

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROTOTIPO DE TORNILLO DE TRANSPORTE PARA
FLUIDOS GRANULARES HIPERCONCENTRADOS.**

Presentado Ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller

Pérez N, Manuel E.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROTOTIPO DE TORNILLO DE TRANSPORTE PARA
FLUIDOS GRANULARES HIPERCONCENTRADOS.**

Prof.: Rodolfo Berríos.

Presentado Ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela por
el Bachiller

Pérez N, Manuel E.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2007

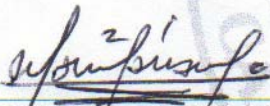
Caracas, 28 de junio de 2.007

ACTA

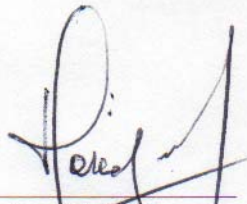
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres: : **MANUEL PEREZ**

"PROTOTIPO DE TORNILLO DE TRANSPORTE PARA FLUIDOS GRANULARES HIPERCONCENTRADOS"

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. **Manuel Martínez**
Jurado




Prof. **José Di Marco**
Jurado


Prof. **Rodolfo Berrios**
Tutor

"Hacia el 50º Aniversario del 21 de noviembre de 1957, Día del Estudiante"

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo especialmente a mi madre Blanca, por ser una excelente madre y una excelente profesional que supo como guiarme para alcanzar todas mis metas, por llevarme de la mano por el camino del aprendizaje y el crecimiento intelectual, por ser el mejor ejemplo de superación y de logros alcanzados a lo largo de una vida. A ella, por toda su dedicación y por todo su esfuerzo incondicional para ayudarme en todo momento a superar los obstáculos.

A mi familia, los Pérez, por ser la mejor familia que una persona puede tener, me siento dichoso de ser parte de ella y que todos y cada uno sean una parte muy importante de mí.

A mi hermano, porque es el amigo incondicional con el que siempre puedo contar, porque sus éxitos me han motivado a alcanzar los míos y por ser en casi todos los momentos mi mejor amigo.

A mis compañeros de estudio, a los que ya se graduaron, a los que se van a graduar. Para ellos que siempre hemos estado juntos y que hemos compartido logros y derrotas académicas, por siempre están en los momentos buenos y los malos, para ellos porque juntos logramos culminar nuestras carreras con éxito.

Por último a todos aquellos ingenieros que luchan por el desarrollo de un país y por elevar la calidad de vida de todo un pueblo, y a todos aquellos ingenieros con mucha experiencia que se preocupan por dejar un legado intelectual dando clases en mi muy apreciada Escuela de Ingeniería Mecánica U.C.V.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante toda mi vida y especialmente a mi madre Blanca, cuya dedicación y motivación me ayudaron a alcanzar todas las metas que me he planteado durante toda mi vida.

A todos los integrantes de mi familia, especialmente al tío Alberto y a la tía Aurora que de una u otra forma han colaborado en la culminación de mis estudios, que han compartido mis triunfos y derrotas académicas y que con sus palabras de aliento me ayudaron a seguir adelante pese a los obstáculos que me he encontrado a lo largo de mi carrera universitaria.

Al profesor Rodolfo Berríos por guiarme durante toda la elaboración de este trabajo y por compartir con todos sus estudiantes, dentro de los que me incluyo, toda su experiencia en la materia de fluidos y en este caso específico sobre fluidos bifásicos.

A mi novia, Oriana Aparicio, por haber permanecido durante casi todo el proyecto y por su importante aporte en la construcción y puesta en marcha del equipo.

Al TSU. Alejandro Cabello, por toda la orientación y colaboración prestada a lo largo de todo el proceso de construcción del banco de pruebas.

Al Ing. Orangel Roca por compartir todos sus conocimientos técnicos y aportes en la elaboración del diseño de el Tornillo de Arquímedes como elemento de transporte de fluidos bifásicos.

Al Profesor Miguel Padilla por toda la colaboración prestada con relación al tema del Fluido Granular Hiperconcentrado compuesto por arcilla de Kaolín y agua estudiado en su trabajo de investigación bajo el proyecto No.08.15.5431.2004.

Al profesor José Di Marco, por todas sus recomendaciones y orientaciones dadas a lo largo de la elaboración de este trabajo especial de grado.

A la Empresa Oficina Técnica RAN c.a, a sus ingenieros y a su dueño Rafael Núñez por la ayuda y el impulso que me han dado para la culminación de éste trabajo.

Y a todas aquellas personas, compañeros de clase, futuros colegas que no se han mencionado pero que de igual manera han influido directamente en la elaboración de este proyecto, a ellos por haber estado incondicionalmente apoyándome en todos los altos y bajos en el estudio de esta dura carrera.

Y por último, pero no menos importante, a mi Universidad en donde pase mis mejores años de la juventud; y a mis profesores, que me han guiado a lo largo de todos mis años de carrera, y que me han dado un poco de sus conocimientos que sé que me ayudaran a ejercer con ética y profesionalismo mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
ACTA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
INDICE GENERAL	ix
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN	xii
 INTRODUCCIÓN	 01
Capítulo 1: El Problema.	03
1.1 Planteamiento del Problema	04
1.2 Objetivos	04
1.2.1 Objetivo General	04
1.2.2 Objetivos Específicos	05
1.2.3 Alcances	05
Capítulo 2: Marco Teórico	07
2.1 Antecedentes	07
2.2 Bases Teóricas	08
2.2.1 Transporte y Manejo de Materiales	08
2.2.2 El Problema del Manejo de Materiales	10
2.2.3 El Fluido Granular Hiperconcentrado	13
2.2.4 El Agua	14
2.2.5 El Kaolín	16
2.3 Características Físicas Relevantes para la Selección del Método de Transporte	17
2.3.1 Abrasividad	18
2.3.2 Dureza de la Partícula	20
2.3.3 Forma de la Partícula	19
2.3.4 Ángulo de Reposo	20
2.3.5 Ángulo de Sobrecarga	21
2.3.6 Ángulo de Resbalamiento	22
2.3.7 Fluibilidad	22
2.3.8 Clasificación de los Materiales que se Pueden Transportar.	23
2.3.9 Como Leer Correctamente el Código del Material Desde la Tabla de Características Físicas	26
2.3.10 Recomendaciones para la Selección del Sistema de Elevación y Transporte.	26
2.4 Descripción de los Diversos Tipos de Sistemas de Elevación y Transporte Mecánicos Más Utilizados en	27

la Industria.	
2.4.1 Elevador de Cangilones	27
2.4.1.1 Configuración Básica	28
2.4.1.2 Principales Componentes de un Elevador De cangilones.	30
2.4.1.3 Propiedades del Material que Afectan al Equipo.	33
2.4.1.4 Tipos de Elevadores de Cangilones.	35
2.4.1.4.1 Elevador de Descarga Centrifuga	46
2.4.1.4.2 Elevador de Descarga Continua	37
2.4.1.4.3 Elevador de Descarga Positiva	38
2.4.1.4.4 Elevador de Descarga Interna	38
2.4.2 Transportadores de Cadena	39
2.4.2.1 Configuración Básica.	39
2.4.2.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo	44
2.4.3 Transportadores de Tornillo o Tornillo de Arquímedes.	45
2.4.3.1 Configuración Básica	47
2.4.3.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo	48
2.4.4 Correas Transportadoras	50
2.4.4.1 Configuración Básica	51
2.4.4.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo.	53
Capítulo 3: Selección y Diseño.	55
3.1 Definición del Tipo de Transporte a Utilizar	55
3.2 Determinación del Ángulo de Reposo y de Resbalamiento del Fluido.	56
3.2.1 Estimación del Ángulo de Reposo	57
3.2.2 Estimación del Ángulo de Resbalamiento	59
3.3 Selección del método de Transporte	62
3.4 Diseño del Equipo	65
3.4.1 Cálculo de Capacidad	67
3.4.2 Cálculos Estructurales y de Potencia Requerida	68
3.4.2.1 Cálculos Estructurales de la Hélice	69
3.4.2.2 Calculo de Potencia Requerida	71
3.4.2.3 Calculo del Eje a Torsión y Pandeo	72
3.4.3 Cálculo de Resonancia del Sistema	74
3.4.3 Balance Energético para Máquinas Hidráulicas (1ra. Ley de la Termodinámica)	75
3.3.4 Diseño de cordón de soldadura	77
3.5 Resultados del Diseño del Tornillo de Arquímedes	78
3.6 Construcción del Tornillo de Arquímedes	79

Capítulo 4: Resultados	82
4.1 Estimación del Ángulo de Reposo.	82
4.2 Estimación del ángulo de resbalamiento.	83
4.3 Prueba Realizada con Grava.	86
4.4 Prueba Realizada con Metras.	86
Análisis de Resultados	87
Conclusiones	90
Recomendaciones	92
Bibliografía	93
Anexos	95
Anexo A (Memoria de Cálculo)	96
Anexo B (Planos de Construcción)	102
Anexo C (Tabla de Características de los Materiales)	115

LISTA DE CUADROS

CUADROS	PAG
CUADRO N° 1: Resumen de la Influencia de las Características Físicas de los materiales en el funcionamiento de las maquinas de transporte.	63

LISTA DE GRÁFICOS

GRAFICOS	PAG
GRÁFICO N° 1: Ángulo de Reposo Vs. Concentración	82
GRÁFICO N° 2: Ángulo de resbalamiento Vs. Concentración	83

RESUMEN

Manuel E. Pérez N.

PROTOTIPO DE TORNILLO DE TRANSPORTE PARA FLUIDOS GRANULARES HIPERCONCENTRADOS.

**Tutor Académico: Rodolfo Berríos. Tesis, Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas, 2007**

Transporte de Fluido Bifásico Solido-Líquido, Métodos de Transporte de Material, Tornillo de Arquímedes, Tornillo de Transporte.

