipo de ceja o doblez en sus bordes, y pueden ser fijadas a la artesa mediante pernos, tornillos, prensas o bisagras. Estas cubiertas son más convenientes para aplicaciones interiores (bajo techo), además pueden ser selladas en su perímetro para obtener una moderada acción contra polvo. Se utilizan en artesas "U" y rectangulares.
- b) *Planas con semidobles en los bordes:* Similar al caso anterior, pero llevan un semidobles de 45°, con el cual logran una moderada protección contra polvo y se logra una mayor rigidez.
- c) *Planas con doblez en los bordes:* Similar al caso anterior, pero llevan un doblez de aproximadamente 3/4" en cada lado. Este doblez le provee de un limitado grado de protección contra el clima y polvo, y además pueden ser selladas para un control más completo.
- d) *Contra polvo:* Las cubiertas selladas resistentes al polvo tienen cejas en sus cuatro lados para igualar las secciones de canal que tienen en su parte superior las artesas especiales selladas resistentes al polvo.

Figura 2.21 Tipos de cubiertas.

Fuente (Andreu, 2011).

- (a) Plana
- (b) Plana con doblez en los bordes
- (c) Plana con semidobles en los bordes
- (d) Contra polvo
- (e) A dos aguas
- (f) De casquete

a) *A dos aguas*: Las cubiertas a dos aguas son similares a las cubiertas con cejas convencionales excepto que están un tanto anguladas para formar un borde a través del centro de la cubierta. Una placa de extremo soldada cierra la sección angulada en cada extremo a la artesa mientras que las juntas intermedias se conectan generalmente por medio de soleras a tope. Las cubiertas a dos aguas se recomiendan

normalmente para instalaciones exteriores para prevenir la acumulación de agua.

También se usan en aplicaciones donde se requiere de una cubierta más rígida.

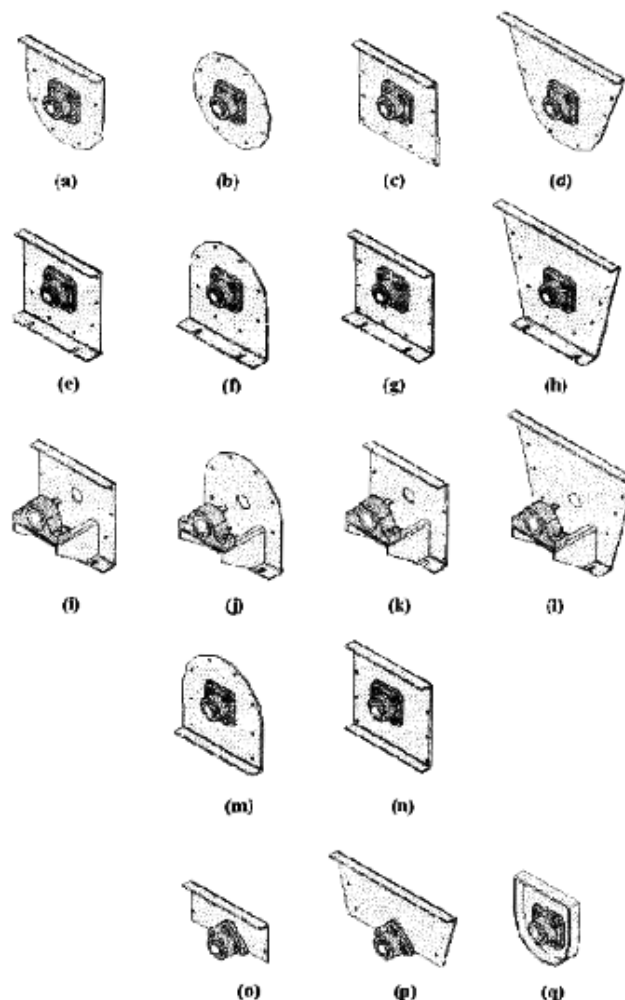
- b) *De casquete*: Las cubiertas de casquete. están diseñadas para embonar dentro de una artesa estándar "U" de transportador de un alimentador helicoidal o de un transportador inclinado o para crear un efecto tubular de artesa. Está cubierta tiene una ventaja sobre la artesa tubular ya que se combina la facilidad de acceso con la conveniencia de usar colgantes y accesorios estándar. Puede requerirse una cubierta plana adicional sobre el casquete para prevenir la acumulación de agua o polvo en la cavidad de la cubierta de casquete.

2.1.4.3 Tapas de extremos

Las tapas de extremo, son los elementos que proporcionan un encierro lateral a cada extremo de la artesa (izquierdo y derecho), impidiendo que el material transportado se salga por los lados de la artesa y sirven de soportes principales para el Sinfín. Las tapas laterales de extremo de artesa pueden ser: (KWS MANUFACTURING CO.).

- "Sin pie"; usada cuando no se necesita apoyo en los extremos para artesa: estándar "U", Tubular, rectangular, ensanchada.
- "con pie", usada cuando se necesita apoyo en los extremos para artesa: estándar "U", tubular, rectangular, ensanchada.
- "con pedestal", usada cuando se necesita espacio para sellos mecánicos en los -extremos para artesa: estándar "U", tubular, rectangular, ensanchada.
- "de descarga al final" para artesa: estándar "U" y rectangular, tubular.
- "de descarga por el extremo" para artesa: estándar "U" y rectangular, ensanchada.
- "interior al extremo final" para artesa estándar "U".
-

Figura 2.22 Tipos de tapas de extremos.



Fuente (Andreu, 2011).

- (a) Sin pie para artesa "U"
- (b) Sin pie para artesa tubular
- (c) Sin pie para artesa rectangular
- (d) Sin pie para artesa ensanchada
- (e) Con pie para artesa "U"
- (f) Con pie para artesa tubular
- (g) Con pie para artesa rectangular
- (h) Con pedestal para artesa ensanchada

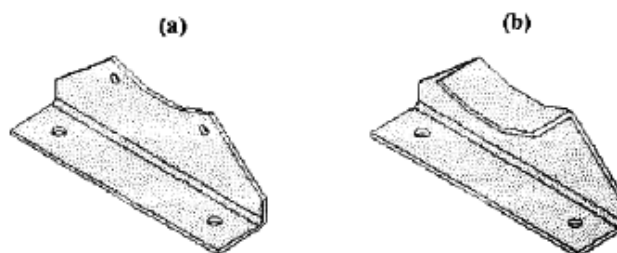
- (i) Con pedestal para artesa "U"
- (j) Con pedestal para artesa tubular
- (k) Con pedestal para artesa rectangular
- (l) Con pedestal para artesa ensanchada
- (m) De descarga al final para artesa tubular
- (n) De descarga al final para artesas "U" y rectangular
- (o) De descarga por el extremo para artesas "U" y rectangular
- (p) De descarga por el extremo para artesa ensanchada
- (q) Interior para artesa "U"

2.1.4.4 Soportes de artesa

Los soportes de artesa sirven de apoyo para los tramos de artesa evitando así la deflexión que pudiera existir al unir todos los tramos de artesa y obtener así la longitud de artesa requerida. (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Los hay de: "tipo asiento" para usarse en la parte intermedia de los tramos de artesa, va empernado al piso o base en su parte inferior, mientras que su parte superior se asienta el tramo de artesa soportado. Y de "tipo pie" usado para soportar un tramo de artesa por el extremo, va empernado al piso o base en su parte inferior, mientras que por la parte superior se emperna a un extremo del tramo de artesa soportado.

Figura 2.23 Tipos de soportes de artesa.



Fuente (Andreu, 2011).

- (a) Pie
- (b) Asiento

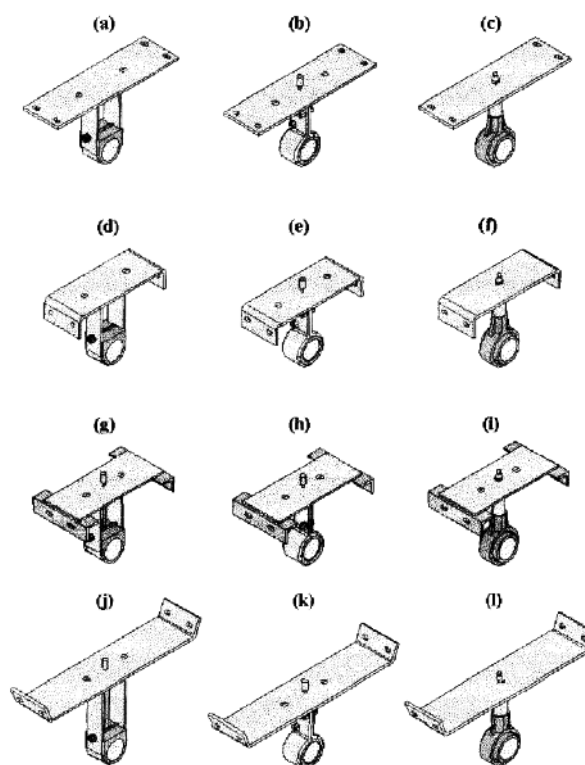
2.1.4.5 Soportes colgantes

Los soportes colgantes se usan cuando se tienen problemas con la deflexión en el tubo del Sinfín por causa de una gran longitud entre apoyos, en este caso es necesario dividir el Sinfín en varios tramos. Para esto se necesitan soportes colgantes intermedios. (MARKS, 1995).

El propósito de los colgantes es de proporcionar soporte intermedio cuando se utilizan secciones múltiples de helicoidales. Los colgantes se utilizan principalmente para cargas radiales. Por lo tanto, debe permitirse un espacio adecuado entre los colgantes y los extremos del tubo del Sinfín para prevenir daños por la carga de empuje que es transmitida a través del tubo del transportador.

Las recomendaciones para colgantes están enlistadas en la tabla de características de materiales son generalmente adecuados para el material a manejar. Sin embargo, en ocasiones características inusuales del material o condiciones bajo las cuales debe operar el transportador hacen necesario el uso de materiales especiales para colgantes y bujes. (MARTIN).

Figura 2.24 Tipos de soportes colgantes.

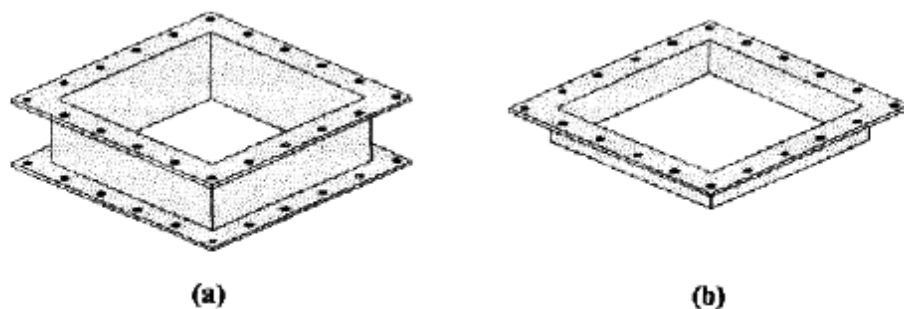


Fuente: (Andreu, 2011).

(a) 230U	(e) 226U	(i) 370U
(b) 220U	(f) 670U	(j) 216F
(c) 660U	(d) 216U	(g) 316U
(h) 326U	(k) 226F	(l) 670F

2.1.4.6 Entrada

La entrada es un dispositivo por donde ingresa el caudal de material a la artesa, por lo general es una boquilla o tramo de dueto soldado o empernado a la parte superior de la artesa de manera que el material proveniente de un proceso anterior sea colectado y caiga por gravedad hacia el interior de la artesa y sobre el Sinfín en movimiento. (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Figura 2.25 Tipos de entradas.**Fuente: (Andreu, 2011).**

(a) Desmontable

(b) Fija

Puede haber varias entradas con caudales diferentes, a lo largo del Sinfín según los requerimientos de la aplicación (configuración). Hay dos tipos de entradas con cejas disponibles para empernarse o soldarse a una cubierta de artesa de transportador plana o con ceja. El tamaño de la artesa y el arreglo de los pernos es el mismo que en la boquilla estándar de descarga del transportador.

2.1.4.7 Salida

La salida o descarga es un dispositivo por donde sale el caudal de material requerido, por lo general es una boquilla o tramo de ducto soldado o empernado en el fondo de la artesa y a una distancia respecto del o los puntos de carga, de manera que el material que viene de la entrada sea colectado y caiga por gravedad hacia un punto de descarga proyectado. Puede haber varias salidas con caudales diferentes, a lo largo del Sinfín según los requerimientos de la aplicación. En el apéndice J se muestran los modelos de las descargas estándares.

2.1.4.8 Compuertas

Las compuertas son dispositivos de descarga que se utilizan para controlar el flujo de salida del material en transportadores de Tornillo Sinfín que tienen varios puntos de descarga. Las compuertas de descarga de cremallera y piñón resistentes al polvo y al medio ambiente pueden ser adquiridas en placa plana o curva y son similares en construcción a las compuertas de cremallera y piñón excepto que la placa de cremallera y piñón están completamente encerrados en una cobertura. (Pino Eduardo Paúl, 2010)

Las compuertas de operación por aire son similares a las compuertas estándar de cremallera y piñón excepto que se operan con un cilindro de aire. La compuerta de operación con aire se utiliza para operaciones automáticas o de control remoto. Estas compuertas también pueden ser adquiridas en construcciones a prueba de polvo y del medio ambiente con el cilindro y la compuerta completamente encerrado dentro de la cobertura. En el apéndice K se muestran los modelos de las compuertas estándares.

2.1.5 COMPONENTES ESTÁNDARES

Son aquellos en los que resulta más factible conseguirlos en el mercado local que construirlos. (WAM INC., 2012).

Rodamientos: Reducen el desgaste por fricción de los asientos de los ejes del Sinfín en los soportes. Para las tapas laterales se usan chumaceras y para los colgantes se pueden usar bujes lubricados o no, según el material que se transporte. Diversos tipos de chumaceras en tapas están disponibles en el apéndice L y su selección depende de dos factores básicos: Carga radial y carga de empuje. Los valores relativos de estas cargas determinan los tipos de chumaceras en tapas. La carga radial del rodamiento en el extremo final del transportador de Tornillo Sinfín es despreciable. (SKF, 2007)

Motor: Puede ser eléctrico, mecánico o una moto reductora. Puede ir ubicado según la conveniencia de la aplicación y en cualquier posición.

Transmisión: El Sinfín gira debido a la potencia del motor, transmitida por una cadena, banda o moto reductora conectada a éste.