Modernos métodos de manufactura nos obligan a usar sistemas de transporte de materiales para poder llevar a cabo los procesos que los conforman. Los transportadores, como método de transporte de materiales, son una parte esencial de la producción a gran escala y de los procesos continuos. “Transporte” representa un simple aspecto en lo que se refiere al manejo de materiales. El manejo de materiales incluye todas las consideraciones menos las operaciones de procesamiento. El manejo de materiales, desde luego, es parte integral de muchos de los procesos continuos. Los sistemas de transporte se pueden dividir en dos grandes grupos, los propulsados y los no propulsados, entre los cuales la única diferencia radica en que unos utilizan la gravedad como fuerza motriz y los otros son propulsados por motores. El problema fundamental del manejo de materiales es básicamente la selección del transportador. El problema del manejo de materiales es un problema de ingeniería y debe ser tratado como tal. Su dificultad radica exclusivamente en el material a transportar, ya que todos los materiales poseen su propio conjunto de características que afectarán la del comportamiento de los diversos tipos de transportadores. Estas propiedades pueden ser: adherencia, abrasividad, tamaño de partícula, entre otros. No solo se debe pensar en cómo afectará el material al equipo, si no también en cómo afectará el equipo al material. Por ejemplo; la pureza y la hidroscofia del material pueden ser afectadas mientras el material es transportado. Para escoger el tipo de sistema con el que se va a manejar el material, es útil contestar preguntas como: ¿qué tipo de fluido se va a manejar?, ¿qué tipo de movimiento se va a realizar, del tipo aislado o combinado?, entre otras, que ayudaran a la definición de un tipo de transporte en específico. En el momento de realizar la selección del equipo se debe realizar la clasificación del material para luego, según sus características físicas, seleccionar la máquina que sufra las menores consecuencias negativas debidas al fluido. Se realizó un cuadro comparativo en donde se engloban las principales características del fluido y cómo ellas afectan a los distintos equipos. Gracias a ello, se seleccionó como método de transporte un Tornillo sin Fin. El cual fue posteriormente dimensionado y adaptado al banco de pruebas de ruptura de presas de fluidos granulares e hiperconcentrados.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación fue realizado por la iniciativa del Bachiller Manuel Pérez y tutorado por el Prof. Rodolfo Berrios, donde se presentan las bases teóricas para la selección y el análisis dimensional de un tornillo sin fin cuya finalidad es la de transportar fluidos bifásicos sólido-líquido del tipo granular hiperconcentrado con el objeto de crear un circuito cerrado, con el fluido, en un banco de pruebas que se lleva a cabo en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela

La expresión “Flujo Granular Hiperconcentrado” es aplicada generalmente al flujo de un compuesto de agua, sedimentos gruesos y finos donde el agua lubrica y facilita el movimiento de las partículas sólidas que se encuentran en suspensión. Se estima que la fase líquida se encuentra aproximadamente entre un 65% y un 85% del contenido; este tipo de fluidos es considerado para efectos de ensayos y cálculos como fluidos homogéneos. Por ésta última razón, para el transporte de este tipo de fluidos, que serán utilizados en ensayos de laboratorio, es necesario mantenerlos en forma homogénea, ya que poseen la capacidad de sedimentar sus partículas más pesadas muy rápidamente.

Observando el fluido que se desea transportar se plantea el uso de un tornillo de transporte con el cual se pueden trasladar cualquier tipo de fluidos monofásicos o bifásicos, materiales a granel, fluidos viscosos, a altas temperaturas o a temperaturas ambiente, etc., aprovechando así la capacidad que posee este tipo de máquinas para mantener el fluido en constante movimiento, logrando que pueda mantenerse en forma homogénea, así como también de mantener el fluido de forma continua a través del banco de pruebas.

Este sistema es llamado también bomba de tornillo de Arquímedes consiste en transportar un determinado caudal del fluido utilizado desde un punto a otro. Aunque

este sistema trabaja a presión atmosférica puede manejar diversos valores de caudales, variando la velocidad de trabajo, es decir, variando las RPM a las que se encuentre girando el equipo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

En conocimiento de las características de los materiales a transportar es fundamental, tanto como para elegir el medio mas adecuado como para estudiar los aspectos prácticos derivados de la acción del material sobre el elemento de transporte. Algunas de las características mas importantes que se deben tomar en cuenta son las siguientes:

- Peso específico aparente
- Tamaño de partículas
- Forma
- Cohesion o fluibilidad del material

Luego que se poseen las características antes mencionadas del material a transportar, se hace un pequeño análisis de cuál es la finalidad del transporte del material, es decir, en qué condiciones se desea que se entregue el material, puede ser de forma constante, de manera alternada, y a qué distancia se quiere transportar, entre otras.

Esto último es sumamente importante ya que con esos parámetros se elegirá el tipo de maquina a utilizar, qué dimensiones tendrá, y por consiguiente cuál será el costo de manufactura, aunque el análisis de costos no forma parte de este trabajo, siempre es muy importante mencionarlo ya que en el ejercicio de la profesión este

punto es de gran importancia a la hora de tomar alguna decisión para arrancar un proyecto.

Atendiendo a los parámetros antes mencionados y a la información que se maneja sobre el fluido se debe hacer una selección y un análisis dimensional de una maquina de transporte que sea capaz de transportar un fluido granular hiperconcentrado y que a su vez tenga la capacidad de mantenerlo en constante mezcla de manera que éste no pueda sedimentarse a lo largo del recorrido del transporte. En este caso, para solucionar el problema se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- **Confiabilidad:** El diseño debe proporcionar un rendimiento constante a lo largo de su vida útil.
- **Practicidad:** La maquina debe ser de fácil operación y mantenimiento por parte de la persona responsable de estas actividades.
- **Fácil manufactura:** La maquina debe ser de fácil manufactura, de manera que no se necesite de mayor maquinaria que no esté disponible dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- **Economía:** La manufactura de la maquina debe ser económico ya que este es un elemento que siempre se debe tener en cuenta para tomar la decisión de arrancar un proyecto.
- **Funcionalidad:** La maquina debe cumplir con los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento del banco de pruebas al cual estará destinada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Hacer el análisis dimensional de una máquina de desplazamiento para fluidos granulares hiperconcentrados y ejecutar la manufactura de un prototipo de dicha máquina de elevación y transporte.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- 1.- Justificar la elección de una maquina de transporte tipo tornillo de Arquímedes bajo las características del fluido y requerimientos del transporte del fluido, especificados por el Prof. Rodolfo Berrios, para el banco de pruebas que está diseñando.
- 2.- Determinar las variables dimensionales que intervienen en el diseño del prototipo de la maquina, bajo las especificaciones antes mencionadas.
- 3.- Elaborar el análisis dimensional de la maquina que será instalada en el banco de pruebas, basados en las especificaciones del fluido antes mencionada.
- 4.- Realizar los planos necesarios para la manufactura de la maquina que se va a instalar en el banco de pruebas.
- 5.- Construir un prototipo de 1.5 metros de longitud y verificar experimentalmente los parámetros teóricos con los cuales fue hecho el diseño.

1.2.3 Alcances

Los alcances que se presentan son los siguientes:

- Hacer la investigación pertinente la justificación del tipo de maquina que se desea aplicar.
- Establecer y evaluar los aspectos teóricos relevantes para el análisis dimensional de éste tipo de maquinas, partiendo de las características específicas del fluido.
- Diseñar las piezas necesarias y hacer el cálculo necesario para hacer la seleccionar piezas que se deban utilizar en la construcción del prototipo.
- Presentar las memorias de calculo del diseño y los planos necesarios para la manufactura de la maquina que se instalará en el banco de pruebas.
- Elaborar un prototipo de 1.5 metros para hacer una prueba con el transporte del fluido que se especifique y comprobar los parámetros teóricos con los que se hizo el diseño.

- En caso de ser necesario corregir los defectos de diseño que afecten los parámetros mínimos que debe cumplir la maquina para el buen funcionamiento del banco de pruebas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

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. Desde entonces se han desarrollado diversas variaciones de tornillos de Arquímedes para el transporte de materiales e inclusive para aplicaciones de embutido de materiales en cliente, entre otras aplicaciones.

En la actualidad empresas de la rama del tratamiento de agua tales como Martín, empresa que se encarga del diseño y manufactura de maquinas 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 TecnicaPensa 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

han demostrado que para el transporte de fluidos pesados, livianos, bifásicos y monofásicos este tipo de elementos de transporte funcionan de una manera óptima.

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 maquinas, una explicación profunda sobre su funcionamiento y el procedimiento de calculo 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 Components, 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 Bases Teóricas

2.2.1 Transporte y manejo de materiales

Interpretando a Fayed (1997). Modernos métodos de manufactura nos obligan a usar sistemas de transporte de materiales para poder llevar a cabo los procesos que los conforman. Los transportadores, como método de transporte de materiales, son una parte esencial de la producción a gran escala y de los procesos continuos. Estos son usados en diversos campos, tales como el agrícola, procesamiento de alimento, en la industria manufacturera de productos plásticos y en la industria minera entre otros.

“Transporte” representa un simple aspecto en lo que se refiere al manejo de materiales. Una definición común de manejo de materiales es:

“Manejo de materiales es el arte y ciencia que envuelve el movimiento, empaquetamiento y almacenamiento de sustancias en cualquier forma” (Fayed 1997)

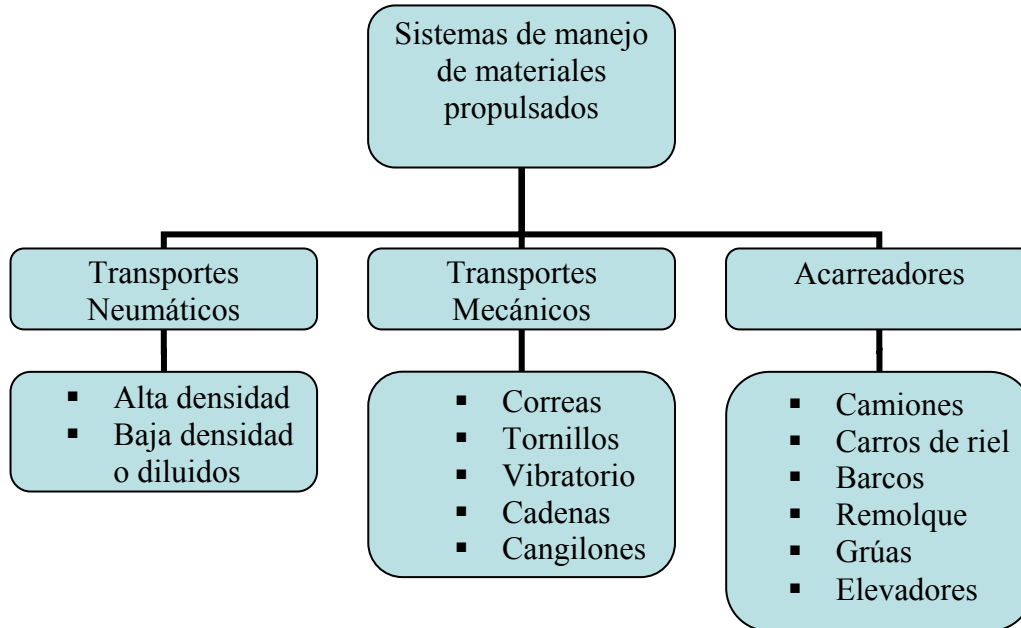
Esta definición abarca muchos tipos de equipos de elevación y varios de los nuevos transportadores híbridos.

El manejo de materiales incluye todas las consideraciones menos las operaciones de procesamiento. El manejo de materiales, desde luego, es parte integral de muchos de los procesos continuos. Muchos transportadores pueden realizar algunas de las operaciones de procesamiento más simples, tales como calentamiento o enfriamiento, pero esto es suplementario a la función primaria que es el transporte del material.