2.1.6 APLICACIONES

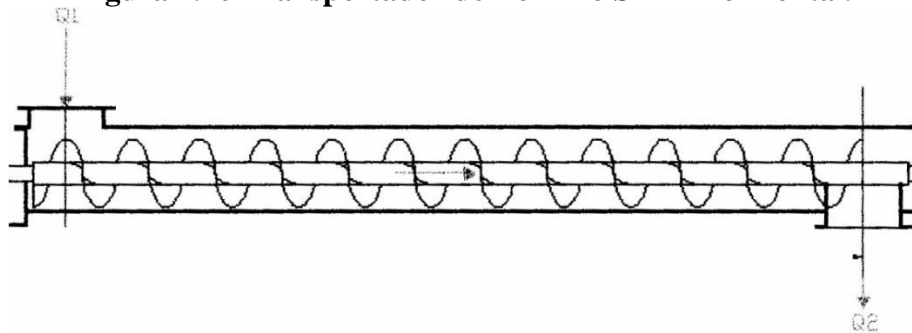
- **Materiales Corrosivos;** Los componentes pueden ser fabricados de aleaciones no afectados por el material o pueden ser cubiertos con sustancias de protección.
- **Materiales Contaminables;** Requieren del uso de bujes para colgantes impregnados en aceite, sellados o de tipo seco. Los extremos de los ejes deben estar sellados para prevenir la entrada de contaminantes del exterior. Debido a la necesidad de una limpieza frecuente, los componentes del transportador deben estar diseñados para un ensamblaje conveniente.
- **Materiales Abrasivos;** Estos materiales pueden ser manejados en transportadores, artesas fabricadas de aleaciones resistentes a la abrasidad con helicoidales de superficie endurecida. El recubrimiento con hule o con resinas especiales de todas las superficies expuestas también reduce materialmente el daño abrasivo.
- **Materiales de traba o de contacto;** La transportación con componentes estándares es en ocasiones posible utilizando mecanismos especiales de alimentación en la entrada del transportador.
- **Materiales Giroscópicos;** Frecuentemente estos materiales pueden ser manejados exitosamente en un transportador que se encuentre substancialmente sellado del ambiente exterior. En casos extremos es necesario proporcionar una artesa encamisada o con un medio de circulación adecuado para mantener el material a una temperatura elevada. También se

utiliza la purga del transportador con un gas seco adecuado en algunas instalaciones.

- **Materiales viscosos o pegajosos;** Los transportadores helicoidales de cinta son los más frecuentemente utilizados para transportar estos materiales aun cuando pueden recurrirse a componentes estándares para mejorar el flujo de material.
- **Vapores Dañinos o Polvo;** Estos materiales pueden ser manejados con seguridad en artesas selladas, artesas tubulares sencillas o en artesas tubulares con ceja y junta, prestando especial atención al sello de los ejes. Los sistemas de succión de artesa han sido utilizados exitosamente en algunas instalaciones.
- **Mezcla en Tránsito.;** Helicoide de cinta o con corte o unas combinaciones de estos tipos de helicoides pueden ser diseñados para producir el grado deseado de mezcla u oreo.
- **Polvos Explosivos;** El peligro de esta condición puede ser minimizado en la mayoría de las instalaciones utilizando componentes fabricados de materiales no féreos y si se siguen técnicas adecuadas de sellamiento de transportadores. También se recomiendan técnicas adecuadas de succión para remover polvos explosivos.
- **Materiales sujetos a Compactars;** Esta condición requiere el uso de mecanismos de oreo a la entrada del transportador cuando los materiales sean polvorientos y de un mecanismo especial de alimentación cuando las partículas de los materiales sean largas o fibrosas.

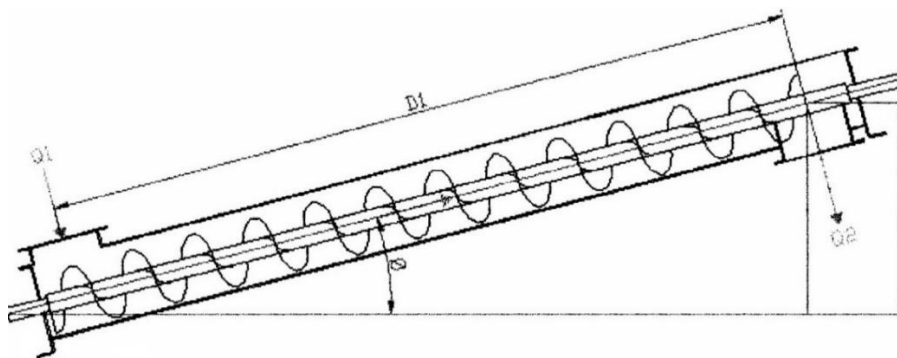
- **Materiales que sean líquidos cuando se Olean;** esta condición puede ser utilizada ventajosamente en algunas instalaciones declinando el sistema de transportador hacia el extremo de descarga.
- **Materiales Degradables;** Algunas partículas que se rompen o distorsionan fácilmente pueden ser manejadas en transportadores helicoidales reduciendo la velocidad y seleccionando un tamaño mayor de transportador que sea suficiente para entregar el volumen requerido de material.

Figura 2.26 Transportador de Tornillo Sinfín horizontal.



Fuente (Andreu, 2011).

Figura 2-27 Transportador de Tornillo Sinfín inclinado.



Fuente: (Andreu, 2011).

- **Temperatura Elevada;** Los componentes deben ser fabricados de aleaciones de alta temperatura. Si el proceso es tal que se permite el enfriamiento del material en el transportador, artesas encamisadas deben ser usadas en el

extremo de la entrada para enfriar el material y deben utilizarse componentes estándares después del punto donde la temperatura del material ha sido reducida a un grado seguro.

2.1.7 SELECCIÓN DE LA CONTRUCCION DEL TORNILLO SIN FIN

En todos los casos de selección, el primer paso esencial es decidir sobre la forma de patrón de extracción que el tornillo debe generar sobre la región de entrada de la caja. Para cualquier aplicación que requiera un tipo de extracción de flujo másico, el tornillo debe ser de tipo de extracción progresiva. Este tipo también es útil para todas las entradas largas. Incluso si el patrón de flujo en la tolva de suministro no tiene que ser un flujo másico, un tornillo que genera un flujo de entrada "vivo" en toda la longitud expuesta tiene muchas ventajas. Absorbe menos energía, ofrece más alimentación confiable, y evita cualquier problema posible de material estacionario que crece más firme para arquearse sobre el tornillo como resultado del desarrollo de la fuerza del plano de corte de la interfaz. (Bates, 2000, pág. 122).

El método más simple es utilizar variaciones de tono sobre la longitud. Se debe tener cuidado cuando los cambios son pequeños, para asegurar que su ajuste a lo largo del eje del tornillo no incluya ninguna sección donde el tono se reduzca. Esta costosa construcción de montaje las inclinaciones continuamente variables en un eje central ahusado solo están garantizadas para las aplicaciones más exigentes. Donde la naturaleza de la extracción es menos significativa, pero la región de entrada es de largo, una construcción escalonada graduada es relativamente económica y proporciona cualquiera de los beneficios de una construcción de tornillo completamente progresiva. Incluso un solo cambio es útil. Además de formar un canal de flujo adicional, la sección de paso más corta ofrece una mejor ventaja mecánica en la puesta en marcha y durante el

funcionamiento, y por lo tanto reduce la demanda de la potencia del disco. (Bates, 2000, pág. 122)

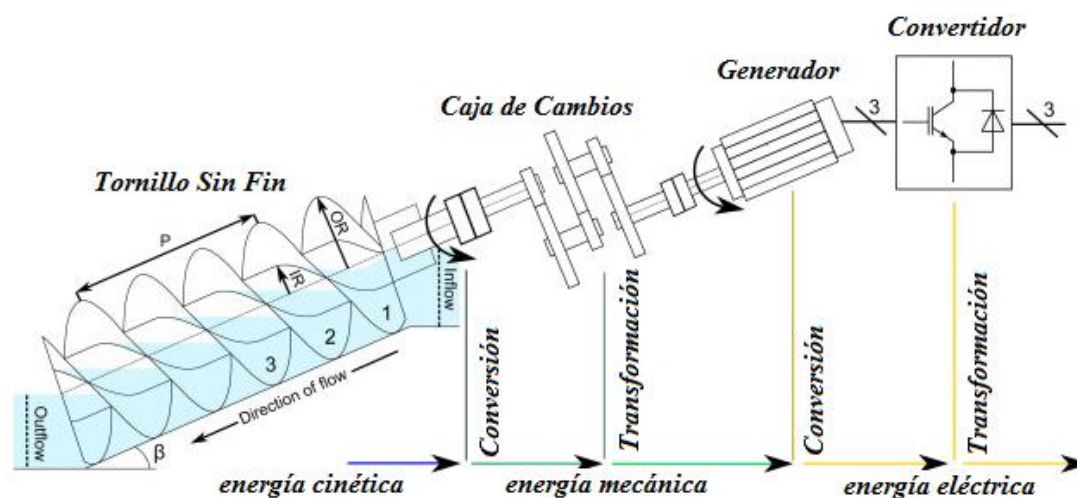
El uso de ejes centrales sólidos se limita principalmente a tornillos alimentadores cortos, porque los tubos ofrecen una mejor relación resistencia-peso para largos tramos. Los tamaños de eje de extremo se eligen para acomodar cargas de torsión y cizalladura, mientras que la condición de esfuerzo principal para el tubo central del tornillo es la de flexión rotativa. Los tornillos de uso regular rápidamente muestran el número de revoluciones para ponerlos en cifras en las clasificaciones de estrés de fatiga son relevante, por lo que deben tenerse en cuenta las irregularidades de la soldadura y concentradores de tensión incorporados en la construcción. (Bates, 2000, pág. 122).

2.1.8 EL MANEJO E INSTALACION DEL TORNILLO DE ARQUIMEDES

Las unidades para alimentadores de tornillo se pueden instalar en la ubicación más conveniente en cualquiera de los extremos de la carcasa. Puede estar directamente en línea para el acoplamiento, o montado en cajas de engranajes de eje hueco, por encima de la carcasa en el extremo de salida o debajo de la carcasa en el extremo de entrada para la cadena. Las fuerzas finales en el tornillo son usualmente acomodadas por la tensión en el tornillo, por lo tanto, la retención del eje la posición relativa a la carcasa se puede tomar por circlips o collares en el eje en el extremo de descarga, independientemente de la ubicación del accionamiento. Certificación de la rotación, cuando corresponda, debe tomarse desde el extremo del eje de descarga, para asegurar que la sección del tornillo esté funcionando. En el caso de unidades completamente cerradas, es una buena práctica indicar la dirección de rotación requerida del variador, particularmente cuando las cajas de transmisión de engranaje recto simple o triple revierten la rotación del motor desde la dirección del tornillo final. Las unidades eléctricas son, con mucho, la forma más común de unidad de potencia. Los motores hidráulicos ofrecen compactibilidad y variabilidad,

pero requieren una fuente de alimentación y deben dimensionarse según la capacidad máxima de par del tornillo, ya que tienen una capacidad de sobrecarga muy limitada. Esta función a veces se puede usar de forma ventajosa, como cuando se entrega a una región que puede bloquear o restringir la descarga. Mientras que un alimentador accionado eléctricamente no puede aceptar un bloqueo sostenido o una velocidad inhibida, un impulsor hidráulico con una liberación de presión adecuada puede hacerlo. Un impulsor hidráulico puede funcionar a la velocidad establecida, a cualquier velocidad restringida por la capacidad de despejar el tomacorriente, detenerse si la descarga está obstruida y luego funcionar a la velocidad preestablecida cuando se retira el sistema de retención. Tal instalación es invaluable en tareas tales como alimentadores de apilamiento para extrusoras, compactación a alta presión y para aplicaciones que están sujetas a obstrucciones de flujo errático de la salida del alimentador. Los motores neumáticos tienen un par de parada similar características, pero algunos tipos pueden ser sensibles a la carga y ejecutarse lenta o rápidamente de acuerdo con la resistencia del torque del tornillo. Un host de accionamiento eléctrico, mecánico e hidráulico de velocidad variable dispositivos están disponibles para controlar la velocidad del tornillo. El inversor ubicuo ofrece muchas características convenientes, sobre todo la instalación para ser montada en un área segura para los comederos en zonas peligrosas. Al igual que con los accionamientos hidráulicos, es la capacidad de sobrecarga es pequeña Los tamaños de marco generalmente se deducen para compensar la falta de enfriamiento del ventilador a baja velocidad de operación. Los ventiladores auxiliares pueden instalarse si se espera un uso prolongado y de baja velocidad.

Figura 2.28: Efecto de la inclinación pronunciada en el transporte en modo de gravedad.



Fuente: (Rohmer, Knittel, Sturtzer, & Flieller, 2016).

2.1.9 AGUAS DE RELAVES MINEROS

Se trata de gigantescos depósitos de desechos tóxicos que contienen arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro y químicos propios del procesamiento minero que se acumulan en millones de toneladas. Las consecuencias sobre la vida humana y el medioambiente que estos confinamientos de material contaminante producen son incalculables. A esto se suma que en nuestro país no existe una regulación estricta en relación al acopio de desechos de la industria extractiva.

2.1.9.1 Impacto ambiental y en la salud de la población

- a) *Contaminación de los cursos de agua:* El lavado de la grava aurífera a través de las canaletas genera que se aumente la turbulencia de los cauces de ríos. Esta turbidez se debe a la gran cantidad de finos en suspensión que antes de sedimentarse viajan con el cauce durante grandes distancias.

- b) *El agua turbia:* Impide que los rayos solares lleguen al fondo del río imposibilitando el desarrollo de plancton y otras plantas acuáticas, asimismo dificulta la difusión de moléculas de oxígeno a través de las branquias de los peces. La amalgamación y el bateado se realizan a las orillas de los cursos de agua ocasionando pérdidas que terminan por contaminarlos. El mercurio líquido se transforma en el agua en una serie de compuestos que son altamente tóxicos y que contaminan a los seres que viven en los ríos, como los peces, que luego pueden contaminar a su vez al ser humano.
- c) *El mercurio:* Se evapora durante el proceso de refogeo, sus moléculas suspendidas en la atmósfera se precipitan por acción de las lluvias y van a dar a los cursos de agua siguiendo la misma transformación que el mercurio líquido. Las aguas ácidas generadas por la minería actual o pasada resultan de la oxidación de minerales sulfurados principalmente pirita en presencia de aire, agua y bacterias. La pirita es uno de los sulfuros más comunes y abundantes asociados a mineralización hidrotermal y normalmente es parte de la ganga siendo incorporada en los desechos mineros (desmontes o relaves) y su oxidación produce ácido sulfúrico y óxidos de hierro. Las aguas ácidas atacan a otros minerales, produciendo soluciones que pueden acarrear elementos tóxicos al medio ambiente, Ej. cadmio o arsénico. La generación de aguas ácidas puede ocurrir durante la exploración, operación y cierre de una mina. Esta agua puede venir de tres fuentes principales: sistemas de desagüe de minas, tranques de relaves y desmontes. Estas descargas pueden producir desde algunos efectos menores como decoloración local de suelos y drenajes con precipitación de óxidos de Fe, o llegar a una extensa polución de sistemas de ríos y tierras de cultivo.

- a) *Contaminación por mercurio:* La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental que ocasiona la minería artesanal. El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y se viertan al medioambiente en forma líquida o se emanen sus gases libremente. Se estima que cada año se pierden alrededor de 15 toneladas en la zona de Puno (Mosquera, Trillo, y Luján, 1999). La contaminación con mercurio gaseoso ocurre durante el proceso de refogado, produciéndose la evaporación y liberación del mercurio. Se estima que cada año se libera 10 toneladas de mercurio en Puno.
- d) *Efectos sobre los suelos:* El movimiento de tierras que se efectúa durante la extracción de minerales puede llegar a convertirse en un serio problema por las alteraciones que genera en la topografía de una zona y en la capacidad de regeneración de la flora y fauna. En los ecosistemas de Rinconada, Cerro Lunar y Ananea, se observa que se ha dado una gran remoción de material en las laderas de los cerros y en el curso de los ríos. Lo anterior está contribuyendo a la erosión, con el consecuente peligro de derrumbes, y a la sedimentación de cursos de agua y desaparición de pantanos que antes eran espacios de pastoreo y de aves silvestres. En Madre de Dios, la minería aluvial de oro ya ha devastado más de 50 mil hectáreas de bosques, sin contar árboles muertos en pie, lagunas y pantanos destruidos. Además, el gran movimiento de tierras altera los sistemas de drenaje y produce pérdidas de hábitat para innumerables especies.