Existen dos métodos básicos usados para el transporte de materiales Según Fayed (1997):

1. **Sistemas de transporte no propulsados:** éstos utilizan la gravedad como la fuerza de movimiento e incluyen dispositivos especiales para poder funcionar. Estos son los más sencillos y económicos sistemas de transporte disponibles. Los sistemas no propulsados, desde luego, requieren de un punto de partida que se encuentre en un lugar de mayor elevación que el de llegada. En la mayoría de los casos de manejo de materiales éste puede ser un tipo muy raro de conseguir.
2. **Sistemas de transporte propulsados:** Son utilizados para mover materiales de forma horizontal y vertical, y además de manera controlada. Generalmente poseen un tren motriz, cuyo elemento principal es un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna, y una caja transmisora de potencia.

A continuación se presenta un esquema de los sistemas de transporte propulsados que existen y cómo se clasifican.



Esquema 1: Clasificación de los Sistemas de Manejo de Materiales Propulsados
Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

Los transportadores incluyen todos los equipos fijos o portátiles capaces de mover materiales de forma continua o intermitente entre dos o más puntos. Mientras que el material puede ser movido intermitentemente, la máquina puede operar continuamente. El movimiento del material puede ser horizontal, vertical, inclinado o una combinación de los tres.

2.2.2 El problema del manejo de materiales.

Interpretando a Fayed (1997), Bates (2000) y a Targhetta (1970). El problema fundamental del manejo de materiales es básicamente la selección del transportador. Generalmente, la solución de un problema de transporte de materiales solo crea más problemas. Un análisis apropiado podría apuntar hacia cuáles efectos pudiese causar

el adicionar o cambiar un componente en todo un proceso determinado dentro de una planta.

El problema del manejo de materiales es un problema de ingeniería y debe ser tratado como tal. Para saber cómo transportar algo, primero se debe responder las siguientes preguntas; qué?, dónde?, cuándo?, y por qué?.

La solución más acertada para el transporte de materiales está basada en el uso del conocimiento y la experiencia ganada en una industria específica. Por ejemplo, el manejo de materiales en la industria farmacéutica y minera es una experiencia diferente en cada una de estas industrias.

La experiencia puede variar entre compañías de la misma industria. Frecuentemente, una compañía solo usará tipos específicos de equipos, siendo la selección basada en experiencias anteriores o simplemente basada en la decisión de estandarizar equipos, y siempre recordando que cada equipo tiene su propio rango de aplicaciones.

Las aplicaciones acertadas de transportadores y la experiencia ganada en este campo es un proceso aprendido por ensayo y error, por esta razón no existen ecuaciones que permitan resolver todos los problemas de manejo o transporte de materiales.

Para seleccionar y aplicar un transportador mecánico, la persona debería poseer las siguientes características y habilidades:

- a. Un conocimiento del funcionamiento de las principales partes y ensambles, así como también las características de operación de varios transportadores mecánicos.

- b. Un conocimiento de las ventajas y limitaciones de varios tipos de transportadores.
- c. Estar familiarizado con varias marcas de cada tipo de transportadores y poseer la habilidad de discutir inteligentemente las diferencias de cada una de ellas, incluyendo el funcionamiento de los catálogos de los fabricantes, etc.
- d. La capacidad de hacer cálculos y estimaciones relevantes a la capacidad y dimensionamiento de varios tipos de transportadores.
- e. La habilidad de obtener y comparar costos de diferentes fabricantes basado en las estimaciones realizadas.
- f. La habilidad para tomar decisiones basadas en los puntos de la a-e y predecir cualquier efecto adverso causado por el material o el transportador.
- g. La capacidad para preparar los detalles de la instalación de nuevos equipos, esto incluye: procedimientos, planos, tareas, planificación, etc.
- h. La habilidad para familiarizarse con la operación, entrenamiento, seguridad y procedimiento de mantenimiento para así lograr un funcionamiento apropiado del equipo. Al igual que para futuras apagadas y puestas en funcionamiento planificadas del mismo.

La primera selección de un equipo transportador puede resultar una intimidante tarea, considerando que existen muchas opciones. Desde luego, con un poco de conocimiento de los rangos de funcionamiento, limitaciones y ventajas, se puede hacer mucho más fácil el proceso de selección.

La manera de simplificar aun más la selección de los equipos de transporte es descartando aquellos equipos que, basados en las características de operación, impiden que califiquen para el transporte del material. Esto se puede hacer ya que las características entre tipos de equipos varían significativamente, por esto es que hay diferentes equipos para diferentes aplicaciones.

La dificultad del manejo de materiales radica exclusivamente en el material a transportar, ya que todos los materiales poseen su propio conjunto de características que afectarán la del comportamiento de los diversos tipos de transportadores. Estas propiedades pueden ser: adherencia, abrasividad, tamaño de partícula, entre otros.

No solo se debe pensar en cómo afectará el material al equipo, si no también en cómo afectara el equipo al material. Por ejemplo; la pureza y la hidroscofia del material pueden ser afectadas mientras el material es transportado.

2.2.3 El Fluido Granular Hiperconcentrado

Interpretando a Aguirre (2000) y a Pearson (2005). El termino flujo granular hiperconcentrado se refiere al estado intermedio entre el flujo liquido y el flujo con escombros, donde la turbulencia del fluido representa un importante mecanismo de dispersión de las partículas clásticas.*

Un Fluido Granular Hiperconcentrado es aquel que está compuesto por una gran cantidad de agua, entre un 60 y 85%, y partículas suspendidas con un tamaño entre 0.001 y 0.1mm. La cantidad de sedimento o partículas suspendidas en la masa de agua son suficientes para cambiar perceptiblemente las características físicas y mecánicas del fluido. En este tipo de fluidos se pueden transportar grandes cantidades de arena o sedimentos, aunque esto va a depender de la velocidad que posea el flujo. Este tipo de fluido puede llegar a ser altamente erosivo en el medio ambiente.

El fluido de trabajo, para el cual se debe seleccionar un medio de transporte adecuado, está elaborado a base de agua y arena de kaolín en diferentes concentraciones, con la finalidad de simular, dentro del banco de pruebas, diferentes

* Partícula Clástica: es aquella partícula de material geológico que está formada por distintos tipos de roca.

condiciones de arrastre de sedimentos aguas abajo y poder medir las diferentes propiedades mecánicas que se relacionan con dicha propiedad física.

La maquina que se debe seleccionar debe poseer la capacidad de mantener el fluido lo mas homogéneo posible ya que éste es capaz de sedimentarse en poco tiempo si se mantiene en reposo, si esto sucede es muy probable que afecte los resultados de los experimentos que se realizarán en el banco de pruebas antes mencionado.



Imagen 1. Fluido Granular Hiperconcentrado al 40% volumen de sedimentos
Tomado de: www.boatnerd.com/.../DebrisPPlantDock51603L.jpg

A continuación se definen cada uno de las sustancias que componen el fluido que se desea transportar.

2.2.4 El Agua

El Agua, sustancia líquida formada por la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno, es la sustancia que constituye el componente más abundante en la superficie terrestre.

El agua se puede conseguir en su estado natural en las tres fases físicas de la materia: sólido en forma de hielo (glaciares, nieve, granizo), líquido (en los ríos, lagos, lluvia) y gaseosa (nubes y niebla).

Interpretando a Padilla (2006). Sus propiedades físicas más comunes son que es una sustancia sin color, olor o sabor. A 101.325 Pa., su punto de fusión es a 273,15 K y su punto de ebullición es a 373,15 K. Se cristaliza en el sistema hexagonal, llamándose nieve o hielo según se presente de forma esponjosa o compacta, se expande al congelarse, es decir aumenta de volumen, de ahí que la densidad del hielo sea menor que la del agua y por ello el hielo “flota” en el agua líquida. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 277,15 K, la cual es 1000 Kg./m³. A 293.15K su viscosidad es aproximadamente 1×10^{-3} Pa.s.

Dentro de las propiedades químicas el agua es el disolvente universal, puesto que la mayoría de las sustancias son de alguna manera solubles en ella. No posee propiedades ácidas ni básicas, combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas.



Imagen 2. Agua. Principal elemento del que se compone el fluido de trabajo.
Tomado de: <http://www.fi.edu/brain/images/protect/DrinkingWater'.jpg>

2.2.5 El Kaolín (Caolinita)

Según Padilla M. (2006). El Caolín es el nombre comercial para las arcillas blancas que están predominantemente compuestas por Caolinita. China fue el primer país en utilizar arcillas blancas en la cerámica, aproximadamente hace 3.000 años. El nombre de caolín se deriva del nombre de la montaña de donde se extraía dicho mineral, Kauling, que significa cerro elevado. Según Padilla, M (2006), el caolín se define como una arcilla que consiste principalmente en Caolinita pura, o un mineral relacionado con la halloysita, metahalloysita y arcillas con alto contenido de alúmina ó sílice.

La Caolinita se distingue de otras arcillas principalmente por su blandura, blancura y fácil dispersión en agua y otros líquidos. Estas características las hacen muy útiles en la manufactura de papel y otras aplicaciones industriales de cargas minerales.

Los caolines de alta calidad son caracterizados por bajos niveles de impurezas como hierro, titanio y minerales de tierras alcalinas. En Venezuela todos los depósitos comerciales de caolín se ubican a lo largo de una extensa zona de Bolívar nororiental, asociados con rocas precámbricas intensamente meteorizadas. El caolín utilizado en los experimentos, es Caolín Industrial Venezolano tipo C-6. Un análisis químico y granulométrico se encuentra disponible en el trabajo de Berríos (2004).

Con la explicación anterior se puede entender mas fácilmente en que consiste la arena de Kaolín como mineral que se encuentra presente en el territorio venezolano.



Imagen 3. Arena de Kaolín.

Tomado de: <http://www.vdp-online.de/bildgalerie/rohstoffe/kaolin.jpg>

2.3 Características Físicas del Fluido Relevantes para la Selección del Método de transporte.

2.3.1 Abrasividad

La abrasividad esta definida como una combinación de características físicas de un material, estas características permiten el desgaste de las partículas de la superficie con las que el material entra en contacto. Desde luego, por ser éste fenómeno efecto producido por la combinación de muchas características físicas, no puede ser cuantificado por una simple prueba. Las características más importantes que contribuyen a la abrasividad de los materiales son:

- Dureza de la partícula.
- Forma de la partícula.
- Densidad del material.
- Tamaño de la partícula.

Interpretando a Fayed (1997). La abrasividad relativa de las partículas puede ser determinada mediante el índice usado por los miembros de CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association). En este método cada una de las cuatro

características antes mencionada se le asigna un factor. Los cuatro factores son multiplicados entre si para obtener el Índice de Abrasividad. La siguiente ecuación y las tablas 1, 2 y 3, definen los factores:

$$f_1 = (Mohs)^2$$

Siendo Mohs el valor de dureza del material según la escala de durezas relativa de los minerales elaborada por Friedrich Mohs en 1812.

Densidad	
Lb/ft ³	Factor (f_2)
0-60	1.0
61-120	1.1
121-180	1.2
181-240	1.3
241-300	1.4
301-460	1.5
461-520	1.6

Tabla 1: factor de densidad f_2

Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

Forma	
Tipo	Factor (f_3)
Redondeado	1.0
Semiredondeado	1.5
Semiángular	1.5
Angular	2.0

Tabla 2: factor de forma f_3

Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

Tamaño	
Tamaño CEMA	Factor (f_4)
A	1.0
B	1.1
C	1.2
D	1.3
E	1.3

Tabla 3: factor de forma f_4

Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

2.3.2 Dureza de la partícula

La dureza de la partícula es usualmente dada por su posición relativa en la escala de Mohs. La dureza Mohs se basa en frotar el material que se desea cuantificar contra varios materiales conocidos ya estandarizados que posean un valor en la escala de Mohs. El diamante encabeza ésta escala al cual se le ha asignado el valor de 10 y es el de mayor dureza en la tabla, de ahí en adelante van disminuyendo en dureza hasta llegar al material que se le ha asignado el valor 1. La idea fundamental es la de tomar un material con un valor de dureza Mohs y frotarlo contra otro material de dureza desconocida, si el material de dureza desconocida se raya quiere decir que su dureza esta por debajo de la del material conocido. Existen métodos más precisos que el anterior descrito tales como el Brinell o el Rockwell, pero en lo que se refiere al manejo de materiales es más que suficiente utilizar el método anteriormente descrito.

2.3.3 Forma de la partícula.

Interpretando a Fayed (1997). Esta característica es también usada en la determinación de la abrasividad del material a transportar y es un indicador general de la fluibilidad del mismo. El mejor flujo del material se producirá cuando las partículas de éste posean una forma esférica. La clasificación general mas usada en el ámbito del transporte de materiales es el siguiente:

- *Redondeada*: las partículas son totalmente esféricas o tienden a ser esféricas en su mayoría sin formas agudas o bordes vivos.
- *Semiredondeadas*: las partículas mantienen una tendencia a ser redondeadas pero poseen algunos bordes vivos.
- *Semiangular*: partículas sin redondeos que poseen caras planadas y bordes vivos.
- *Forma irregulares*: son partículas que no poseen formas esféricas, posee diferentes patrones con caras planas, bordes agudos, terminaciones puntiagudas, socavaciones, etc. Son partículas bastante irregulares.

2.3.4 Ángulo de Reposo

Analizando a Fayed (1997). El ángulo de reposo es el ángulo formado entre el plano horizontal y la línea tangente extendida a lo largo de la cara de una pila de material. La pila es formada poniendo cuidadosamente sobre una superficie horizontal una cantidad de material, éste material se deja reposar durante un periodo de tiempo prudente y posteriormente se procede a hacer la medición del ángulo formado en la cara lateral desde una vista frontal. En la figura 1(a) y 1(b) se muestran dos ejemplos en los que se puede apreciar mejor como medir dicho ángulo.

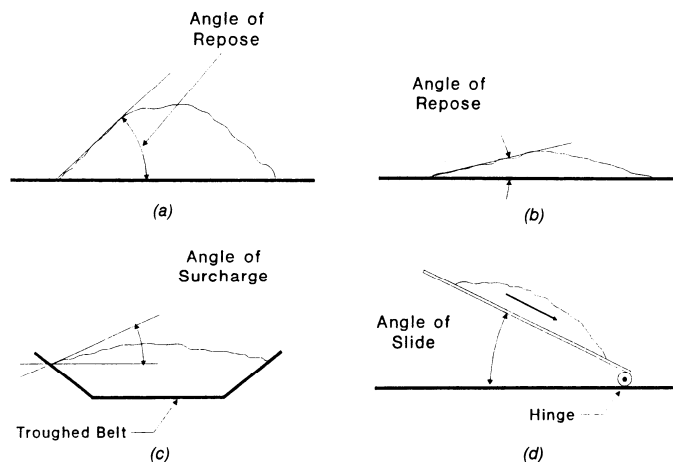


Imagen 4. Varios ángulos medidos sobre el material. (a) y (b) ángulos de reposo, (c) ángulo de sobrecarga y d ángulo de resbalamiento.

Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

Dependiendo de la aplicación, diferentes tipos de ángulos de reposo pueden ser determinados. Algunos de ellos pueden ser:

- Angulo de reposo (libre).
- Angulo de reposo comprimido.
- Impactado.
- Drenado.

Para una simple caracterización es suficiente determinar el ángulo de reposo (libre). Luego de seleccionar el tipo de transporte mecánico a utilizar alguno de los otros ángulos de reposo pudiesen ser necesarios.

El procedimiento adecuado para determinar el ángulo de reposo es el siguiente: se debe verter el material sobre una superficie plana a través de un embudo. El orificio del embudo debe ser circular y de cuatro a seis veces el diámetro de la partícula mayor y este no debe ser menor de una pulgada y media de diámetro. La boca de salida del embudo no debe estar a una distancia mayor de una pulgada de la superficie plana, con la finalidad de disminuir las fuerzas de cohesión que pudiesen generarse cuando el fluido impacta sobre la superficie.

El ángulo de reposo se verá siempre afectado por el tamaño de la , forma y porosidad de la partícula y también por el área superficial sobre la cual esta colocada. Estos mismos factores afectan también a la fluibilidad. En general, a menor ángulo de reposo mayor es la fluidez del material, y a mayor ángulo de reposo menor es la fluidez del material.

2.3.5 Ángulo de Sobrecarga.

Interpretando a Fayed (1997). El ángulo de sobrecarga puede ser definido como el ángulo de reposo dinámico. Éste es frecuentemente usado en el transporte

mediante correas. Es el ángulo formado con la horizontal después que el fluido ha sido manejado por la correa transportadora. El ángulo de sobrecarga o ángulo de reposo dinámico tiende a ser menor que el ángulo de reposo, debido a que el material cuando es transportado por la correa se encuentra en constante movimiento y esto hace que las partículas mas livianas del fluido tiendan a ir hacia la parte superior y las mas pesadas hacia la parte inferior de la pila, haciendo que la pila de material tienda a ser ligeramente mas chata en este caso. En la figura 1(c) se puede apreciar gráficamente ésta definición.

2.3.6 Ángulo de Resbalamiento.

Analizando a Fayed (1997), a Bates (2000). El ángulo de deslizamiento es el ángulo medido desde la horizontal hasta una superficie reclinable en el instante en el que una pila de material empiece a deslizarse sobre dicha superficie debido a su propio peso. Éste ángulo se puede determinar usando una lamina abisagrada en un extremo con un dispositivo que ayude a medir el ángulo de inclinación, la rugosidad de la superficie de la lamina es notado con los resultados. Esta prueba debe ser repetida varias veces con la finalidad de obtener una buena aproximación del ángulo. Es importante destacar que cada vez que se va a realizar la prueba, la superficie de la lámina debe estar limpia y seca.

2.3.7 Fluibilidad

“Es aquella propiedad de los materiales a granel caracterizada por la libertad de las partículas constitutivas o grupo de partículas a moverse individualmente cuando el material es puesto en movimiento por alguna fuerza”. (Fayed 1999).

La palabra *fluibilidad* ha sido asociada generalmente con una serie de características anteriormente discutidas como lo son:

- Tamaño de la partícula.
- Forma.
- Dureza.
- Densidad.
- Área superficial.

Muchas de los problemas encontrados en el manejo de materiales son debidos a la fluibilidad, por ejemplo si la fluibilidad de un material es muy baja, éste tiende a quedarse adherido a los elementos de la maquina transportadora, causando embotamientos de material a lo largo del mismo. El caso contrario es en el cual el material posee una alta fluibilidad y es casi imposible el transporte mediante transportadores mecánicos, y es en este caso que se deben estudiar otros tipos de medios de transporte.

2.3.8 Clasificación de los materiales que se pueden transportar.

Interpretando a Forcade (1999). La organización CEMA (Convey Equipments Manufacturers Association) ubicada en los Estados Unidos de Norte América, ha ideado un sistema de clasificación de los materiales basado en las características físicas y abrasivas entre otras. Éste código utiliza numero y letras muchas de las características del material. Un típico código de clasificación de materiales incluirá información tal como:

- Densidad del material.
- Tamaño máximo de las partículas presentes.
- Descripción de la fluibilidad.
- Descripción de la abrasividad.
- Descripción de las propiedades cualitativas.

La siguiente tabla explica cual es a codificación creada por la CEMA, el significado de cada uno se sus caracteres y cual es su posición en la codificación.

Característica Importante	Características contenidas en el material		Código Designado
Densidad	Densidad del material a granel		Lbs/ft ³
Tamaño	Muy fino	No. 200 tamizado por debajo de 0.0029" No. 100 tamizado por debajo de 0.0059" No. 40 tamizado por debajo de 0.016"	A ₂₀₀ A ₁₀₀ A ₄₀
	Fino	No. 6 tamizado por debajo de 0.132"	B ₆
	Granular	Menor a ½" Menor a 3" Menor a 7"	C _{1/2} D ₃ D ₇
	Aterronado	Menos de 16" Mas de 16" a ser especificado X = máximo tamaño actual	D ₁₆ D _x
	Irregular	Fibroso, fibras, cilíndricas, lascas, etc.	E
Fluidez	Fluidez muy alta		1
	Fluidez libre		2
	Fluidez normal		3
	Fluidez baja		4
Abrasividad	Abrasividad media. Índice 1-17		5
	Abrasividad moderada. Índice 18-67		6
	Extremadamente abrasivo. Índice 68-416		7
Propiedades Varias O Peligrosas	Se acumula y endurece Genera electricidad estática Se descompone cuando se almacena Inflamable Se convierte en plástico o tiende a ablandarse Muy polvoriento Se airea y llega a convertirse en fluido Propenso a causar explosiones Viscoso adherente Contaminante, uso peligroso Degradable, uso peligroso Despide gases tóxicos Altamente corrosivo Corrosión media Material hidróscopico Posee aglomerantes Presencia de aceites Compactados bajo presión Muy livianos y altamente fluibles - Altas temperaturas		F G H I J K L M N O P R S T U V W X Y Z

Taba No 4: Código de Clasificación de Materiales a Transportar según CEMA 1999.

Tomado de: "Screw Conveyor 101" Forcade 1999

2.3.9 Cómo leer correctamente el código del material desde la tabla de características físicas.

Utilicemos como ejemplo un fluido cualquiera:

49A₄₀35LMP

49	Se refiere a la densidad del fluido
A ₄₀	Es el tamaño de partícula
3	Es la clasificación de la fluibilidad del material
5	Es el tipo de abrasividad del material
LMP	Son las propiedades varias o peligrosas del material

2.3.10 Recomendaciones para la Selección del Sistemas de Elevación y Transporte.

Según Michelen V. (2006). Antes de escoger el tipo de sistema con el que se va a manejar el material, es útil contestar las siguientes preguntas:

¿Se trata de un trabajo con movimiento aislado de elevación, arrastre, remolque o empuje, o una secuencia de movimientos combinados entre sí?