2.1.9.2 Tratamiento de aguas residuales de relaves mineros

El tratamiento de aguas de relaves mineros, tiene por objetivo la prevención de la contaminación de los cuerpos de agua y de los suelos, además de proteger la salud y promover el bienestar de los miembros de la empresa y de la población. Sólo es posible

en la medida que se utilicen las técnicas apropiadas de tratamiento y disposición del agua. (Kemmer, 1989).

El agua residual de relaves mineros se define como toda agua usada y los sólidos que debido a diferentes medios se introducen en las cloacas y son transportados por un sistema de alcantarillado. Existen tres tipos de aguas residuales que se clasifican según su procedencia como aguas residuales domésticas, municipales o industriales. (Romero, 1999).

Un tratamiento completo de efluentes garantiza la remoción de DQO, SS (sólidos suspendidos), agentes patógenos, nitrógeno y fósforo. Para lograr este objetivo son necesarias varias de operaciones unitarias y procesos que pueden resumirse en pre tratamiento, tratamiento primario, secundario, y terciario.

2.1.10 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

- *CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association):* Asociación Americana de Constructores de Equipos para Manejo de Materiales, Es una organización especializada en el manejo de fabricantes de cintas transportadoras y sistemas en América, que diseñan, producen e instalan todos los tipos de transporte de la maquinaria transportadoras, CEMA es considerado el recurso para los estándares dimensionales y de aplicaciones de seguridad transportadora, El propósito del CEMA es promover los intereses de la industria de transportadores en la estandarización del diseño, la seguridad, la fabricación y la aplicación de forma voluntaria, CEMA también patrocina una serie de publicaciones diseñadas para mejorar el intercambio de información en el campo de los equipos de transporte. El compromiso de CEMA con la seguridad se muestra a través de su desarrollo, impresión y distribución de una amplia gama de etiquetas de seguridad y folleto.
- *Desarenadores:* Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.
- *Efluente:* Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- *Eutroficación:* Acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino o en un lago, laguna, embalse.
- *Impacto ambiental:* Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.
- *Martin:* Empresa dedicada a la fabricación de la línea más completa en la industria de componentes y accesorios para manejo de materiales. Tiene en

existencia partes en acero al carbón, en acero inoxidable, galvanizadas y muchos otros artículos que para otros en la industria que son hechos sobre pedidos.

- *Proliferación:* Es la acción y efecto de proliferar. Este verbo refiere a multiplicarse con abundancia o a reproducirse en formas similares
- *Relave.* Es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga, aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en tranques o depósitos de relaves donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada mayoritariamente, y otra parte se evapora. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos.
- *Tanque de relaves:* Es una obra que se construye para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de beneficios de minerales, principalmente por flotación, los relaves están compuestos por material molido y agua con reactivos, está formado por un muro de contención, construida normalmente con la fracción gruesa del relave y en la cubeta los sólidos finos sedimentan y en la superficie se forma una laguna de aguas claras.

2.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Con el diseño del tornillo Sinfin es posible plantear la construcción e instalación del transportador requerido para evacuar aguas de relaves mineros de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.

2.2.1 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los parámetros requeridos inciden directamente en el diseño del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.
- Los parámetros calculados tienen influencia en el del diseño y selección del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.

CAPÍTULO III:

DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

Existen muy diversos tratados sobre las tipologías de la investigación, las controversias para aceptar las diferentes tipologías sugieren situaciones confusas en estilos, formas, enfoques y modalidades. En rigor, y desde un punto de vista semántico, los tipos son sistemas definidos para obtener el conocimiento. Algunos autores establecen diversas tipologías, una síntesis de los tipos mostrados por diferentes autores se presentan, con la intención de sistematizar y especificar el tipo de nuestro trabajo de Investigación:

Tabla 3.1 Tipo y Diseño de Investigación.

Según las variables:	Experimental. Cuasi experimental. Simple y compleja.
Según la fuente de información:	Investigación documental. Investigación de Campo.
Según la extensión del estudio:	Investigación censal. Investigación de caso. Encuesta
Según el nivel de medición y análisis de la información:	Investigación cuantitativa. Investigación cualitativa. Investigación cuali-cuantitativa. Investigación descriptiva. Investigación explicativa.
Según las técnicas de obtención de datos:	Investigación de alta y baja estructuración. Investigación participante. Investigación participativa. Investigación proyectiva. Investigación de alta o baja interferencia.
Según su ubicación temporal:	Investigación histórica. Investigación longitudinal o transversal Investigación dinámica o estática.
Según el objeto de estudio:	Investigación pura. Investigación aplicada.

Fuente: (Hernández SRY - Fernández CC - Baptista LP., 2011).

3.1.2 UBICACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.2.1 Ubicación

La ejecución del estudio se ha realizado en La Empresa Minera Sol Naciente S.R.L, se encuentra ubicada en el centro poblado menor de la Rinconada, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno, en las prolongaciones occidentales de los nevados de Ananea, pertenecientes a la cadena de Arizona o cordillera de Carabaya.

Los principales nevados están concentrados al noreste de la laguna la Rinconada y al este de la zona de estudio. Estas geformas se desarrollan entre los 4 800 a 5 850 m.s.n.m.

3.1.2.2 Zona Rinconada

La ciudad de Ananea cariñosamente llamada la CIUDAD DORADA DE LOS ANDES se encuentra en la provincia de San Antonio de Putina a una altitud de 4865 m.s.n.m. Se llega por carretera afirmada, está ubicada en el flanco sur-occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, limítrofe con la vecina Hermana República de Bolivia. El distrito fue creado un día 2 de Mayo de 1854 en ese entonces perteneciente a la Provincia de Azángaro; también perteneció posteriormente a la provincia de Sandia por ley N° 9965 (15 de Setiembre de 1944). Finalmente pertenece a la Provincia de San Antonio de Putina Por ley N° 25035 (12 Junio de 1989)

El Distrito de Ananea. Se encuentra a 4,865 metros sobre el nivel del mar. A 14 grados 40' '0" latitud sur y 69 grados 31' '6" longitud Oeste. Se encuentra entre los nevados de la Cordillera Oriental de los Andes. El nevado más importante es el Ananea (5852 msnm) a cuyas faldas se encuentran los asientos auríferos más importantes de la provincia y del departamento de Puno. Sus centros poblados son: la Rinconada, Lunar de Oro, Trapiche, Chuquine y Oriental. Sus comunidades más importantes son: Ananea,

Pampa blanca, Cajón Huyo, Casa Blanca, Belén, Trapiche, San Miguel, Chuquine, limata y Peña azul.

3.1.2.3 Accesibilidad

El acceso principal para llegar al yacimiento desde la ciudad de Puno es por la carretera asfaltada vía Puno – Juliaca, la ruta siguiente:

Figura 3.1 Accesibilidad para Llegar al Yacimiento.

ORIGEN	DESTINO	VÍA	DISTANCIA (KM)
Puno	Juliaca	Carretera asfaltada	45
Juliaca	Huancané	Carretera asfaltada	45
Huancané	Putina	Carretera asfaltada	45
Putina	Ananea	Carretera asfaltada	67
Ananea	Rinconada	Carretera asfaltada	12

Fuente (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

3.1.3 RECURSOS

3.1.3.1 Recursos naturales

En la zona de los recursos naturales, es una zona inhóspita, no existe nada por ser una zona extremadamente frígida, carecen de agricultura y de recursos naturales de mayor importancia por la presencia de los recursos minerales tales como el oro, recursos hídricos provenientes de los deshielos del glaciar para el consumo humano y para el tratamiento mineral en las plantas, este recurso es captado de las zonas más cercanas.

3.1.3.2 Recursos humanos

La zona cuenta con suficiente recursos humanos, así como los pobladores y aledaños a la zona, son netamente mineros, estos recursos no cuentan con personal calificado para la explotación en la mina, como por ejemplo técnicos de perforación o voladura, éstos realizan el trabajo en forma empírica, se obtiene personal en su gran mayoría de lugares aledaños como Ananea, Juliaca, Putina, Puno, sin embargo, también

se ve la presencia de personas provenientes de todo el Perú (Trujillo, Lima, Chiclayo, Arequipa, etc.), inclusive se ve tiene presencia de extranjeros provenientes generalmente de Bolivia.

3.1.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL

La actividad minera artesanal nunca fue un problema para la contaminación ambiental. Desde hace muchos años se ha practicado la actividad minera artesanal, esto quiere decir que la gente se trasladaba con su pico pala y su carretilla e iniciaban el lavado de tierras en las cascadas. Durante la época de lluvias para el sustento diario, ganando por jornadas diarias uno o dos gramos por persona, es así entonces que jamás se atentó contra los afluentes.

Pero hoy por hoy se ha visto que la gente al ver un desgobierno y no existiendo una política para este sector, se han organizado en cooperativas informales y han cambiado las carretillas con volquetes de 15 metros cúbicos las palas con cargadores frontales y las latas de agua con cisternas y los lavadores en el que se bateaba el oro se convirtió en un chute enorme con capacidad para lavar diariamente grandes cantidades de tierra a esto llamaríamos EXPLOTACIÓN INDUSTRIAL con maquinaria pesada Cargadores Frontales, Volquetes, cisternas utilizando para remover la tierras explosivos y lavar toda la tierra contaminando así, con el lodo, anfo, mercurio, cianuro, etc. sin importarles el daño ecológico que están causando y la completa degeneración del terreno en grandes aéreas mostrándose en forma de montículos y forados y esto solamente en dos años como será el terreno y la contaminación de aquí a 5 y 10 años nos imaginamos catastrófico y las cuencas lechosas y sin oxígeno los bebederos naturales de los animales y el hombre sin vida.

Es necesario y urgente, la Presencia del Estado para formalizar de una vez por todas este sector, es necesario de inmediato que todas estas cooperativas empiecen con la construcción de sus lagunas de sedimentación y así evitar de se siga contaminando.

La alteración de la calidad del aire en la mina es la presencia de partículas en suspensión durante la perforación e emisiones gaseosas de combustión de equipos de maquinarias. Los gases de combustión de los vehículos, maquinarias. Los gases de combustión de los vehículos, maquinarias y equipos que contienen mercurio y cianuro que podrían escapar del proceso de refogado y fundición afectarán la calidad de aire del entorno, incidiendo en la salud de los trabajadores y la población cercana.

El riesgo de contaminación sobre las aguas subterráneas de las capas freáticas por infiltración de afluentes líquidos con contenido de mercurio y cianuro provenientes de las operaciones de tratamiento.

El hecho cambia el equilibrio de las condiciones ambientales existentes, alteraciones que impactan fundamentalmente a la vegetación natural por las excavaciones siendo reemplazados por los recursos del suelo y la vegetación, incrementando la erosión y alterando la hidrobiología.

3.1.5 HISTORIA DEL YACIMIENTO

Los yacimientos de la Rinconada, ya se conocían desde la época de los incas, en el virreinato (1553), el sacerdote de la compañía de Jesuitas extrajo oro en menor escala. En la era Republicana (1830), los yacimientos auríferos de la zona fueron trabajados en menor escala por la familia Irigoyen luego en el año 1860, el Coronel Moya prefecto del departamento de Puno se hizo cargo del yacimiento, ya en 1864 el sabio Antonio Raymondi visitó la zona de los yacimientos de la Rinconada en busca del río Inanbari indicando que el oro encontrado en dicho río procedía de los yacimientos de la Rinconada y de la morrena de San Antonio de Poto.

Durante la guerra del pacífico (1879), la mina ha sido trabajado por las fuerzas invasoras posteriormente se sabe que trabajó la compañía Mining Company, quienes han construido el acceso hacia la mina, en los años de 1925 los herederos de Peña Prada se hicieron cargo de la mina por muchos años.

3.1.6 ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA

3.1.6.1 Base legal

a) Minería:

Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería. D.S. N° 014-92-EM

Reglamento de diversos títulos del TUO de la Ley General de Minería D.S. N° 03-94-EM

Ingreso Mínimo Minero D.S. N° 030-89-TR

Reglamento de Seguridad e Higiene Minera D.S. N° 046-2001-EM

Ley y reglamento de Formación Y Promoción De La Pequeña Minería Y La Minería Artesanal. Ley N° 27651 – 28315 – D.S. N° 013-2002-E.

Ley de Regalías Mineras. Ley N° 28323

Ley de Fiscalización de las actividades Mineras. Ley N° 27474.

Laboral:

TUO. De la Ley de Productividad y Competitividad Laboral. D.S. N° 003-97-TR

Ley de Gratificación de Fiestas Patrias y Navidad. Ley N° 27735.

TUO. De la Ley del Impuesto a la Renta D.S. N° 054-99-EF.

Ley de Modernización de la Seguridad Social en Salud. Ley N° 26790.

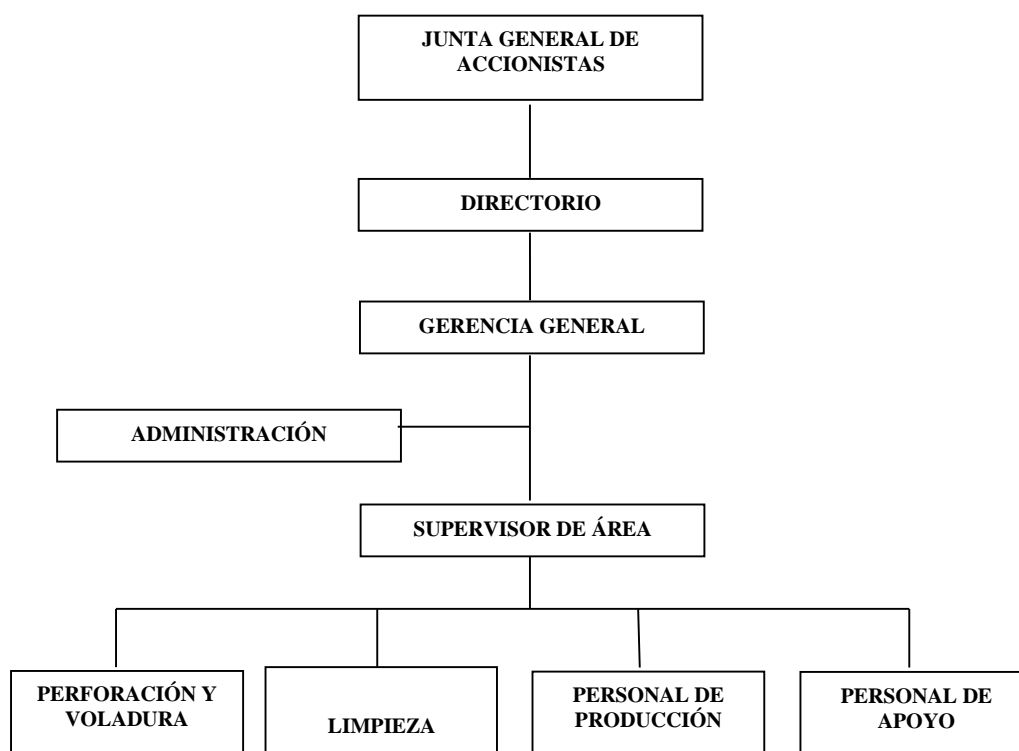
TUO de la Ley de Compensación por Tiempo de Servicios. D.S. N° 001-97-TR.