¿Qué relación de peso y volumen se ve a mover? ¿Es el movimiento periódico-reciprocante o intermitente, o pueden promediarse como continuo?

¿Que tipo de material se va a manejar, es decir, a granel, empacado o líquido? Las características para el manejo, como el ángulo de reposo o el de deslizamiento son importantes.

Al responder a todas estas preguntas, y en conjunto con la experiencia en el transporte de material, deben proporcionar suficiente base para una selección adecuada de los equipos y maquinarias con los que se determinará el método de manejo. Una evaluación detallada de los distintos aspectos económicos, que ayuden a

obtener la menor inversión de capital y con bajos costos de operación y mantenimiento permitirán alcanzar el mejor método.

Antes de responder las preguntas anteriormente planteadas, es necesario presentar una descripción de los distintos tipos de sistemas de transporte de materiales mas utilizados en el manejo de materiales.

2.4 Descripción de los Diversos Tipos de Sistemas de Elevación y Transporte Mecánico Más Utilizados en la Industria.

Para realizar los distintos tipos de transporte de material, horizontal, inclinado o combinado, existe una diversidad de equipos que proporcionarán mayor eficiencia en la transferencia y el control del transporte de los materiales.

La selección del tipo de transportador a utilizar depende principalmente de los factores anteriormente descritos.

Seguidamente se procede a describir los equipos más utilizados en las operaciones de transferencia de material líquido, sólido o bifásico líquido-sólido.

2.4.1 Elevadores de cangilones

Interpretando a Fayed (1997) y a Targhetta (1970). El elevador de cangilones es uno de los pocos transportadores diseñados principalmente para elevar material. El primer recuerdo que se tiene de su uso data de los días de Babilonia, donde se usaban cestas atadas una tras la otra a una cuerda encadenada y se hacían circular entre dos tambores. Este sistema se usaba principalmente para transportar agua para la irrigación.

El simple diseño de los elevadores de cangilones los hacen una forma viable de elevar material en todo momento. El diseño vertical lo hace especialmente considerable cuando hay que elevar material y se cuenta con poco espacio proyectado sobre el piso, comparado con muchos de los transportadores mecánicos en el mercado. El costo inicial de éste equipo puede ser de moderado a alto, pero cuando hablamos de la cantidad de material que pueden transportar, éste equipo maneja óptimamente cantidades por encima de 1000 CFM o $28\text{m}^3/\text{min}$.

2.4.1.1 Configuración básica

La configuración básica de los elevadores de cangilones consiste en una cadena sin fin o correa muy fuerte que circula entre dos piñones o tambores respectivamente. Fijados a la cadena o correa se encuentran uniformemente espaciados los cangilones que serán los encargados de contener el material mientras es transportado.

El tren motriz del elevador de cangilones usualmente es ubicado en la parte superior del mismo. En la parte inferior se encuentra el piñón o tambor inferior, la boca de ingreso del material. La sección superior y la inferior están conectadas por la carcasa del elevador tal como se muestra en la siguiente figura.

Hay varios diseños de elevadores de cangilones usados para el manejo de materiales con diferentes propiedades de transporte. Estos diseños varían en sus métodos de carga y descarga, y en la forma y disposición de los cangilones. Esto se debe a que las diferentes propiedades del material afectan de diferentes maneras al transportador.

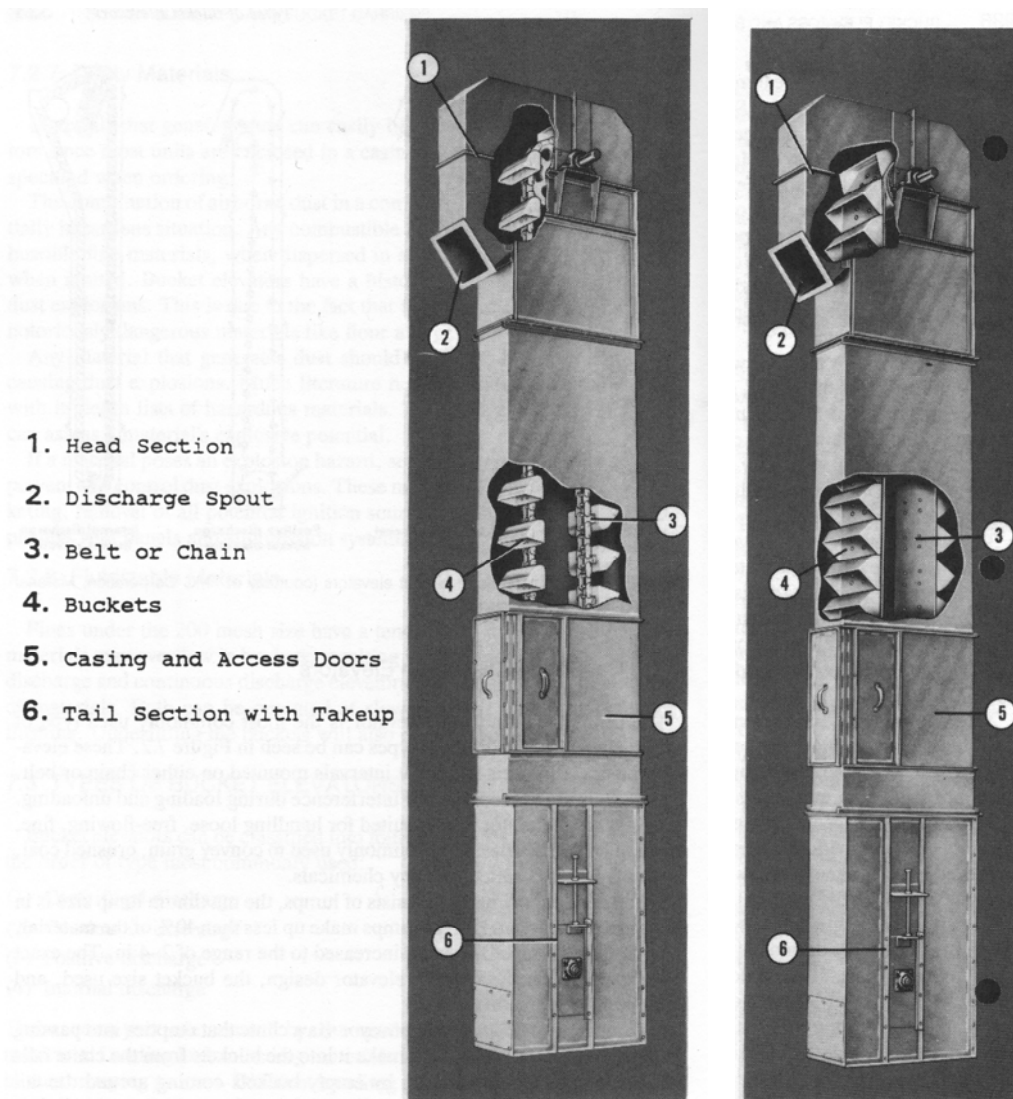


Imagen 5. Gráfico esquemático de los elementos que conforman un elevador de cangilones.
 1. Cabeza, 2. Boca de salida, 3. Cadena o correa, 4. Cangilones, 5. Carcasa y puerta de visita, 6. Sección inferior con recepción
Tomado de: "Mechanical Conveyors". Fayed 1997.

Para la selección de un equipo de esta magnitud es necesario tener un amplio conocimiento no solo de los elevadores sino también el comportamiento de los materiales involucrados, por lo que es necesario tener cierta experiencia debido a los factores envueltos en el sistema.

Inicialmente, los elevadores de cangilones se utilizaban para elevar cereales pero luego se uso se extendió al traslado de otros materiales como el carbón, polvo de cemento, cenizas entre otros materiales con muy bajo contenido de agua, es decir, materiales secos.

2.4.1.2 Principales componentes de un elevador de cangilones.

Interpretando a Michelena (2006). Los principales componentes de un elevador son:

La Base: es la sección inferior del elevador y existen varios tipos dependiendo del tipo de elevador, el tipo más crítico es el autosoportado ya que debe tener la capacidad para aguantar el peso total del equipo, el del material a conducir, además de las vibraciones presentes durante el funcionamiento del equipo.

Una característica importante de la base son las compuertas cuya finalidad es permitir la extracción del material acumulado en él. Otra característica muy importante es que la polea tiene que estar bien balanceada además de contar con tornillos tensores que también permitan centrar el elemento sinfín.

La Cabeza: Es la parte superior del elevador y debe tolerar el peso total de la polea motriz, del elemento sinfín, los cangilones y el material a transportar. Para equipos con alturas considerables, mayor a 15 m, es aconsejable colocar algún dispositivo que evite el retroceso de la sección cargada del elemento sinfín en casos de paradas por forzadas, por falta de corriente eléctrica u otros factores. Para evitar problemas en el arranque del equipo es recomendable colocar un mecanismo de trinquete o un motor reductor con freno interno. (Ver Figura siguiente)



Figura 6. Cabeza de un elevador

Tomado de: http://www.dagostino-srl.it/elevadores_a_copa.htm

Las Piernas: Son las secciones que conectan la base con la cabeza y a través de la cual se mueve el elemento sinfín, por lo que debe tener dimensiones amplias que permitan una libre circulación del elemento sinfín en conjunto con los cangilones. Es necesario que las piernas posean ventanillas para inspección, además, con estas ventanillas es posible reemplazar los cangilones en caso de ser necesario. Para los elevadores de banda también es necesario que dispongan de una sección desarmable en la parte trasera que permita el corte de dicha banda cuando su estiramiento es excesivo. Si el elevador es autoportado es necesario considerar el peso del equipo, las fuerzas del viento y posibles movimientos sísmicos y otros efectos que pueden causar la caída del elevador al realizarse los cálculos para los tornillos de anclaje al suelo.

Las Bandas y cadenas: El elemento sinfín de un elevador puede estar compuesto por una banda de algodón y goma o de una o dos cadenas, la escogencia de una u otra opción depende del material y de la velocidad de operación.

Para los elevadores existen diferentes tipos de bandas, que se clasifican según los materiales de que están compuesto, como son: de algodón tejido y protegido contra la humedad, de lona de algodón recubierto con caucho, de lona reforzada con cuerdas de nylon o acero. Existen una serie de factores a considerar en la selección de las bandas, las cuales son:

- La resistencia a la tensión ya que debe ser capaz de soportar la máxima tensión, incluyendo los efectos por su propio peso, el peso de los cangilones, el peso del material y posibles impactos al arranque de la operación considerando cierto margen de seguridad.

- Resistencia al cizallamiento puesto que debe evitar el desprendimiento de los tornillos de sujeción cuando haya tracción ejercida por el peso de los cangilones, del material y otros impactos, es decir, debe evitarse el debilitamiento de la banda por los tornillos de sujeción de los cangilones.

- Estiramiento, esto es un factor importante para elevadores altos puesto que el valor debe ser mínimo.

- Protección contra la humedad, para esto se cuenta con los diferentes tipos de recubrimiento enunciados anteriormente.

- La erosión de la cara exterior de la banda, esto sucede por el contacto con el material en la zona de carga.

Adicionalmente, las bandas deben ser, por lo menos, 2,5 cm. más anchos que los cangilones para dar cierto margen de seguridad si se descarrila la banda, sin embargo, debe ser, por lo menos, 5 cm. menor que la polea motriz.

- La velocidad de la banda puede oscilar entre los 0,5 hasta 4 m/s , variando acorde al material a transportar, la forma del cangilón y la producción deseada.

Los Cangilones: Existen cangilones de varios tipos y se clasifican según sus características y su selección depende el trabajo que ejecuten. Las características más importantes son la línea de máxima capacidad y la proyección horizontal.

Los elevadores suelen tener velocidades relativamente altas y un paso entre cangilones lo menor posible para obtener la capacidad máxima de un equipo ya que así se evita la interferencia en la descarga del material. Se recomienda que el paso de los cangilones sea, como mínimo, igual que la proyección horizontal del cangilón.

La construcción de los cangilones depende exclusivamente del fabricante aunque, en general, los diseños de cangilones “rápidos” se realizan para evitar una descarga prematura además de asegurar una descarga completa. El diseño de los cangilones depende de la velocidad de trabajo y de las características del material.

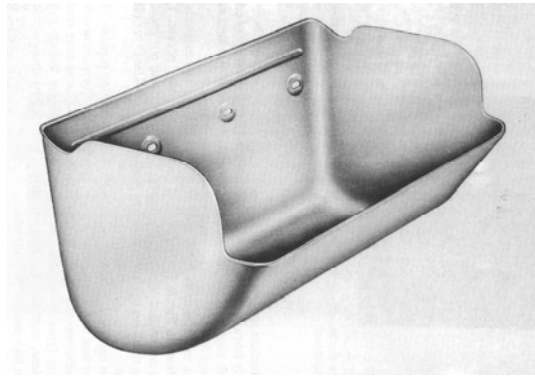


Imagen 7. Imagen de un cangilón
Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

2.4.1.3 Propiedades del Material que Afectan al Equipo.

Tomado de Fayed (1997).

Tamaño de la partícula: muchos de los elevadores de cangilones pueden ser usados para transportar partículas con tamaños mayores a 4”. En el caso de que el material posea partículas muy finas, se recomienda el uso de elevadores con descarga centrífuga y en el caso de grandes tamaños de partículas es recomendado utilizar un elevador del tipo continuo. En cualquier caso, el valor máximo del tamaño de la partícula va a ser determinado por el tamaño de los cangilones. Muchos materiales están constituidos por una cierta cantidad de partículas de gran tamaño y otras finas. En este caso, por ejemplo, el tamaño máximo de partícula para un elevador tipo descarga centrífuga con cangilones de 8” de ancho es de 3” cuando el

porcentaje de éstas partículas grandes es de 10% del material. Este se reduce a 1” cuando el porcentaje de partículas grandes en el material es del 90%. En los casos en que el material posee altas concentraciones de partículas de gran tamaño se recomienda usar un transportador con cadena en vez de correa ya que la correa se deteriora con mayor facilidad en estos casos.

Abrasividad: los materiales extremadamente abrasivos no pueden ser transportados con elevadores de cangilones ya que el costo del reemplazo de piezas deterioradas por desgaste puede llegar a ser muy elevado. En el caso que los materiales sean moderadamente abrasivos, se recomienda que el elevador sea tipo continuo de correa, porque este posee una menor velocidad de funcionamiento lo que reduce el efecto de abrasividad sobre las piezas de la maquina, y que sea de correa reduce la cantidad de elementos móviles y por lo tanto menos cantidad de elementos que se pueden deteriorar lo que reduce el costo de mantenimiento del aparato.

Materiales corrosivos: se pueden transportar materiales medianamente corrosivos utilizando un elevador del tipo continuo de correa, con correas especialmente diseñadas con polímeros para soportar corrosión.

Materiales a altas temperaturas: la mayoría de los elevadores de cangilones son usados para transportar materiales con temperaturas menores a 200°F (95°C); desde luego, los elevadores se pueden diseñar para trabajar de manera segura soportando materiales con temperaturas mayores a 1000°F (540°C).

Materiales altamente viscosos: los materiales pegajosos generalmente se quedan adheridos a las distintas partes del elevador de cangilones disminuyendo su capacidad y dificultando el buen funcionamiento de las partes móviles, por lo que no se recomienda utilizar este tipo de maquinas para transportar materiales con esta característica.

Materiales frágiles: se recomienda utilizar elevadores en donde las velocidades de funcionamiento sean bajas tales como los de descarga positiva y los de descarga continúa. Reduciendo la velocidad de trabajo se disminuyen las fuerzas que traen como consecuencia la degradación del material.

Materiales polvorientos: estos materiales generalmente se transportan con este tipo de maquinas ya que a lo largo de todo su recorrido se encuentra encerrado por la carcasa del equipo. la combinación del material polvoriento en un espacio confinado propicia una situación de peligro. El polvo de materiales combustibles y muchos aparentemente no combustibles suspendidos en el aire pueden causar una fuerte explosión cuando se produce una chispa, por lo que en estos casos se deben prevenir las chispas dentro de la maquina para así evitar explosiones del material.

Materiales con alta fluibilidad: estos materiales tienen la capacidad de fluir muy fácilmente por consiguiente pueden desbordarse en el cubo a lo largo de todo el recorrido, esto disminuye la capacidad de la maquina y a su vez la eficiencia de la misma. Para evitar este problema, el elevador debería funcionar a velocidades muy bajas lo que produciría más problemas en el momento de la descarga.

2.4.1.4 Tipos de Elevadores de Cangilones.

Interpretando a Fayed (1997) y a Targhetta (1970). Los elevadores de cangilones se pueden clasificar principalmente en 4 grupos. A continuación están listados en orden según la frecuencia con la que son utilizados.

- Descarga centrifuga.
- Descarga continua.
- Descarga positiva.
- Descarga interna.

Estos transportadores están nombrados según el método mediante el cual descargan el material. La carga y descarga del material suele ser el paso mas engorroso en el proceso de transporte con este tipo de maquinas, por lo que cada diseño posee sus propios meritos en el manejo de materiales con cierto tipo de características. La siguiente imagen muestra un esquema de los 4 tipos de diseño de elevadores.

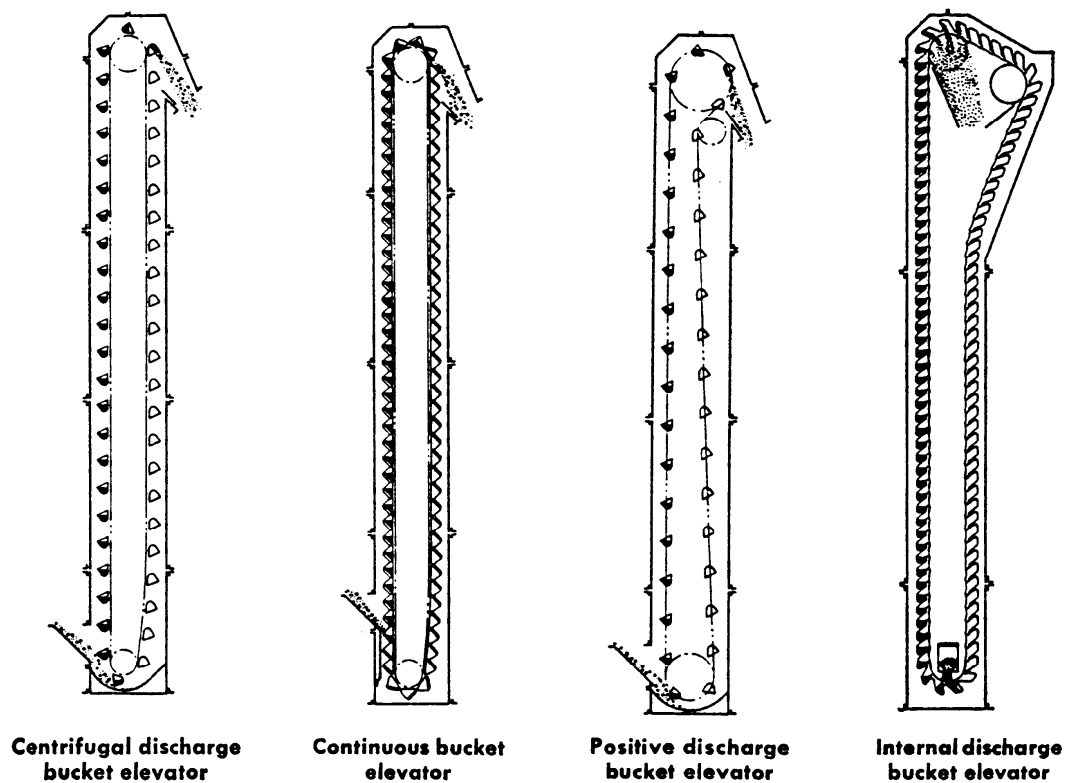


Imagen 8. Gráfico esquemático de los 4 principales tipos de Elevadores de Cangilones usados con mayor frecuencia. De izquierda a derecha son: de descarga Centrifuga, continuo, descarga positiva y descarga interna respectivamente.
Tomado de: "Mechanical Conveyors". Fayed 1997.

2.4.1.4.1 Elevador de descarga centrifuga:

El elevador de descarga continua es el tipo más comúnmente utilizado de los elevadores de cangilones. Este tipo de elevadores se caracteriza por tener los

cangilones separados entre sí por una distancia equivalente a otro cangilón, como se muestra en la figura anterior, con la finalidad de evitar interferencias cuando se cargue y descargue el material. Este tipo de elevadores es altamente recomendado para transportar materiales sueltos, con alta fluibilidad, finos tales como: granos, carbón molido, arena, arcilla, azúcar y químicos secos. Estos elevadores trabajan a altas velocidades, suficientes para asegurar que el material es descargado gracias a fuerzas centrífugas generadas cuando el cangilón pasa por el cabezal circular, piñón tambor de mismo.

2.4.1.4.2 Elevador de descarga continua:

El elevador de descarga continua está diseñado específicamente para transportar materiales con tamaños de partícula mayores de los que puede manejar un elevador de descarga centrífuga. Los cangilones están montados sobre cadenas o correas de forma continua, con poco o ningún espacio entre sucesivos cangilones. Un ejemplo típico se encuentra en la figura anterior.