3.1.7 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

3.1.7.1 Organización y administración

La empresa minera es una Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L.), con un capital netamente privado, la estructura administrativa de la empresa es vertical, organizada por departamentos de acuerdo a las actividades y responsabilidades que estos cumplen; estando en la parte superior. Cabe resaltar que las empresas mineras de la Rinconada – Ananea por lo general no existe organización, siendo generalmente el diseño de los organigramas de acuerdo a las diferentes estructuras realizadas en producción.

Figura 3.2 Organigrama de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.



Fuente (Empresa Minera Sol Naciente S.R.L., 2016).

3.1.7.2 Técnicas e instrumentos para recolectar información

Los datos serán obtenidos de acuerdo a las siguientes actividades:

a) Determinación Parámetros Requeridos:

- Material a transportar.
- Capacidad requerida.
- Configuración de transporte.
- Paso del sinfín.
- Acción adicional del Sinfín.
- Temperatura del material a transportar.
- Tiempo de operación.

b) Determinación Parámetros Calculados

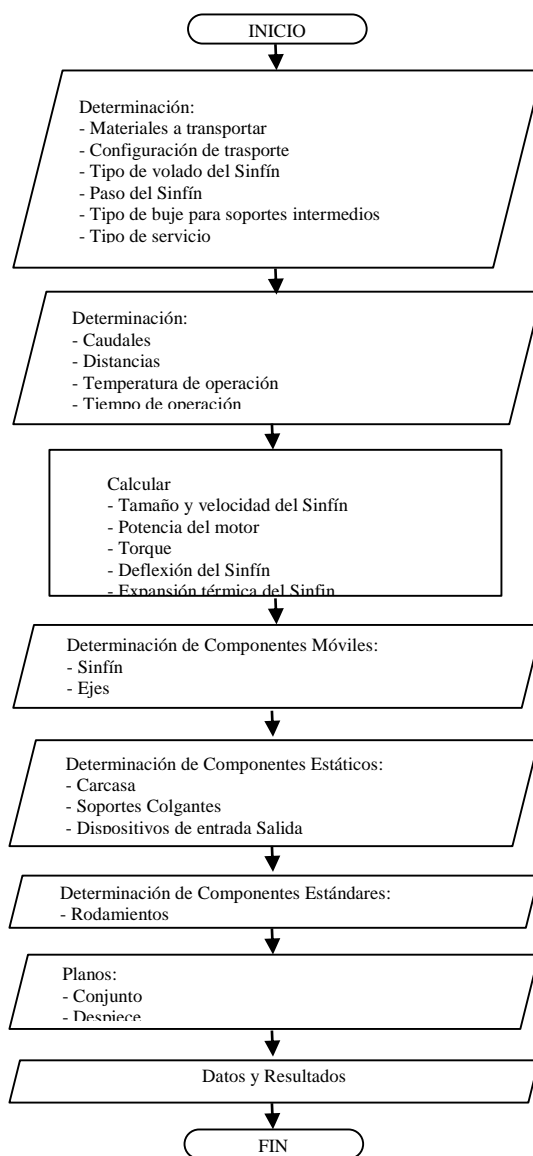
- Capacidad real.
- Diámetro del sinfín.
- Velocidad del transportador.
- Deflexión en el Sinfín.
- Expansión térmica.
- Potencia del motor.

3.1.8 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.1.8.1 TÉCNICAS

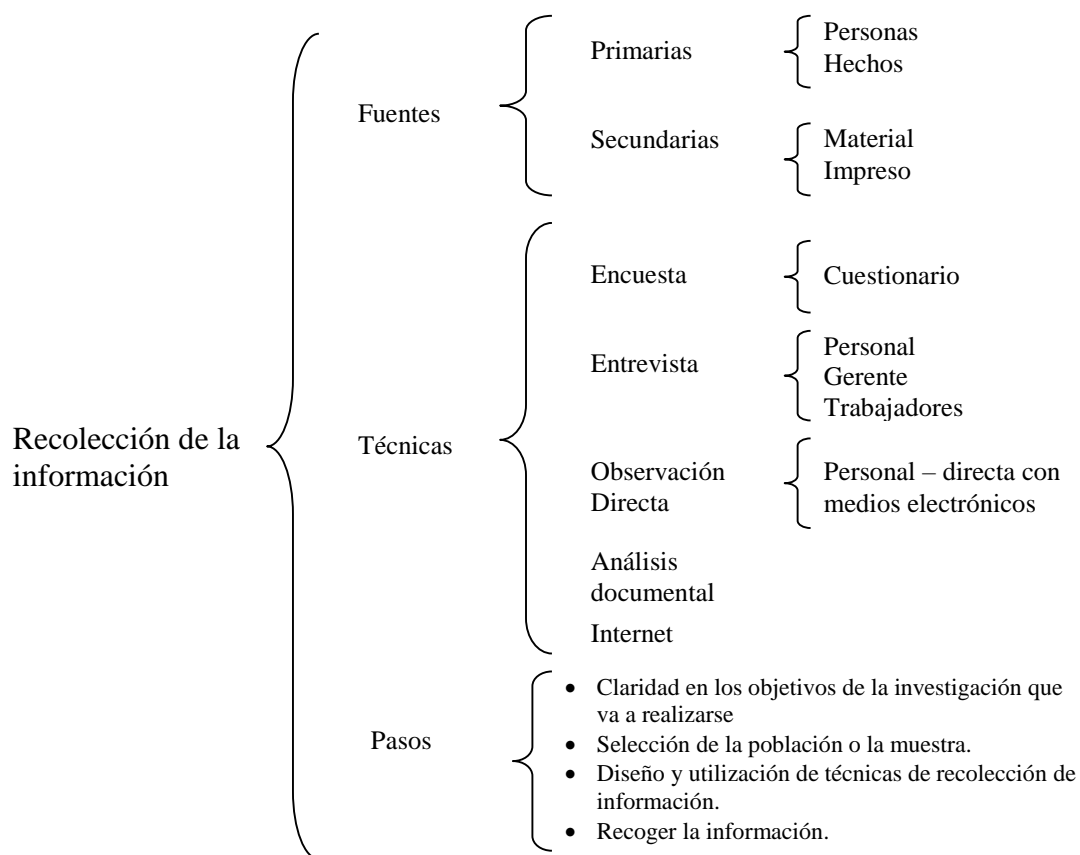
La técnica a utilizarse en la presente investigación es la observación de las variables independiente y dependiente y el registro de las mismas.

Figura 3.3 Flujograma de Actividades.



Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

Figura 3-4 Recolección de Información.



Fuente: (Hernández SRY - Fernández CC - Baptista LP., 2011).

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se detallan y exponen los resultados y análisis de la investigación que son producto del análisis de los datos efectuados y resúmenes de los datos recolectados. Determinar los parámetros requeridos para el diseño del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa. (Objetivo Esp. a)

Este punto está destinado para presentar la información técnica necesaria para diseñar y planear adecuadamente la aplicación del transportador de Tornillo Sinfin. Dicha información ha sido completada por la CEMA, (Conveyor Equipment Manufacturers Association) *Asociación Americana de Constructores de Equipos para Manejo de Materiales*, a partir de muchos años de experiencia en el diseño y aplicación exitosa, así como de los estándares de la industria. Estos parámetros a especificar o ingresar cuando el software lo requiera. Constituyendo el input o entrada de información del programa. Estos parámetros son: material a transportar, capacidad requerida, configuración del transportador, paso del Sinfin, tipo de acción adicional del Sinfin, Temperatura del material a transportar y tiempo de operación.

4.1 MATERIAL A TRANSPORTAR

Existe una gran variedad de materiales que se transportan con Tornillo Sinfin en las industrias, la CEMA, publica anualmente una tabla actualizada de estos materiales manejables con transportadores de Tornillo Sinfin. Dicha tabla detalla información sobre las características de materiales, para los cuales se han construido satisfactoriamente transportadores de Tornillo Sinfin. Esta información está encolumnada de la siguiente manera:

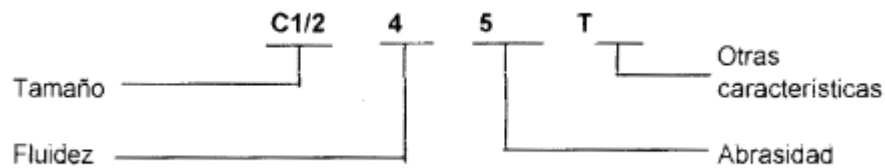
- Descripción del material, nombre común del material considerado.
- El peso específico del material, expresado en libras por pie cúbico.

- El código del material, es una codificación especial que hace CEMA para representar ciertas características de los materiales. Códigos que sirven para el diseño del transportador Sinfín, dependiendo del material a transportar.

Tabla 4-1 Características de material según CEMA.

		Características de material incluidas	Designación de código
Densidad	Densidad de volumen, Suelto		Actual Lbs/pie ³
Tamaño	Muy Fino	Malla No. 200 (0,0029") y por debajo	A200
		Malla No. 100 (0,0059") y por debajo	A100
		Malla No. 40 (0,016") y por debajo	A40
	Fino	Malla No. 6 (0,132") y por debajo	B6
	Granular	1/2" y por debajo (Malla 6 a 1/2")	C1/2
		3" y por debajo (1/2 a 3")	D3
		7" y por debajo (3" a 7")	D7
Trozos	16" y por debajo (0" a 16")	D16	
	Arriba de 162 a ser especificado X = Tamaño Máximo	DX	
Irregular	Fibroso, Cilíndrico, etc.	E	
Fluidez	Fluido muy libre		1
	Fluido libre		2
	Fluido promedio		3
	Fluido lento		4
Abrasividad	Abrasividad media		5
	Abrasividad moderada		6
	Abrasividad extrema		7
Propiedades Misceláneas o Peligros	Acumulación y endurecimiento		F
	Genera estática eléctrica		G
	Descomposición -Se deteriora en almacenamiento		H
	Flamabilidad		J
	Se vuelva plástico o tiende a suvisarce		K
	Muy polvoso		L
	Se orea y se convierte en fluido		M
	Explosividad		N
	Pegajoso - Adhesión		O
	Contaminable - Afecta Uso		P
	Degradable - Afecta Uso		Q
	Expide Humo 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	

Fuente (Martin, 2010).

Figura 4-1: Cómo leer el código CEMA de un material.

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010)

- Tipo de rodamiento intermedio recomendado, cuando se requieran utilizar colgantes a lo largo del trayecto del Sinfín, estos se emplean con rodamientos especiales, los cuales se representan con un código CEMA que puede ser: B, L, S o H. Cuya explicación se verá más adelante.
- Serie componente, la serie o grupo de componentes recomendados por CEMA es un número (de 1 a 3 para el software) que se utiliza como referencia para seleccionar de tablas estandarizadas, las diferentes partes en que está constituido el transportador Sinfín, y varía de acuerdo con el grado de exigencia del trabajo.
- Factor de material, que tiene que ver con la resistencia a fluir del material y se lo utiliza para el cálculo de la potencia requerida para mover la carga de material a transportar.
- Carga de artesa, es un factor que expresa el porcentaje de llenado adecuado de carga al corte transversal del transportador o el nivel de llenado de la artesa medido desde el fondo. Y que se va a mantener durante la operación a pleno régimen.

Tabla 4-2: Consideraciones del tamaño de partículas del material CEMA.

Máximo Tamaño de Partículas					
Diámetro del Sinfín pulg	Diámetro exterior del Tubo pulg	* Claro radial pulg	Clase I 10% Partículas Max. Tamaño pulg	Clase II 10% Partículas Max. Tamaño pulg	Clase III 10% Partículas Max. Tamaño pulg
6	2-3/8	2-5/16	1-1/4	3/4	1/2
9	2-3/8	3-3/16	2-1/4	1-1/2	3/4
9	2-7/8	3-9/16	2-1/4	2-1/2	3/4
12	2-7/8	5-1/16	2-3/4	2	1
12	3-1/2	4-3/4	2-3/4	2	1
12	4	4-1/2	2-3/4	2	1
14	3-1/2	5-3/4	3-1/4	2-1/2	1-1/4
14	4	5-1/2	2-1/2	1-1/4	1-1/4
16	4	6-1/2	3-3/4	2-3/4	1-1/2
16	4-1/2	6-1/4	3-3/4	2-3/4	1-1/2
18	4	7-1/2	4-1/4	3	1-3/4
18	4-1/2	7-1/2	4-1/4	3	1-3/4
20	4	8-1/2	4-3/4	2-1/2	2
20	4-1/2	8-1/4	4-3/4	3-1/2	2
24	4 1/2	10-1/4	6	3-3/4	2-1/2
30	4-1/2	13-1/4	8	5	3

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.1.1 CAPACIDAD REQUERIDA

Es el gasto volumétrico por unidad de tiempo (caudal) que se necesita transportar desde el punto de carga (entrada) hasta el punto de salida (descarga). La capacidad deberá ser expresada en toneladas por hora y es el valor máximo requerido por el proceso (no el valor promedio). Esta capacidad requerida se emplea en los cálculos de la velocidad y de la potencia.

Cuando se diseña un transportador con una configuración tal que posea varias entradas y salidas, cada entrada y salida puede tener un caudal distinto de material, pero la suma de los caudales de entrada siempre será igual a la suma de los caudales de salida y éste mismo valor será la capacidad requerida de material para esa configuración de Sinfín.

La capacidad máxima calculada o capacidad equivalente deberá ser mayor que la capacidad requerida, pues esta considera factores experimentales de diseño. La capacidad

máxima que puede manejar un transportador de Tornillo Sinfín estándar es de 16400 pies cúbicos por hora.

4.1.2 CONFIGURACIÓN DE TRANSPORTE

Para el cálculo y diseño del transportador es necesario definir la trayectoria del recorrido del material a transportarse, así como el número de puntos de carga y de descarga del mismo. Consideraremos las 4 configuraciones básicas de transportadores de Tornillo Sinfín, con las que podremos resolver la mayoría de los problemas de transporte de material y fluidos. Estas configuraciones son:

- a) **Configuración 1;** Sinfín (horizontal), 1 sentido de flujo, 1 entrada (extremo) y 3 salidas.
- b) **Configuración 2;** Sinfín (horizontal), 1 sentido de flujo, 3 entradas y 1 salida (extremo).
- c) **Configuración 3;** Sinfín (horizontal) 1 sentido de flujo, 1 entrada y 1 salida.
- d) **Configuración 4;** Sinfín (inclinado) 1 sentido de flujo, 1 entrada y 1 salida.