Los elevadores de descarga continua operan a velocidades bajas, para evitar las fuerzas centrífugas generadas en el cabezal circular. La descarga en este tipo de elevadores se realiza dejando que el material se desplace desde el cangilón que lo contiene pasando por la parte inferior del cangilón siguiente mientras que se encuentra dando el giro por el cabezal circular superior como se muestra en la figura anterior.

Debido a que este tipo de elevador trabaja a bajas velocidades, disminuyen las fuerzas que pueden generar fracturas en los materiales frágiles en la carga y descarga de los mismos, este elevador es altamente usado para el transporte de materiales de este tipo.

El elevador de descarga continua es generalmente mas costoso que e de descarga centrifuga. Debido a sus bajas velocidades de operación, es necesario colocar mayor cantidad de cangilones para poner manejar una mayor cantidad de material y, eventualmente, se deben colocar cangilones de mayor tamaño. Estos dos factores incrementan el valor del elevador.

2.4.1.4.3 Elevador de descarga positiva.

A diferencia del elevador de descarga centrifuga, el elevador de descarga positiva posee los cangilones instalados por sus extremos laterales sobre dos cadenas, las cuales se desplazan a través de los engranajes guías que están dispuestos de manera que el cangilón cuando se encuentre transitando por la zona de descarga pueda invertir su posición y de esta forma poder descargar el material contenido dentro de él. Un ejemplo grafico lo podemos observar en la imagen anterior. En rasgos generales al igual que los elevadores continuos, estos son elevadores que trabajan a velocidades bajas de no más de 120 PCM. Debido a su baja velocidad de operación la capacidad de material transportado es relativamente baja cuando es comparado con los sistemas anteriores, su máxima capacidad oscila entre 1400 PCH ($40\text{m}^3/\text{hr}$).

El elevador de descarga positiva es ideal para materiales que no descargan con facilidad en otro tipo de elevadores. Generalmente es utilizado para transportar materiales como carbón triturado, feldespatos, ebonita, semillas de alfalfa, etc.

2.4.1.4.4 Elevadores de descarga interna.

Este diseño es una especie de fusión entre un elevador de descarga positiva y uno continuo, con la diferencia que la descarga la hace en el cabezal superior hacia la parte interna del equipo, tal como se muestra en la figura anterior, este material es descargado en una tolva que lo direcciona hacia la parte externa del mismo. Este

equipo trabaja en un rango de velocidades de 40-100 PCM (12-30 m/min) y su capacidad de material es de alrededor de 1400 PCH (40 m³/hr).

Este tipo de equipo es generalmente utilizado para transportar materiales con alta fluibilidad, ya que por poseer la descarga interna, nada del material puede caer fuera del equipo y de alguna manera este será recogido por los cangilones en la parte inferior del equipo.

2.4.2 Transportadores de cadena

Analizando a Fayed (1997), a Targhetta (1970) y a Michelena (2006). Los transportadores por cadenas son una familia de transportadores que usan una cadena sin fin no solo para transmitir potencia, si no también para acarrear o impulsar el material hacia delante. El material es movido directamente por la cadena o por elementos adjuntados a ella.

Los transportadores de cadena son utilizados para transportar capacidades medias de material a lo largo de distancias menores a 30 mts. Son considerados típicamente caros ya que poseen un alto costo de mantenimiento y un alto consumo de energía.

Los transportadores de cadenas son utilizados cuando no existe ninguna posibilidad de colocar otro tipo de transportador mecánico.

2.4.2.1 Configuraron Básica.

Un típico transportador de cadenas consiste de una cadena sin fin entre dos engranes. El engrane de la descarga es el que usualmente se conecta al sistema motriz. Otros tipos de arreglos del sistema motriz son posibles según sea el caso o aplicación.

En este tipo de maquinas el material es transportado mediante una cadena sinfín con eslabones que tienen diferentes formas adjuntas a ellos, entre las que se encuentran: cucharas, láminas de arrastre, esqueletos voladizos, y muchas otras. A menudo, en arreglos bastante anchos, dos o más cadenas sinfín son utilizadas, montadas sobre engranajes acoplados sobre el mismo eje.

En la siguiente figura se muestra la configuración básica de un transportador de cadena y algunos tipos de cadenas que se pueden utilizar para el transporte del material.

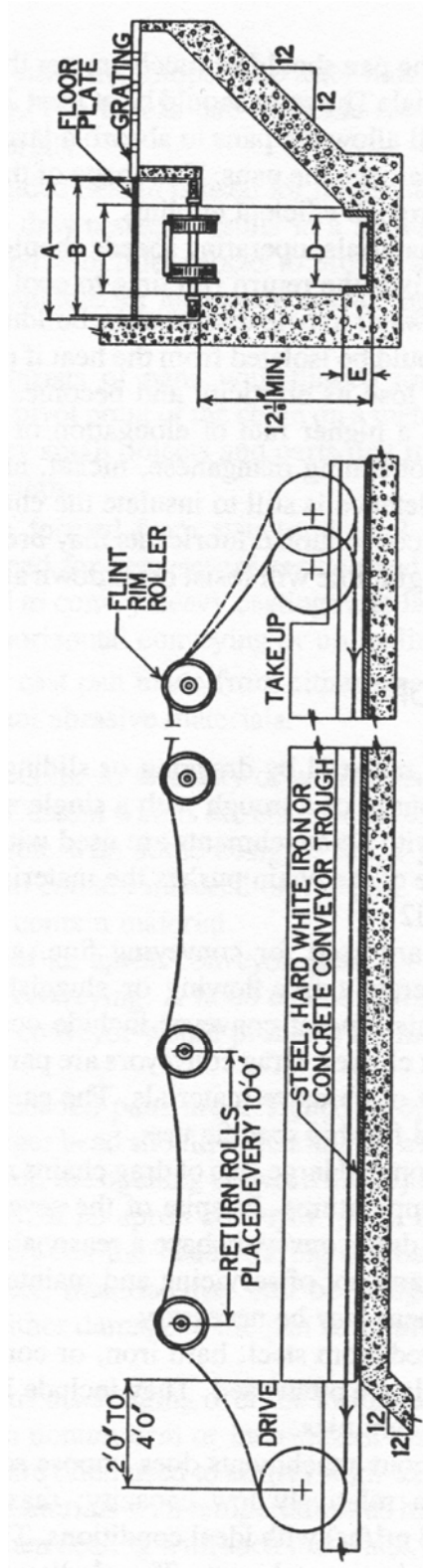


Imagen 9: Gráfico esquemático de la disposición típica de una transportador de cadenas
Tomado de: "Mechanical Conveyors". Fayed 1997.

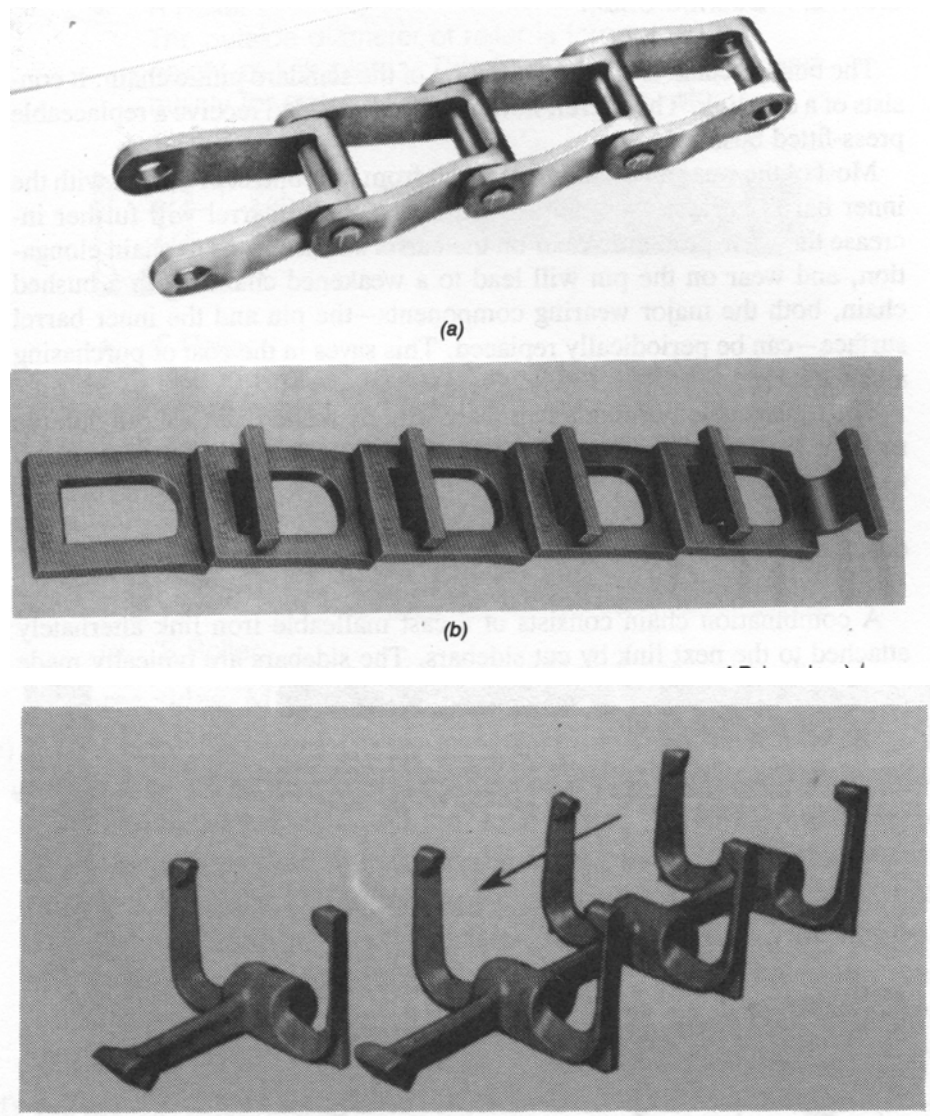


Imagen 10. Tres diferentes tipos de cadenas utilizadas para transporte de material en Los transportadores de cadena.

Tomado de: “Mechanical Conveyors”. Fayed 1997.

El movimiento de la cadena del transportador es transmitido por un engranaje, conocido como Sprocket, proporcionado por el motor asociado al transportador. En la parte superior, la cadena se desliza sobre unas guías o carriles mientras que en la parte inferior, la cadena se resbala en el fondo del transportador, de esta forma arrastra al material a medida que realiza su movimiento, la fricción interna del

material hace que el movimiento se realice en conjunto y a la misma velocidad de la cadena.

La capacidad de los transportadores de cadena oscila entre 1 y 75 T/h , aunque existen otros transportadores que llegan a mover un flujo de hasta 200 T/h que se utilizan para casos especiales. La longitud de los transportadores puede llegar hasta los 90 m mientras que el ancho de la sección transversal oscila entre 75 y 300 mm.