El transporte de un material o fluido de un punto geográfico a otro, requiere de cierta información para ser orientado tales como:

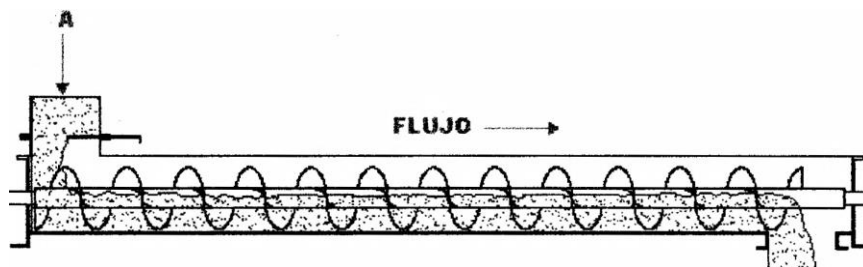
- El número y ubicación de los puntos de carga (Máximo 3).
- El número y ubicación de los puntos de descarga (Máximo 3).
- La distancia a la cual el material será transportado (máximo 400 pies).
- El ángulo de inclinación de la línea que une el punto de partida al de llegada del material (Máximo 60 grados para transportadores inclinados).

4.1.2.1 El paso del sinfín

El paso en un Sinfín es la distancia que existe entre los picos de dos espiras consecutivas o el desplazamiento lineal (avance del tornillo) que consigue una partícula

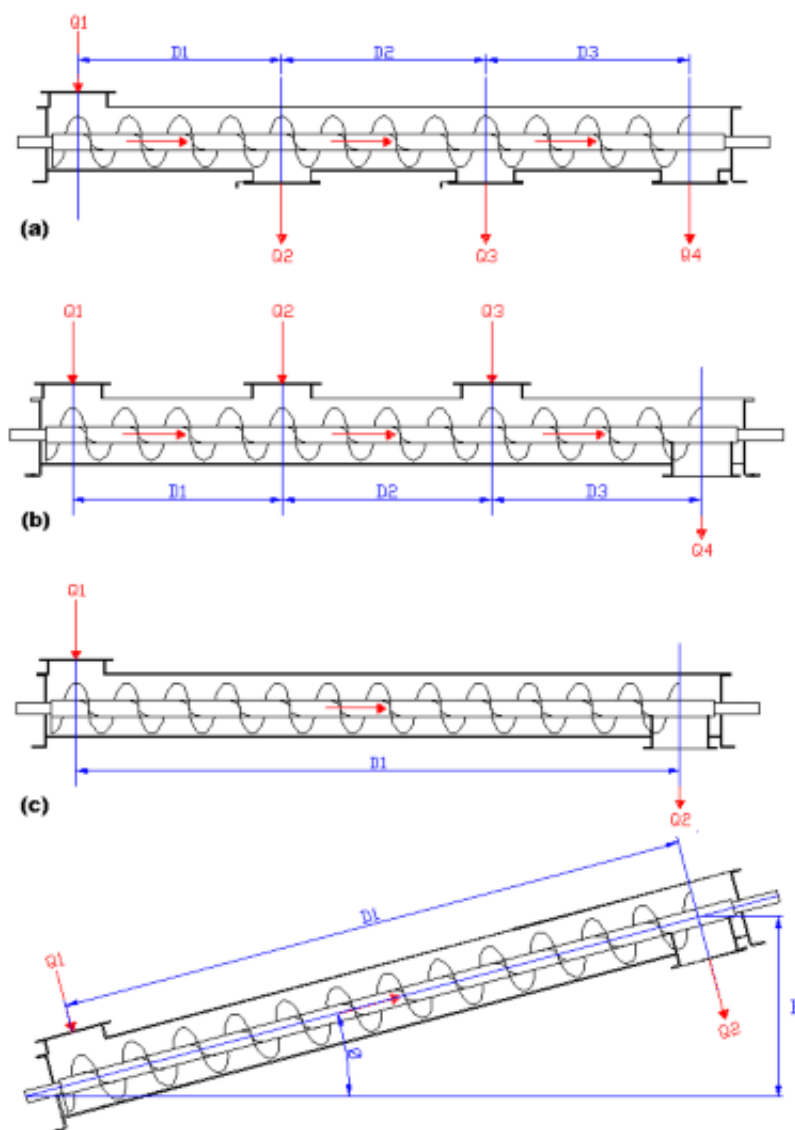
del material en tránsito al seguir una trayectoria helicoidal 360 grados (1 vuelta completa).

Figura 4-2: Transporte de material a través de un Tornillo Sinfín.



Fuente (Andreu, 2011).

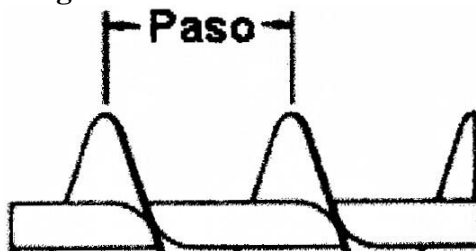
Figura 4-2 Configuraciones de transportador posibles.



Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

- (a) Horizontal, con 1 entrada y 3 salidas.
- (b) Horizontal, con 3 entradas y 1 salida.
- (c) Horizontal, con 1 entrada y 1 salida.
- (d) Inclinado, con 1 entrada y 1 salida.

Figura 4-3 Paso de un Sinfín.



Fuente (Andreu, 2011).

4.1.2.2 Acción adicional del sinfín

El helicoide o volado (flight) en un Tornillo Sinfín, es el elemento rígido que forma o sigue la trayectoria helicoidal. Un transportador de Tornillo Sinfín dependiendo del tipo de volado puede ejercer las siguientes acciones sobre un material en tránsito:

- Para sólo transportar: Sinfín con espiras estándares.
- Para transportar y Mezclar: Sinfín con espiras recortadas, Sinfín con espiras recortadas y dobladas, Sinfín de cinta, Sinfín estándar con paletas, Sinfín de paletas.

Tabla 4-3: Factor de Capacidad CF1.

Factor de Capacidad del Transportador con Paso Especial (Fp)		
Paso	Descripción	Fp
Estándar	Paso = Diámetro del Sinfín	1,00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro del Sinfín	1,50
Medio	Paso = 1/2 Diámetro del Sinfín	2,00
Largo	Paso = 1-1/2 Diámetro del Sinfín	0,67

Fuente: (Martin, 2010).

Tabla 4-4: Factor de Capacidad CF2.

Factor de Capacidad del Transportador con Helicoide Especial			
Tipo de Helicoide	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoide con Corte	1,95	1,57	1,43
Helicoide con Corte y Doblez	NR*	3,75	2,54
Helicoide de Cinta	1,0	1,37	1,6

Fuente: (Martin, 2010).

Tabla 4-5: Factor de Capacidad CF3.

Capacidad de Transportador Especial con Paletas Mezcladoras					
Paletas Estándar de Paso Invertido a 45	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor (CF3)	1,0	1,08	1,16	1,24	1,32

Fuente: (Martin, 2010).

4.1.2.2 Temperatura del material a transportar

Es la temperatura máxima con la que ingresa el material y la mantiene durante su trayecto por el Sinfín, e influirá en el cálculo de la expansión térmica y posterior selección de los componentes.

4.1.2.3 Tiempo de operación

Es el tiempo promedio en horas al día en que se utiliza el Sinfín, este parámetro es importante para clasificar los rangos de trabajo del tipo de transmisión utilizada, teniendo tres clases a analizar:

- a) **Clase I;** Carga constante no excede la capacidad normal del motor y cargas de choque ligeras son manejables durante 10 horas en un día. Cargas de choque moderadas son permitidas si la operación es intermitente.
- b) **Clase II;** Carga constante no excede la capacidad normal del motor por encima de las 10 horas en un día. Cargas de choque moderadas son permitidas durante 10 horas en un día.

- c) **Clase III;** Cargas de choque moderadas por encima de las 10 horas en un día. Cargas de choque pesadas son permitidas durante 10 horas en un día. Estableciendo el tipo de trabajo que va a desempeñar el transportador y los parámetros encontrados anteriormente podemos encontrar el tipo de clase de la transmisión para nuestro transportador.

Determinar los parámetros calculados para el diseño del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa. (Objetivo Esp. b)

En este punto se describen los "parámetros calculados" para el diseño y selección del transportador de Tornillo Sinfín a partir de los "parámetros requeridos" descritos en el punto anterior. Parámetros calculados tales como: velocidad necesaria, potencia, torque, deflexión en el Sinfin y la expansión térmica.

4.1.2.4 Capacidad real

Conociendo la capacidad requerida (pie³/h), calculamos la capacidad real o equivalente (CS) con la siguiente fórmula:

$$CS = (Capacidad\ requerida)(Cf1)(Cf2)(Cf3) \quad (4.1)$$

Donde:

- El factor $Cf1$ se refiere al paso del helicoidal.
- El factor $Cf2$ se refiere al tipo del helicoidal.
- El factor $CF3$ se aplica cuando el helicoidal lleva paletas o remos.

4.1.2.5 Diámetro del sinfín

Para determinar el diámetro y la velocidad de un transportador helicoidal es necesario en primer lugar establecer el número de código del material a transportar. Se verá a continuación que este número de código controla la carga al corte transversal que debe ser utilizada. Las diversas cargas al corte transversal, son para transportadores

estandarizados y deben usarse con los componentes descritos y tabulados, la operación de transporte está controlada con alimentadores volumétricos o donde el material sea uniformemente alimentado a la cubierta del transportador y descargado de él (carga uniforme). Se tienen que revisar las limitaciones de tamaño de partículas antes de escoger el diámetro del transportador. Conociendo la carga del material en la sección transversal de la artesa (% de carga), en la zona de "carga de artesa" correspondiente y nos proporciona los siguientes datos:

- Diámetro del Sinfín.
- Capacidad a 1 rpm.
- Capacidad a máximas rpm.
- Máximas rpm recomendados.

Para seleccionar uno de los transportadores enlistados, buscamos en la columna de "Capacidad a máximas rpm", aquel valor mayor o igual al de la "Capacidad real" anteriormente calculada, y en esa fila obtendremos el diámetro del Sinfín recomendado. Obtenemos en estas tablas características del transportador como el diámetro de los ejes, el Sinfín que debe emplearse y los espesores de artesa y cubierta recomendados. Estos valores serán encontrados satisfactoriamente para casi todas las aplicaciones. En estas tablas están tabulados los transportadores probados y recomendados por CEMA, y calificados como estándares para la industria, con tamaños que van desde 4 pulgadas el mínimo, hasta los más grandes de 24 pulgadas. Mayores tamaños serán considerados casos especiales.

4.1.2.6 Velocidad del transportador

Una vez obtenida la capacidad real del material (pie^3/h), para transportadores de Tornillo Sinfín con helicoidales que tengan espirales de paso estándar, la velocidad del transportador puede ser calculada de la siguiente manera:

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{Capacidad a 1 rpm}} \tag{4.2}$$

Figura 4-4 Capacidades de transportadores de tornillo Sinfín.

Carga en la artesa	Diámetro del Sinfín pulg	Capacidad en pie ³ /h (Paso estandar)		Max. rpm recomendadas	
		A 1 rpm	A max. rpm		
15%		4	0,21	15	72
		6	0,75	45	70
		9	2,72	150	75
		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
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
30%B		4	0,41	29	72
		6	1,49	90	60
		9	5,45	300	55
		10	7,60	418	55
		12	12,90	645	50
		14	20,80	1040	50
		16	31,20	1400	45
		18	45,00	2025	45
		20	62,80	2500	40
45%		4	0,62	114	184
		6	2,23	368	165
		9	8,20	1270	155
		10	11,40	1710	150
		12	19,40	2820	145
		14	31,20	4370	140
		16	46,70	6060	130
		18	67,60	8120	120
		20	93,70	10300	110
24	164,00	16400	100		

Fuente: (Martin, 2010).

Tabla 4-6 Componentes Grupo 1

Ø Sinfin pulg	Ø Eje pulg	Código del Sinfin		Espesor	
		Volado Helicoidal	Volado Seccional	Artesa	Cubierta
6	1-1/2	6H304	6S307	16 cal	16 cal
9	1-1/2	9H306	9S307	14 cal	14 cal
9	2	9H406	9S407	14 cal	14 cal
12	2	12H408	12S409	12 cal	14 cal
12	2-7/16	12H508	12S509	12 cal	14 cal
14	2-7/16	14H508	14S509	12 cal	14 cal
16	3	16H610	16S612	12 cal	14 cal
18	3	-	18S612	10 cal	14 cal
20	3	-	20S612	10 cal	14 cal
24	3-7/16	-	24S712	10 cal	14 cal
30	3-7/16	-	30S712	10 cal	14 cal

Fuente: (Martin, 2010)

Tabla 4-7 Componentes Grupo 1I.

Ø Sinfin pulg	Ø Eje pulg	Código del Sinfin		Espesor	
		Volado Helicoidal	Volado Seccional	Artesa	Cubierta
6	1-1/2	6H308	6S309	14 cal	16 cal
9	1-1/2	9H312	9S309	10 cal	14 cal
9	2	9H412	9S409	10 cal	14 cal
12	2	12H412	12S412	3/16 pulg	14 cal
12	2-7/16	12H512	12S512	3/16 pulg	14 cal
12	3	12H614	12S616	3/16 pulg	14 cal
14	2-7/16	-	14S512	3/16 pulg	14 cal
14	3	14H614	14S616	3/16 pulg	14 cal
16	3	16H614	16S616	3/16 pulg	14 cal
18	3	-	18S616	3/16 pulg	14 cal
20	3	-	20S616	3/16 pulg	14 cal
24	3-7/16	-	24S716	3/16 pulg	14 cal
30	3-7/16	-	30S716	3/16 pulg	14 cal

Fuente: (Martin, 2010).

Para calcular la velocidad del transportador donde se utilicen tipos especiales de helicoidales, tales como helicoidales de paso corto, helicoidales con espira recortada y doblada y helicoidales de cinta, etc., debe utilizarse una capacidad requerida equivalente (CS), basada en los factores.

$$N = \frac{SC}{\text{Capacidad a 1 rpm}} \tag{4.3}$$

Tabla 4-8 Componentes Grupo III.

Ø Sinfín pulg	Ø Eje pulg	Código del Sinfín		Espesor	
		Volado Helicoidal	Volado Seccional	Artesa	Cubierta
6	1-1/2	6H312	6S312	10 cal	16 cal
9	1-1/2	9H312	9S312	3/16 pulg	14 cal
9	2	9H414	9S416	3/16 pulg	14 cal
12	2	12H412	12S412	1/4 pulg	14 cal
12	2-7/16	12H512	12S512	1/4 pulg	14 cal
12	3	12H614	12S616	1/4 pulg	14 cal
14	3	-	14S624	1/4 pulg	14 cal
16	3	-	16S624	1/4 pulg	14 cal
18	3	-	18S624	1/4 pulg	12 cal
20	3	-	20S624	1/4 pulg	12 cal
24	3-7/16	-	24S724	1/4 pulg	12 cal
30	3-7/16	-	30S724	1/4 pulg	12 cal

Fuente: (Martín, 2010).

4.1.2.7 Deflexión en el sinfín

Cuando se utilicen secciones del Sinfín de tamaño estándar, la deflexión no es un problema. No obstante, Cuando sea necesario utilizar secciones más largas que los estándares y sin usar colgantes intermedios, hay que tener cuidado que, por efecto de una deflexión excesiva, el volado del Sinfín haga contacto o roce con el fondo de la artesa, ya que ocasionaría un gran desgaste en ambas piezas.

La deflexión en la longitud media de un Sinfín puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{5(W)(L)^3}{384(E)(I)} \tag{4.3}$$

Donde:

D: la deflexión en longitud media.

W: Peso total del helicoide (libs.).

L: Longitud del helicoide (pulg.).

I: Momento de inercia del tubo (pulg⁴).

E: Modulo de elasticidad del material Sinfin (psi).

Tabla 4-9 Momento de Inercia de Tubos.

Tubo cédula 40									
Tamaño (pulg)	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"	5"	6"	8"	10"
I (pulg ⁴)	0,67	1,53	3,02	4,79	7,23	15,2	28,1	72,5	161
Tubo cédula 40									
Tamaño (pulg)	2"	2-1/2"	3"	3-1/2"	4"	5"	6"	8"	10"
I (pulg ⁴)	0,87	1,92	3,89	6,28	9,61	20,7	40,5	106	212

Fuente (Martin, 2010).

Tabla 4-10 Tamaños y pesos estándares de tubos.

Diámetro Nominal pulg	Diámetro Exterior pulg	I.P.S. Cédula	Espesor de Pared pulg	Diámetro Interior pulg	Peso Lbs/pie
2	2,375	5S	0,065	2,245	1,604
		10S	0,109	2,157	2,638
		40 40S Std.	0,154	2,067	3,653
		80 80S Ex.Hvy.	0,218	1,939	5,022
2-1/2	2,875	5S	0,083	2,709	2,475
		10S	0,12	2,635	3,531
		40 40S Std.	0,203	2,469	5,793
		80 80S Ex.Hvy.	0,276	2,323	7,661
3	3,500	5S	0,083	3,334	3,029
		10S	0,12	3,260	4,332
		40 40S Est.	0,216	3,068	7,576
		80 80S Ex.Hvy.	0,3	2,900	10,25
3-1/2	4,000	5S	0,083	3,834	3,472
		10S	0,12	3,760	4,973
		40 40S Std.	0,226	3,548	9,109
		80 80S Ex.Hvy.	0,318	3,364	12,5
4	4,500	5S	0,083	4,334	3,915
		10S	0,12	4,260	5,613
		40 40S Est.	0,237	4,026	10,79
		80 80S Ex.Hvy.	0,337	3,826	14,98

Fuente (Martin, 2010).

4.1.2.8 Expansión térmica

Los transportadores de Tornillo Sinfín en ocasiones se emplean para transportar materiales calientes, lo cual provocará en este una expansión térmica. A medida que se transporta el material caliente, aumenta la temperatura en el transportador, haciendo que el tamaño del Sinfín y de la artesa se incremente y cause un aplastamiento o deformación permanente en sus componentes.

La práctica general recomendada es proporcionar soportes para la artesa y tapas de los extremos de tal manera que permitan el libre movimiento del transportador durante la expansión térmica y la subsecuente contracción de la artesa y sinfín al finalizar el transporte de dicho material caliente. El extremo de la transmisión del transportador está generalmente fijo permitiendo que la artesa se expanda o contraiga hacia el otro extremo. Pero esto es un problema cuando existen entradas intermedias o boquillas de descarga que no pueden moverse, entonces se requiere de artesas especiales tipo expansión.

Además, el Sinfín puede expandirse o contraerse a distinta proporción que la artesa. En este caso se recomienda usar colgantes tipo expansión. Además, el extremo de la artesa opuesta a la transmisión debe tener un rodamiento de rodillo o de bola tipo expansión o un rodamiento de collar que proporcionara suficiente movimiento.

El cambio en la longitud del transportador helicoidal puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$DL = (L)(T1 - T2)(C) \quad (4.3)$$

Donde:

- DL = Incremento en el cambio de longitud (pulg).
- L = Longitud total del transportador (pulg).
- T1= Límite superior de temperatura (°F).

- T_2 = Límite inferior de temperatura ($^{\circ}F$). (Mínima temperatura ambiente esperada).
- C = Coeficiente de expansión lineal ($1/^{\circ}F$).

Para los siguientes materiales:

- a) Acero al carbono rolado en caliente. $C = 0.0000065$ ($1/^{\circ}F$).
- b) Acero inoxidable. $C = 0.0000099$ ($1/^{\circ}F$).
- c) Aluminio. $C = 0.0000128$ ($1/^{\circ}F$).

4.1.2.9 Potencia del motor

La potencia requerida para operar un transportador de Tornillo Sinfín horizontal se basa en la configuración y carga uniforme del mismo. Los factores siguientes determinan el requisito de potencia de un transportador Sinfín que opera bajo estas condiciones:

- CS = Capacidad real en (pie^3/h).
- et = Factor de eficiencia de la transmisión.
- F_b = Factor de rodamiento intermedio.
- F_d = Factor de diámetro del Sinfín.
- F_f = Factor de helicoidal del Sinfín.
- F_m = Factor de Material.
- F_p = Factor de paletas del Sinfín.
- F_o = Factor de sobrecarga.
- L = Longitud Total del Sinfín (pie).
- N = velocidad (rpm).
- W = Peso de material (pulg / pie^3).
- HP_f = Potencia para operar en vacío (HP).
- HP_m = Potencia para mover el material en plano horizontal (HP).

- HPlift = Potencia para mover el material en plano inclinado (Hp).
- H = Altura de inclinación (pies).
- HP = Potencia total (Hp).

Los requisitos de potencia (HP) son la suma total de la potencia necesaria para superar la fricción (HPf) de los componentes transportadores y potencia requerida para transportar el material (HPm) multiplicado por el factor de sobrecarga de potencia (Fo) y dividido por factor de eficiencia de la transmisión seleccionada (et), expresado de la siguiente manera:

$$HPf = \frac{(Fd)(Fb)(L)(N)}{1.000.000} \tag{4.4}$$

Tabla 4-11 Selección de buje para colgantes.

Grupo de Buje	Tipo de Buje	Material Recomendado para Ejes de Acoplamiento **	Max. Temp. de Operación Recomendada	Fb
B	Bolas (Rodamientos)	Estándar	225 y 270 °F	1,0
L	Bronce	Estándar	300 °F	1,7
S	Bronce Martin*	Estándar	850 °F	2,0
	Bronce Grafito	Estándar	500 °F	
	Bronce Impregnado en Aceite	Estándar	200 °F	
	Madera Impregnada en Aceite	Estándar	160 °F	
	Nylatrón	Estándar	250 °F	
	Nylon	Estándar	160 °F	
	Teflón	Estándar	250 °F	
	UHMW	Estándar	225 °F	
Melanine (MCB)	Estándar	250 °F		
H	Hierro Duro Martin*	Endurecido	500 °F	3,4
	Hierro Duro	Endurecido	500 °F	4,4
	Superficie endurecida	Endurecido o especial	500 °F	
	Estelita	Especial	500 °F	

Fuente (Martin, 2010).

Tabla 4-12 Factor de diámetro Fd.

Diámetro del Sinfín pulg	Factor Fd
4	12
6	18
9	31
10	37
12	55
14	78
16	106
18	135
20	165
24	235
30	300

Fuente (Martin, 2010).

Tabla 4-13 Factor de potencia de tipo helicoides Ff.

Tipo de Helicoide	Carga del Transportador			
	15%	30%	45%	95%
Helicoide Estándar	1,00	1,00	1,00	1,00
Helicoide con Corte	1,10	1,15	1,20	1,30
Helicoide con Corte y Doblez	NR	1,50	1,70	2,20
Helicoide de Cinta	1,05	1,14	1,20	-
NR = No recomendado				

Fuente (Martin, 2010).

Tabla 4-14 Factor de potencia por paletas Fp.

Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	0	1	2	3	4
Factor de Paleta (Fp)	1,00	1,29	1,58	1,87	2,16

Fuente (Martin, 2010).

Tabla 4-15 Factor de transmisión et.

Transmision de Sinfín o montada en eje con transmisión de banda V	Transmisión de Banda V a Engrane Helicoidal y Acoplamiento	Motoreductor con Acoplamiento	Motoreductor con Transmisión de Cadena	Engranaje Sinfín
0,88	0,87	0,95	0,87	Consulte a fabricante

Fuente (Martin, 2010).

$$H_{pm} = \frac{(F_f)(F_p)(L)(F_m)(W)(C)}{1.000.00} \quad (4.5)$$

$$HP = HP_f + HP_m \quad (4.6)$$

Un factor de sobrecargar F_o , es utilizado para corregir la potencia calculada HP si esta es menor que 5, este factor es utilizado para prevenir cualquier sobrecarga en motores pequeños (menores a 5 hp).

$$HP = HP_f + HP_m \times F_o / \eta \quad (4.7)$$

Los transportadores Sinfín horizontales se pueden emplear para aplicaciones inclinadas hasta de 25 grados de inclinación, pero se recomienda utilizar solo hasta 15 grados. Los diseños de transportadores inclinados se pueden obtener hasta 25 grados, para mayores inclinaciones, se utilizan transportadores verticales.

Para calcular la potencia aproximada en un transportador inclinado se utiliza el siguiente método:

- a) Se calculó la potencia como si se tratara de un transportador horizontal.
- b) Se calculó la potencia para levantar el material hasta la altura de inclinación H de la siguiente manera.

$$HP_{lift} = \frac{(H)(W)(C)}{33000(60)} \quad (4.8)$$

- c) Estimar un valor adicional de potencia HP extra para prevenir el decrecimiento en la eficiencia del transporte, debido a la extra agitación y vibración del material en tránsito, obviamente este valor variara de acuerdo al material a transportarse y es de acuerdo a la experiencia.
- d) Sumar las potencias obtenidas en los pasos (a) (b) y (c).
- e) Dividir el total del paso (d) para la eficiencia del motor y transmisión.

Resumiendo, estos pasos en la siguiente ecuación:

$$HP = ((HPf + HPm) \times Fo) + Hplift + HPextra) / et \tag{4.9}$$

4.1.2.10 Torque crítico

El torque ejercido sobre las partes rotativas se calcula con la siguiente fórmula:

$$TORQUE = \frac{(HP)(63025)}{N} (lb. pulg.) \tag{4.10}$$

Donde:

HP = Potencia total (Hp).

N = velocidad (rpm).

Los transportadores de Tornillo Sinfín están limitados en su diseño global por la cantidad de torque que puede ser transmitido con seguridad a través de los tubos, ejes y pernos para ensamblar.

Tabla 4-16 Requisitos del Torque.

Diámetro Eje de Acoplamiento pulg	Tubo Ced. 4C		Ejes**		Pernos				
	Tamaño pulg	Torque Lbs.pulg	Los.pulg		Diámetro de Pernos pulg	Corte en Pernos* Lbs.pulg		Pernos en Desgaste Lbs.pulg	
			Cema Std. (C-1018)	Martin Std. (C-1045)		No. De Pernos		No. De Pernos	
						2	3	2	3
1	1-1/2	3140	820	999	3/8	1380	2070	1970	2955
1-1/2	2	7500	3700	3727	1/2	3660	5490	5000	7500
2	2-1/2	14250	7600	9233	5/8	7600	11400	7860	11790
2-7/16	3	23100	15090	18247	5/8	9270	13900	11640	17460
3	3-1/2	32100	28370	34427	3/4	16400	24600	15540	23310
3	4	43000	28370	34427	3/4	16400	24600	25000	37500
3-7/16	4	43300	42550	51568	7/8	25600	38400	21800	32700

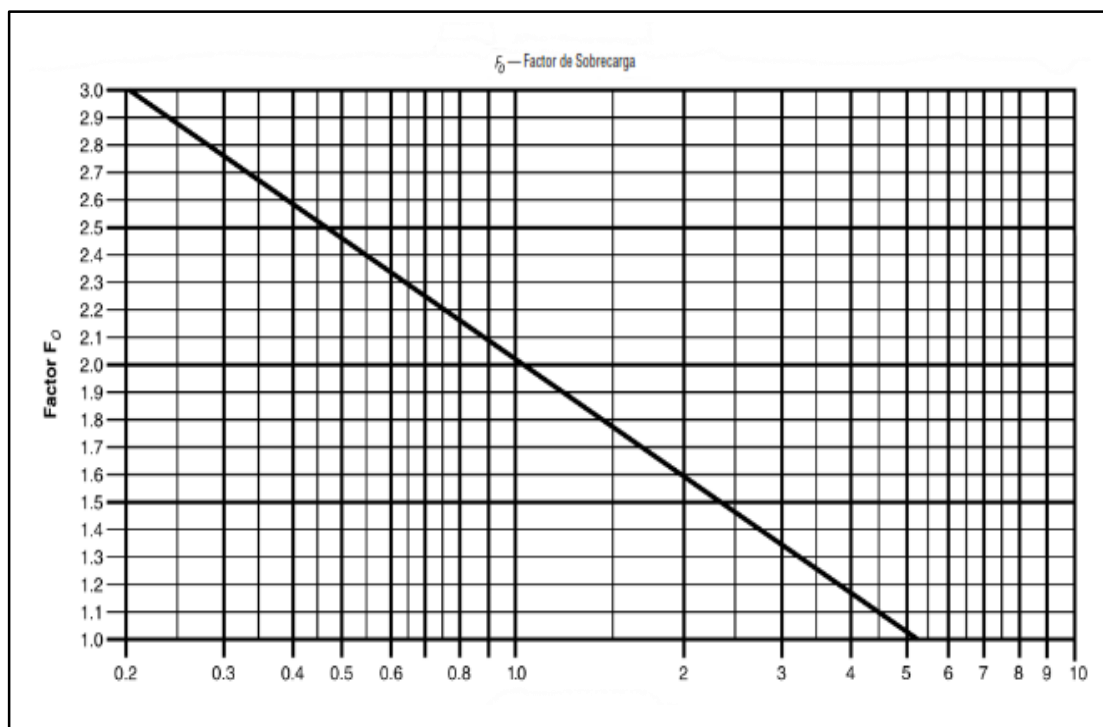
Fuente (Martin, 2010).

Con el torque calculado, buscamos fila por fila, comparando el torque calculado con los rangos de torque para tubos, ejes y tornillos de acople, hasta encontrar que estos rangos sean mayores o iguales al torque calculado. Así pues el rango de torsión más pequeño para cualquier componente será el que determine cuanto torque puede ser transmitido con seguridad.

Las múltiples perforaciones en el tubo del transportador helicoidal y en los ejes son para acoplar los tramos de Sinfines a los ejes conectores, así pues, se tienen de 2 y de 3 perforaciones por extremo de cada tramo de Sinfín, según las exigencias de torque en el diseño. Cuando el torque transmitido es mayor que el tamaño del tubo, debe usarse un tubo más grande o uno de pared más gruesa.

- Para valores de $HP_f + HP_m$ mayores a 5.2 $F_o = 1.0$
- Trace el valor de $(HP_f + HP_m)$ verticalmente a la línea diagonal, entonces cruce la línea a la izquierda donde F_o esta listada.

Figura 4-5 Factor de Sobrecarga de Potencia.



Fuente: (Martin, 2010).

4.2 DISEÑO DE TRANSPORTADOR DE TORNILLO SINFIN PARA LA EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L.

4.2.1.1 Material

Primeramente, se determinaron el material a transportar por el tornillo Sinfín con el fin de asumir todas las propiedades y factores de dicho material. Los relaves mineros contienen (tierra, minerales, agua y rocas, arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro, así como material molido y agua con reactivos), seleccionado de la lista de materiales existentes con categoría.

Tabla 4-17 Lista de materiales existentes CEMA

CATEGORÍA MINERALES, QUÍMICOS							
Id	Nombre	Densidad (lib/pie ³)	Código CEMA	Rodamiento Interno	Serie Componente	Factor de Material	% de Carga Artesa
001	Tierra, minerales, agua y rocas	45-55	B6-35P	H	2	0,80	30A

Fuente (Martin, 2010).

El cual es interpretado como: (*)

B6: Tamaño – Fino con griba N° 6 e inferior.

3: Fluidez - Capacidad de Fluir Media.

5: Abrasidad - Ligeramente Abrasiva.

P: Otras Características.

(*) Tabla IV 1 Características de material según CEMA

Factores:

En esta parte determinamos los restantes parámetros requeridos para el diseño del tornillo Sinfín.

4.2.1.2 Selección de Configuración del Tipo de Transporte

Seguidamente elegimos entre las 4 alternativas de transporte que puede adoptar el tornillo Sinfín, para nuestro diseño seleccionamos el Sinfín inclinado 1 sentido de flujo, 1 entrada y 1 salidas

Tabla 4-18 Categorías de Sinfines.

Ítem	Nombre	Detalle
1	Sinfín horizontal	1 sentido de flujo, 1 entrada (extremo) y 3 salidas
2	Sinfín horizontal	1 sentido de flujo, 3 entrada y 1 salidas (extremo)
3	Sinfín horizontal	1 sentido de flujo, 1 entrada y 1 salidas
4	Sinfín inclinado	1 sentido de flujo, 1 entrada y 1 salidas

Fuente (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

4.2.1.3 Selección de Sistema de Unidades

Elegimos el sistema medida del tornillo que será en metros para nuestro diseño.

Tabla 4-19 Sistema de Unidades.

Ítem	Nombre
1	MKS (metro, kilogramo, segundo)
2	CGS (centímetro, gramo, segundo)

Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

- a) **Determinación del caudal (Q1):** Para el caso del diseño del tornillo determinamos un caudal de 463.16 pie³./h.
- b) **Determinación de la Distancia:** Para el caso del diseño del tornillo se plantea una distancia de 20m.
- c) **Selección de las acciones adicionales:** Las acciones adicionales son convencionales con el paso igual al tornillo, para el caso de del diseño del tornillo determinamos el tipo de acción estándar.

Tabla 4-20 Tipo de Acción de Sinfín.

Ítem	Nombre
1	Estándar
2	Corte
3	Corte y Volteo
4	Cinta
5	Con paletas

Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

4.2.1.4 Selección del Tipo de Paso del Sinfín

Para el caso del diseño del tornillo determinamos el tipo de paso Estándar.

Tabla 4-21 Tipo de Paso del Sinfín.

Ítem	Nombre
1	Estándar
2	Corto
3	Medio
3	Largo

Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

4.2.1.5 Determinación de la Temperatura del Sinfín

Determinamos la temperatura tanto del material a trasportarse como la del ambiente circundante también elegimos las unidades en las que están expresadas estos datos, para nuestro diseño la temperatura del material es de °8C y la temperatura ambiente es de °8C.

Tabla 4-22: Temperatura del Sinfín.

Ítem	Nombre	Unidad
1	Temperatura máxima del material	8°C
2	Temperatura ambiente	8°C

Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

4.2.1.6 Selección del Tipo de Bujes del Sinfín

Para nuestro diseño seleccionamos el tipo de Buje “L” bajo las temperaturas de operación de bronce.

Tabla 4-23: Tipo de Buje.

Ítem	Nombre
B	Bolas Rodamientos
L	Bronce
S	Bronce grafito
	Bronce impregnado de aceite
	Madera impregnado de aceite
	Nylatrón
	Nylon
	Teflón
	UHWM
H	Hierro duro
	Superficie endurecida
	Estelita

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.2.1.7 Determinación del servicio que presta el Sinfín

Para nuestro diseño seleccionamos el tipo de servicio continuo y el promedio de operación por día de 10 horas por día.

Tabla 4-24 Tipo de servicio que presta el Sinfín.

Ítem	Nombre	Tiempo
1	Continuo	horas
2	Intermitente	horas

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

- Diámetro del Sinfín = 9 pulg.

- Máxima velocidad recomendada.
- Capacidad a máxima velocidad.
- Capacidad a una revolución por minuto.

(* Figura IV 4 Capacidades de trasportadores de tornillo Sinfin).

4.3 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

4.3.1 TAMAÑO Y VELOCIDAD DEL TORNILLO SINFÍN

4.3.1.1 Capacidad requerida

Se determina con el coeficiente de: $C = 463.16 \text{ pie}^3/h$

4.3.1.2 Capacidad real

Desde la ecuación (4.1) *se tiene* $CS = (\text{Capacidad requerida}) (Cf1) (Cf2) (Cf3)$

Donde:

Cf1=Paso del helicoidal. (* tabla - Factor de Capacidad CF1).

Cf2=Tipo del helicoidal. (* tabla - Factor de Capacidad CF2).

Cf3=Se aplica cuando el helicoidal lleva paletas o remos. (* tabla - Factor de Capacidad CF3).

Reemplazando valores capacidad requerida C :

$$CS = (463.16) (1) (1) (1)$$

$$CS = 463.16 \text{ pie}^3/h$$

Diámetro del Sinfín = 9 pulg. (a)

4.3.1.3 Velocidad del transportador

$$\text{Se determina la velocidad en: } N = \frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{Capacidad a 1 rpm}}$$

$$N = \frac{463.16}{5.45}$$

$$N = 85 \text{ rpm}$$

Velocidad requerida = 85 rpm

Capacidad a máxima velocidad = 545.00 pie³/h (a)

Máxima velocidad = 100 rpm (a)

(a) Figura IV 4 Capacidades de transportadores de tornillo Sinfín, de acuerdo a la capacidad requerida que debe ser mayor o igual a la columna “A max Rpm” y de acuerdo al % de Carga de la artesa de la Tabla IV 17 Lista de materiales existentes CEMA).

4.3.1.4 Potencia del motor

4.3.1.5 Potencia para operar en vacío (Hp)

$$\text{Se determina la potencia en vacío } HPf = \frac{(Fd)(Fb)(L)(N)}{1\ 000\ 000}$$

Donde:

Fb = Factor de rodamiento intermedio 7 (*Obtenido de la tabla selección de buje para colgantes).

Fd = Factor de diámetro del Sinfín (*Obtenido de la tabla factor de diámetro Fd)

L = Longitud Total del Sinfín (pie).

N = Velocidad requerida (rpm).

$$HPf = \frac{(31)(1.7)(65.6)(85)}{1\ 000\ 000}$$

$$HPf = 0.29 \text{ hp}$$

4.3.1.6 Potencia para mover el material en plano horizontal (Hp)

$$\text{Se determina el plano horizontal } Hp: Hpm = \frac{(Ff)(Fp)(L)(Fm)(W)(C)}{1\ 000\ 00}$$

Donde:

Ff = Factor de helicoidal del Sinfín (* tabla Factor de potencia de tipo helicoides Ff).

Fp = Factor de paletas del Sinfín (* tabla Factor de potencia por paletas Fp).

L = Longitud Total del Sinfín (pie).

Fm = Factor de Material (* tabla lista de materiales existentes).

W = Peso de material (pulg / pie³).

C = Capacidad Requerida.

$$H_{pm} = \frac{(1)(1)(65.6)(0.8)50(463.16)}{1.000.000}$$

$$H_{pm} = 0.75$$

Potencia para mover el material en plano inclinado (Hp).

$$H_{Plift} = \frac{(H)(W)(C)}{(33000)(60)}$$

Donde:

H = Altura de inclinación (pies).

W = Peso de material (pulg/pie³).

C = Capacidad Requerida.

$$H_{Plift} = \frac{(5.17)(50)(463.16)}{(33000)(60)}$$

$$H_{Plift} = 0.06 \text{ hp}$$

4.3.1.7 Potencia total (Hp)

$$\text{Potencia total: } HP = ((HP_f + HP_m) \times F_o) + H_{plift} + HP_{extra} / et$$

Donde:

HP_f = Potencia para operar en vacío (Hp).

HP_m = Potencia para mover el material en plano horizontal (Hp).

F_o = Factor de sobrecarga (* Figura Factor de Sobrecarga de Potencia).

HP_{extra} = Potencia H_p, extra.

HPlift = Potencia para mover el material en plano inclinado (Hp).

et = Factor de eficiencia de la transmisión (* Tabla Factor de transmisión et).

$$HP = ((0.29 + 0.76) \times 2.86) + 0.06 + 0.00 / 0.88$$

$$HP = 3.48hp \equiv 5 hp$$

4.3.1.8 Rango del torque

$$\text{Se determina: } TORQUE = \frac{(HP)(63025)}{N} (\text{lb. pulg.})$$

Donde:

HP = Potencia total (Hp).

N = Velocidad requerida (rpm).

$$TORQUE = \frac{(5)(63025)}{85} (\text{lb. pulg.})$$

$$TORQUE = 3707.35 \text{ lb. pulg.}$$

4.3.1.9 Deflexión del sinfín

$$\text{Se determina la deflexión: } D = \frac{5(W)(L)^3}{384(E)(I)}$$

Donde:

L = Longitud Total del Sinfín (pie).

W = Peso de material (pulg / pie³).

E: Modulo de elasticidad del material Sinfin (psi).

I: Momento de inercia del tubo (pulg⁴).

$$D = \frac{5(50)(65.62)^3}{384(30 \times 10^3)(0.67)}$$

$$D = 0.0026 \text{ pulg.}$$

*I = 0.67 pulg⁴ (Tabla IV 9 Momento de Inercia de Tubos)

4.3.1.10 Expansión termina del Sinfín

Se determina la expansión: $DL = (L)(T1 - T2)(C)$

L = Longitud total del Sinfín (pulg.)

T1= Temperatura del Material (Fahrenheit)

T2 = Temperatura ambiente (Fahrenheit)

C = Coeficiente de expansión lineal (1/ Fahrenheit)

$$DL = (16.40)(8 - 8)(0.0000065)$$

$$DL = 0.000 \text{ pulg.}$$

- a) Componentes Para el diseño seleccionamos a manera de catálogo los componentes según CEMA, las diversas partes componentes de trasportador de tornillo sinfín en base a los resultados y requerimientos del diseño particular.
- b) Componentes Móviles
- c) Selección del tipo de construcción del volado Para nuestro diseño seleccionamos el tipo Estándar.

Tabla 4-25: Tipo de construcción del volado.

Ítem	Nombre
1	Estándar
2	Continuo

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.11 Selección del sentido de giro

Para nuestro diseño seleccionamos Mano derecha.

Tabla 4-26 Sentido de giro.

Ítem	Nombre
1	Mano derecha
2	Mano Izquierda

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.12 Selección del material

Para nuestro diseño seleccionamos el material AISI 1045.

4.3.1.13 Selección de Ejes

Tabla 4-27 Ejes Motriz Usado Sin Sello (Cant. 1).

Chumacera Babbit						Chumacera de Bolas					
∅ Eje	Código	C	G	H	Peso (Lbs)	∅ Eje	Código	C	G	H	Peso (Lbs)
1	1 CD 2 B	9-1/2	3-1/2	3	2	1	1 CD 2 BB	9	3	3	1,8

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-28 Ejes Conductor Tipo Cerrado (Cant. 2)

∅ Eje	Código	C	D	Peso (Lbs)
1	CCC2	6	3	1,3

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010)

Tabla 4-29 Ejes Terminal Usado Sin Sello (Cant. 1).

Chumacera Babbit					Chumacera de Bolas				
∅ Eje	Código	C	G	Peso (Lbs.)	∅ Eje	Código	C	G	Peso (Lbs)
1	CE 2 B	6-1/2	3-1/2	1,4	1	CE 2 BB	6	3	1,2

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.14 Artesa

Para nuestro diseño seleccionamos la Estándar Tipo con brida de ángulo y tendrá una longitud de la longitud 3.5 pulg.

Tabla 4-30 Tipos de Artesa.

Ítem	Nombre
1	Estándar
2	Ensanchada
3	Rectangular
3	Tubular

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-31 Artesa Estándar “Tipo con brida de Angulo”.

∅ Sinfín	Espesor	Código	Peso (Lbs)	A	B	C	D
4	16 cal	TUA 4 16	53	5	3-5/8	1-1/4	7-5/8

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.15 Tapa lateral extrema (lado del motor y lado opuesto al motor)

Para nuestro diseño seleccionamos las dos tapas de tipo lateral extrema tipo sin pie (artesa estándar).

Tabla 4-32 Tipos de Tapa Lateral extrema.

id	Nombre
1	Con pie
2	Sin pie
3	Con pedestal
4	Descarga al final
5	De descarga
4	Interior

Fuente (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

Tabla 4-33 Tapa Lateral Tipo Sin Pie (Artesa Estándar).

∅ Sinfín	∅ Eje	Código	Peso (Lbs)	A	B	C	D			E Pernos	F
							Bolas	Rodillos	Fricción		
4	1	TEWO 4 1 U	5	7-3/4	3-5/8	1-7/16	1-5/8	X	2-3/16	3/8	3/16

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.16 Cubierta

Para nuestro diseño seleccionamos la cubierta plana estándar y tendrá una longitud de la longitud 10.5 pulg.

Tabla 4-34 Tipos de Cubiertas.

ítem	Nombre
1	Contra polvo
2	Dos aguas
3	De domo
4	Plana

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-35 Cubierta plana Estándar.

∅ Sinfin	Espesor	Código	Peso (Lbs)	C
4	16 cal	COV 4 16 UF	1,6	7-3/4

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.17 Soportes de artesa

Para nuestro diseño seleccionamos dos soportes tipo asiento.

Tabla 4-36 Tipo de Artesa.

Ítem	Nombre
1	Pie con brida
2	Asientos

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-37 Soporte Tipo Asiento.

∅ Sinfin	Código	Peso (Lbs)	A	B	C	D	E	F	G pernos	H
4	SAD 4	2,0	5-3/4	4-5/8	7-3/8	3/16	1-1/2	13/16	1-3/8	3/8

Fuente (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.18 Selección de colgantes

Se usan en transportadores para trabajo pesado y que requieran ser sellados contra polvo va empernado en las paredes interiores de la artesa, requiere de bujes de fricción y no necesita lubricación también presenta una mínima obstrucción de flujo de material, para nuestro diseño seleccionamos la carcasa estándar y rectangular Estilo 660 Artesa Estándar.

Tabla 4-38 Tipos de Carcasa Estándar y Rectangular de Colgantes

Ítem	Nombre
1	Estilo 220U
2	Estilo 216U
3	Estilo 226U
4	Estilo 230U
5	Estilo 670U
6	Estilo 316U
7	Estilo 326U
8	Estilo 660U
9	Estilo 370U

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010)

Tabla 4-39 Colgantes 660 Artesa Estándar

∅ Sifin	∅ Eje	Código	A	B	C	D	E	F	G pernos	H	Peso (Lbs)
6	1-1/2	HGR 6 660U 112 BB	8-3/4	4-1/2	2	9-3/4	2-1/2	4	3/8	1/4	7

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010)

4.3.1.19 Selección de Entradas y Salidas

Para nuestro diseño seleccionamos el tipo de entrada (Chute de entrada) tipo fija y tipo de salida (Chute de Salida) tipo Chute de descargar tipo fijo.

Tabla 4-40 Tipos de Chute de Entrada.

Ítem	Nombre
1	Fijo
2	Desmontable

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-41 Entrada Tipo Fija

Ø Sinfin	Código	Peso (Lbs)	A	B	C	D	E	F	G	H	J
4	IS F 4	1,8	5	7-1/2	3/8	2-1/4	-	2-1/4	1-1/4	1/8	1/4

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-42 Tipos de Chute de Salida.

id	Nombre
1	Fijo
2	Fijo con puerta deslizable
2	De descarga a desnivel

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

Tabla 4-43 Chute de descarga Tipo Fijo

Ø Sinfin	Espesor de Artesa	Espesor de Chute	Código	Peso (Lbs)	A	B	C
4	16-14	16	DSP 4 16 * P	1,0	5	4-1/2	3-3/4

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.20 Selección de Compuerta de Descarga

Para nuestro diseño seleccionamos la compuerta de descarga plana de piñón.

Tabla 4-44 Compuerta Plana de Piñón.

Ø Sinfin	Código	A	B	C	D	E
4	RPG 4 * F**	5	1-1/4	20-3/4	7-1/2	7

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.3.1.21 Selección de Rodamientos (Chumaceras y Bujes)

Para nuestro diseño seleccionamos la chumacera de pared y rodamiento de bolas.

Tabla 4-45 Chumacera de Pared y Rodamiento de Bolas.

∅ Eje	Código	C	D	E	G	N
1	TEB 2 BB	2-3/4	3-3/4	1-3/8	1/2	3/8

Fuente: (Pino Eduardo Paúl, 2010).

4.4 DATOS Y RESULTADOS

La siguiente tabla muestra todos los datos requeridos, así como los factores propios del diseño del tornillo Sinfín.

Tabla 4-46. Datos Técnicos del Transportador Sinfin

DATOS TECNICOS DEL TRANSPORTADOR SINFÍN	
FECHA: 01/12/2016	CLIENTE: EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L.
NOMBRE DEL PROYECTO: DISEÑO DE UN TORNILLO SIN FIN PARA EVACUAR AGUAS DE RELAVES MINEROS PARA LA EMPRESA MINERA SOL NACIENTE S.R.L.	
MATERIAL A TRANSPORTAR:	TIERRA, MINERALES, AGUA Y ROCAS
CATEGORIA:	MINERALES, QUÍMICOS
CODIGO CEMA:	B6-35P
SERIE COMPONENTE:	2
FACTOR DE MATERIAL:	0,80
CODIGO DE RODAMIENTO INTERMEDIO:	H
PESO ESPECIFICO:	50,0 lb/pie3
% DE CARGA:	30B
TIPO DE PASO:	ESTANCAR
FACTOR DE PASO:	1,0
TIPO DE ACCION:	ESTANCAR
FACTOR DE TIPO DE VOLADO:	1,0
FACTOR DE PALETAS:	1,0
No. DE PALETAS:	0
CAPACIDAD REQUERIDA:	463,16 pie3/h
CAPACIDAD REAL:	463,16 pie3/h
TEMPERATURADEL MATERIAL:	8,0 °C
TEMPERATURA AMBIENTE:	8,0 °C
TIPO DE CARGA DE ENTRADA:	UNIFORME
TIPO DE TRABAJO:	CONTINUO

TIEMPO DE OPERACIÓN:	10 h
CONFIGURACION:	3
PASO DEL SINFÍN:	9,0 pulg
DIAMETRO DEL SINFÍN:	9,0 pulg
VELOCIDAD REQUERIDA:	85 rpm
MAXIMA VELOCIDAD:	100 rpm
CAPACIDAD A MAX. VELOCIDAD	545,00 pie ³ /h
POTENCIA PARA OPERAR EN VACIO:	0,29 hp
POTENCIA PARA MOVER EL MATERIAL (PLANO HORIZONTAL):	0,75 hp
FACTOR DE SOBRECARGA:	2,86
POTENCIA PARA MOVER EL MATERIAL (PLANO INCLINADO):	0,06 hp
POTENCIA REQUERIDA:	3,48 hp
POTENCIA DE MOTOR SELECCIONADO:	5,0 hp
VELOCIDAD DE MOTOR SELECCIONADO:	1750 rpm
TIPO DE TRANSMISION:	REDUCTOR CON POLEA-BANDA V
CLASEAGMA:	I
EFICIENCIA DE TRANSMISION:	0,88
TORQUE:	3707,35
DIFERENCIA DE ALTURAS ENTRE ENTRADA-DESCARGA:	0,00 pie
LONGITUD:	65,6 pie
SINFÍN	
TIPO DE VOLADO:	ESTANCAR
CODIGO DEL SINFIN:	6S307
MATERIAL DEL SINFIN:	ASTMA36
INTERIOR DEL VOLADO:	2,38 pulg
EXTERIOR DEL VOLADO:	9,00 pulg
ESPEJOR INTERIOR DEL VOLADO:	12 calibre
ESPEJOR EXTERIOR DEL VOLADO:	12 calibre
TUBO CEDULA:	CEDULA40
INTERIOR DE TUBO:	2 pulg
EXTERIOR DE TUBO:	2,375 pulg
No. DE PERFORACIONES DE ACOPLA x TRAMO:	2
PERNOS DE ACOPLA ENTRE TRAMOS:	1/2 X 3 pulg
LONGITUD DE TRAMO ESTANCAR:	118,00 pulg
No. DE TRAMOS ESTANCAR:	1
FLEXION EN TRAMO ESTANCAR:	0,00 pulg.
LONGITUD DE TRAMO INICIAL:	118,00 pulg
FLEXION EN TRAMO INICIAL:	0,00 pulg.
LONGITUD DE TRAMO FINAL:	91,80 pulg
LONGITUD TOTAL DEL SINFIN:	209,80 pulg
NUMERO TOTAL DE PERNOS DE ACOPLA:	8 A307-64 Grado2

PESO TOTAL DEL SINFIN:	132,93 lb
EJE MOTRIZ	
TIPO:	USADO SIN SELLO
CODIGO:	1 CD 2B
CANTIDAD:	1
DIAMETRO:	1,5 pulg
LONGITUD:	11,50 pulg MATERIAL
MATERIAL:	AISI 1045
No. DE PERFORACIONES DE ACOPLA:	2
PESO:	1,80 lb
EJE TERMINAL	
TIPO:	USADO SIN SELLO
CODIGO:	CE 2 B
CANTIDAD:	1
DIAMETRO:	1,5 pulg
LONGITUD:	8,25 pulg MATERIAL
MATERIAL:	AISI 1045
No. DE PERFORACIONES DE ACOPLA:	2
PESO:	1,2 lb
EJE CONECTOR	
TIPO:	CERRADO
CODIGO:	CCC2
CANTIDAD:	2
DIAMETRO:	1,5 pulg
LONGITUD:	11,50 pulg MATERIAL
MATERIAL:	AISI 1045
No. DE PERFORACIONES DE ACOPLA:	2
PESO:	1,3 lb

Fuente: (Castillo Wilber Eusebio, 2016).

4.5 CONTRASTACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE HIPÓTESIS

Los resultados obtenidos respecto a las hipótesis formuladas para el presente estudio son los siguientes:

- a) *En lo concerniente a la Hipótesis General:* “Con el diseño del tornillo Sinfin es posible plantear la construcción e instalación del trasportador requerido para

evacuar aguas de relaves mineros de la Empresa Minera Sol Naciente S.R.L.” Esta **es aceptada**, debido a los hechos observados en el análisis de resultados, por consiguiente, con el diseño del tornillo Sinfin es posible plantear la construcción e instalación del transportador requerido para la empresa.

- b) *En lo concerniente a la primera Hipótesis Específica:* “los parámetros requeridos inciden directamente en el diseño del tornillo Sin fin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.”. Esta **es aceptada**, tal como se pudo observar en el análisis de los resultados,
- c) *En lo concerniente a la Segunda Hipótesis Específica:* “los parámetros calculados tienen influencia en el del diseño y selección del tornillo Sinfin para evacuar las aguas de relaves mineros de la empresa.”. Esta **es aceptada**, tal como se pudo observar en el análisis de los resultados.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Describiendo los parámetros de diseño estructural, funcionamiento y características del material; viendo el estado de investigación con las que se cuenta, de diversos métodos de diseño o enfoques para su cálculo, se optó por elegir el método semi empírico que a comparación del método analítico que necesariamente se requiere el uso de un equipo computacional avanzado con el que no se cuenta dentro de la región.

SEGUNDO: Respecto al objetivo principal, concluimos afirmando que el diseño del tornillo Sinfín depende de los parámetros requeridos y calculados las tablas tales como, material a transportar, descripción del material, peso específico del material, tipo de rodamiento intermedio entre otros más, y han sido basados en las normas del CEMA, la experiencia de esta entidad garantiza los resultados del diseño de transportadores Sinfín, así mismo la utilización de un software.

TERCERO: Para el diseño y cálculo de resultados de la fase de selección de componentes (móviles, estáticos y estándares) han sido consultados de los catálogos de los fabricantes específicos como Martin, kws, Wam sin embargo no obliga a la empresa a emplear estos fabricantes en su diseño. Por otra parte, la investigación ayuda sin lugar a dudas en muchos aspectos para profesionales encargados del diseño y construcción de estos equipos.

CUARTO: Comparando los costos de adquisición mediante la fabricación dentro de la región Puno con respecto a los costos de adquisición mediante compra del exterior. Fabricado dentro de la región Puno, haciendo un metrado de materiales y el costo de fabricación nos resulta promedio \$. 12000. Por otra parte, el ingeniero debe usar su criterio para evaluar y decidir tanto los datos de entrada como los parámetros calculados para el diseño final del Sinfín. Es de estricta responsabilidad del ingeniero la decisión final en la implementación de los resultados del diseño.

SUGERENCIAS

PRIMERO: Al diseñar el transportador, su aplicación en la empresa podría ampliarse a otros equipos como en las mezcladoras verticales y horizontales, adicionando a ellos otros accesorios y encontrar los parámetros del material a granel, haciendo un análisis de variables.

SEGUNDO: Se recomienda a la empresa realizar estudios de selección de sitio y tecnologías de disposición de relaves, realizar evaluaciones geológicas de superficie además investigaciones geotécnicas, hidrológicas hidrotecnias. Así mismo se recomienda a la empresa realizar diseño y planteamiento de desmonte de mina, depósitos de relave y pads de lixiviación.

TERCERO: Se recomienda a la empresa realizar una evaluación de filtrado y de drenaje de ácido de roca. La empresa deberá implantar planes de recolección de desechos sólidos eficientes, los cuales mejorarán el aspecto salud y la estética de la empresa. Asimismo, en las zonas de los puntos de descarga y en las zonas a la orilla de la bahía, recomendamos instalar depósitos de basura, para que los habitantes puedan hacer uso de ellos y no sigan contaminando la bahía. Se deberá recolectar las aguas residuales en el poblado menor de la Rinconada, para ser llevadas a un punto de tratamiento, por lo que será necesario el diseño y construcción de una tubería interceptora.

CUARTO: Se recomienda para futuras investigaciones elaborar un software de diseño incluyendo el diseño gráfico del transportador de tornillo, integrando el interfaz de solidword.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Oscar, R. (2015). *Manual de Prácticas para Diseñar Programas y Maquinar Piezas en Maquina CNE de 4 Ejes*.
- Andrea. (28 de Abril de 2015). *Inventos de la historia andrea*. Obtenido de <https://inventosdelahistoriaandrea.wordpress.com/2015/04/28/tornillo-de-arquimedes/>
- Andreu, B. R. (2011). *E.D.A.R. para una población de más de 30.000 habitantes equivalentes*. Sant Boi de Llobregat.
- Bates, L. (2000). *Design, Selection, and Application of Screw Feeders*. Wiltshire, UK: Professional Engineering Publishing.
- Castillo Wilber Eusebio, K. (2016). *Diseño de un tornillo Sin fin para evacuar aguas de relaves mineros para la Empresa Minera y Constructora Sol Naciente S.R.L.* Puno - Perú.
- Dwight, W. W. (2018). *Archimedean Screw*. Obtenido de CLIPART ETC: http://etc.usf.edu/clipart/15000/15042/archimedean_15042.htm
- Empresa Minera Sol Naciente S.R.L., E. (2016). *Expedientes Administrativos*. Putina: 2016.
- Garske Wolfgang, j. (2005). *Máquinas de Transporte y Elevación*.
- Hernández SRY - Fernández CC - Baptista LP. (2011). *Metodología de la investigación*., México: 3ht. ed. .
- J.E.SHIGLEY - C. R. MISCHKE. (2009). *Diseño en Ingeniería mecánica*. Mc. Graw Hill.
- J.M., d. A. (2007). *Manual de Hidráulica*. México: 6ta Edición.
- Kemmer, F. (1989). *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Estados Unidos: McGrawHill.
- Kozyn, A. (2016). *Power Loss Model for Archimedes Screw Turbines*. Ontario, Canada: University of Guelph.
- KWS MANUFACTURING CO., I. (s.f.). *Catálogo de Sinfines*.
- M. d. (2010). OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales. En M. d. Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (pág. 84). Lima.
- MARKS. (1995). *Manual del Ingeniero Mecánico*. Octava.
- Martin. (2010). *Catalogo de Sinfines*.
- MARTIN. (s.f.). *Catálogo de construcción ingenieríl*.

- Metcalf & Eddy, v. 1. (1995). *Ingeniería de las Aguas Residuales*. España: McGraw-Hill.
- Moody, L. F. (1994). *Transfer and friction in channels roughened with angled*. (Vol. 66). New York, Estados Unidos: ASME. Obtenido de www.uclm.es/area/amf/gonzalo/IngFluidosFiles/Multimedia/Graphs/MoodyPeq.pdf
- Nuernbergk, D. M. (2013). *Archimedes Screw in the 21st Century*. Springer.
- Perez, N., & E., M. (2007). *PROTOTIPO DE TORNILLO DE TRANSPORTE PARA FLUIDOS GRANULARES HIPERCONCENTRADOS*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Pino Eduardo Paúl, S. (2010). *Diseño de Transportadores de Tornillo Sinfín*. Guayaquil, Ecuador.
- Proyecto Especial Lago Titicaca. (2013). *Proyecto Especial Lago Titicaca*,. Puno- Perú.
- Rohmer, J., Knittel, D., Sturtzer, G., & Flieller, D. (2016). *Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine*. France: ELSEIVER.
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Colombia, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rorres, C. (2000). *THE TURN OF THE SCREW: OPTIMAL DESIGN OF AN ARCHIMEDES SCREW*. Florida: Screw.
- Rorres, C. (2017). *Archimedes in the 21st Century*. Philadelphia, PA, USA: Birkhauser.
- SENAMHI, S. N. (15 de Julio de 2016). *Senamhi Dirección Regional de Puno - Monitoreo de Temperaturas y Precipitaciones*. Obtenido de Senamhi Dirección Regional de Puno - Monitoreo de Temperaturas y Precipitaciones.: <http://puno.senamhi.gob.pe/web/index.php?p=1022>
- SKF. (2007). *Catálogo General de selección de rodamientos*.
- WAM INC. (2012). *Catálogo de diseño de Sinfines*.
- Yongqin, Y. (1997). *Theoretical modelling and experimental investigation of the performance of screw feeders*. Wollongong: Research Online.