Los transportadores pueden ser de armazón sencilla o de armazón doble, los de armazón sencillo pueden realizar el movimiento en una sola dirección mientras que los de armazón doble permiten mover materiales diferentes, además de permitir el movimiento en las dos direcciones.

Los transportadores de cadena presentan ventajas entre las que se mencionan:

- Ocupan poco espacio transversalmente.

- No hay contaminación del material transportado, ni se genera polvaredas ya que el armazón del transportador es hermético.

- La posibilidad de efectuar movimientos de material de forma horizontal, inclinada y verticalmente con una sola unidad.

- Los equipos se limpian automáticamente gracias al desplazamiento de las cadenas ya que arrastran los materiales y lo llevan hasta la zona de descarga.

- Las cargas y descargas de material pueden realizarse en cualquier punto del transportador.

- requieren un mantenimiento mínimo del equipo.

2.4.2.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo

Tomado de Fayed (1997)

Fluibilidad del Material. Los materiales poco fluidos o pegajosos se pueden adherir a la cadena, esto puede significar un problema en la boca de descarga. Pueden causar que se bloquee el movimiento entre eslabones produciendo así la sobre carga del sistema motriz y el rompimiento de la cadena.

En cambio los materiales con alta fluibilidad también pueden representar problemas ya que pueden rebosarse sobre los eslabones impidiendo el buen funcionamiento de la maquina.

Tamaño de Partículas. El tamaño de la partícula no representa un problema significativo mas allá de la selección adecuada del tipo de eslabón que se va a utilizar, para partículas de gran tamaño se recomienda utilizar eslabones con paletas del tipo planas con el tamaño adecuado que permitan empujar el material con facilidad, para partículas finas se recomienda utilizar eslabones con paletas del tipo de arrastre con el suficiente tamaño para que impida que las partículas se escapen por los espacios que queden entre la paleta del eslabón y la carcasa de la maquina.

Abrasividad. La abrasividad el material puede ser fácilmente manejada por este tipo de maquinas si están adecuadamente diseñadas. Se deben eliminar las posibilidades de que el material entre en contacto con los elementos móviles tales como los engranajes a través de los cuales circula la cadena, se deben fabricar las paletas de los engranajes en materiales resistentes a la abrasión, es decir, de un material de mayor dureza que el que se va a transportar, hay que acotar que este hecho incrementa significativamente el costo de la cadena sin fin y por supuesto elevara el costo de mantenimiento a la hora de hacer la sustitución de la cadena sin fin.

Corrosión. Se puede manejar la corrosión diseñando correctamente la maquina procurando que el material a transportar entre en contacto con los elementos móviles de la misma y utilizando materiales resistentes a la corrosión.

Altas Temperaturas. Unas de las principales ventajas de los transportadores de cadena es que pueden transportar materiales a altas temperaturas con mucha facilidad. Para manejar materiales con temperaturas de alrededor de 315°C usualmente requiere consideraciones especiales debido a la dilatación de algunos de sus componentes, para temperaturas por encima de 1100°C es necesario que se utilicen materiales especiales para su construcción.

2.4.3 Transportadores de Tornillo o Tornillo de Arquímedes.

Analizando a Fayed (1997), a Targhetta (1970), Forcade (1999) y a Michelena (2006). Es uno de los métodos de mayor longevidad y es una modificación de los mecanismos utilizados en la antigüedad para transportar y elevar agua, el origen de este tipo de transportador se la atribuye a Arquímedes. A estos equipos también se les conoce como transportadores helicoidal o rosca sin fin. A través de su evolución, el transportador de tornillo ha sido altamente estandarizado. Organizaciones tales como CEMA [1,2] han establecido dimensiones y tolerancias estandarizadas para muchos de sus componentes y partes de estas maquinas.

Una forma de entender como funcionan estos equipos dará una indicación del tipo de materiales que pueden ser manejados con este tipo de transportadores.

El equipo está constituido por un tubo o una caja de fondo redondo en la cual está introducido un eje longitudinal dotado con una hélice que se encuentra montada sobre dicho tubo de forma rígida. Ésta hélice arrastra el material a través de la canal mientras el eje se encuentre girando. Las hélices mantienen el material en movimiento con el mismo sentido de rotación del sistema. Ésta característica facilita,

en los casos en que sea necesario, mantener el material que se transporta homogéneo, por ejemplo si se esta transportando una mezcla de cemento y piedra, éste movimiento impedirá que la mezcla se solidifique.

Otra de las características importantes de este tipo de maquina de transporte es que permite tener orificios de ingreso y descarga en varios puntos a lo largo de su recorrido. También podemos contar entre las bondades de los transportadores de tornillo la capacidad que tienen de elevar material en ángulos menores a 45° , pero haciendo algunas modificaciones se pueden transportar en ángulos que van desde los 45° hasta los 90° . También además de mover materiales es capaz de realizar operaciones de diversos procesos tales como:

- Enfriamiento y calentamiento
- Mezclado
- Extracción de fluidos
- Compactación o aireación
- Reducción de tamaño de partículas (ruptura de grumos)

La gran desventaja de los transportadores de tornillos es que no son autolimpiantes y generalmente su mantenimiento es bastante tedioso de realizar en algunos casos.

2.4.3.1 Configuración Básica.

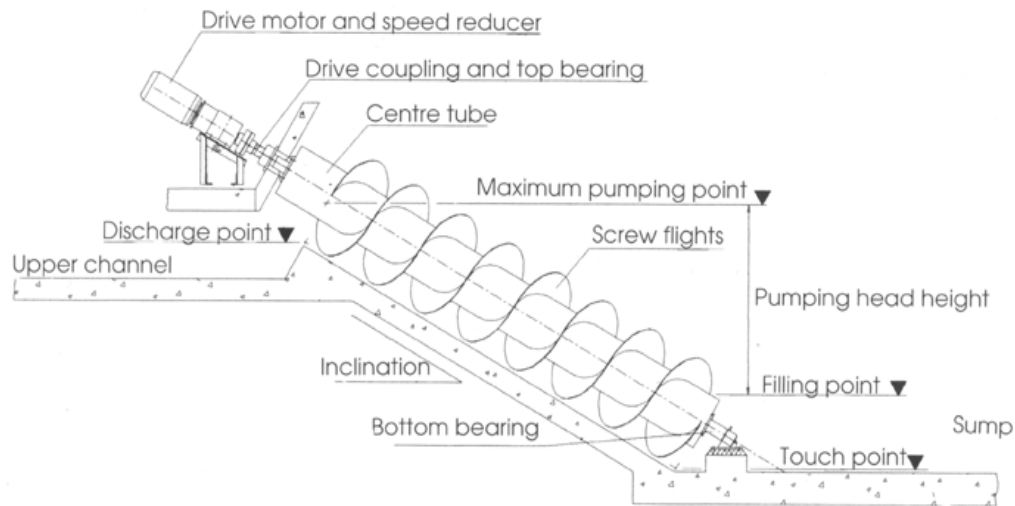


Imagen 11. Diagrama de configuración típica de transportadores de tornillo o Tornillos de Arquímedes

Tomado de: <http://staff.iha.dk/abl/undervisning/STR1/str.htm>

La figura anterior nos muestra la configuración básica de un transportador de tornillo. En la parte superior se encuentra el motor y la caja reductora de velocidad de engranes; éste sistema se encuentra acoplado al eje del tornillo mediante un sistema de acople y molineras de apoyos. En la parte intermedia se encuentra el tornillo conformado por una hélice fijamente soldada a un eje. En la parte inferior hallamos la molinera inferior acoplada al extremo mas bajo del eje del tornillo. Éste sistema se puede encontrar tanto en posición horizontal como inclinado como se muestra en la figura. Generalmente el tornillo se encuentra rodeado por una superficie curva que lo envuelve total o parcialmente. Sobre ésta superficie, también llamada carcasa, es arrastrado el material a transportar, desde la boca de succión hasta la descarga.

Existen infinidad de variaciones de la configuración anteriormente descrita que se han venido realizando a lo largo de los años para poder adaptarse a cada uno de los casos en donde se han instalado tornillos de transporte.

Entre los desarrollos mas importantes que se han realizado entorno a los transportadores de tornillo es que se e han agregado sistemas de control de velocidad para controlar la velocidad de transporte de material y de esta manera poder ser utilizado de manera mas eficiente en diversos tipos de procesos de transporte o alimentación de material.

También se ha destacado como un excelente elemento de alimentación de material, siendo usado para establecer una tasa uniforme de alimentación de material. Para estos casos es necesario agregar elementos especialmente diseñados que variarían significativamente la cantidad de componentes que se muestran en el grafico de configuración básica de un transportador de tornillo.

2.4.3.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo.

Analizando a Fayed (1997) y a Forcade (1999). Para muchas aplicaciones el uso del transportador de tornillo es rutinario, ya que si es seleccionado, configurado y alineado apropiadamente éste operará limpia y tranquilamente con un mínimo de mantenimiento. El mantenimiento debe incluir limpieza, lubricación y sustitución de piezas defectuosas. Cuando la maquina es utilizada rutinariamente, es posible que se deban reemplazar diversas piezas constantemente debido al desgaste en ellas. Aparte del desgaste, también puede existir la posibilidad de que el material transportado pueda afectar directamente la integridad de los componentes del tornillo. De la experiencia obtenida de fabricantes de transportadores de tornillos se han podido clasificar la forma en que algunas propiedades de los materiales manejados pueden afectar el funcionamiento del equipo y de sus partes. Algunas de éstas características son:

Abrasividad del material: ésta es una de las más adversas características a las que se puede expones un transportador de tornillo debido a que el movimiento característico del tornillo hace que el material se deslice sobre toda la superficie de la

hélice así como también sobre la del eje favoreciendo de esta manera el desgaste o abrasión del material de cual se encuentran manufacturados. La manera más recomendada para el transporte de este tipo de materiales es disminuyendo la superficie de contacto junto con la velocidad de rotación, esto disminuirá el desgaste sobre la superficie del tornillo al disminuir las fuerzas que se generan en el desplazamiento del material.

Materiales Corrosivos: los materiales corrosivos pueden manejarse fácilmente utilizando componentes manufacturados en acero inoxidable, aluminio, níquel u otras aleaciones o recubrimientos especiales. En aplicaciones no abrasivas, el acero al carbono es una muy buena opción para la manufactura.

Fluibilidad del material: pueden ser manejados materiales con alto grado de fluibilidad como materiales a granel y que tiendan a ser volátiles, siempre y cuando se tomen las consideraciones necesarias para disminuir las pérdidas en los casos en que el material sea muy fluible, y evitar chispas cuando los materiales sea volátiles con la finalidad de evitar explosiones.

Materiales a altas temperaturas: se pueden manejar materiales a altas temperaturas con mucha facilidad utilizando tornillos elaborados en acero gris, también se pueden utilizar aleaciones con mayor resistencia al calor en casos en que sea necesario. También se puede enfriar o calentar el material manejado aplicando calor o frío en la carcasa del equipo utilizando camisas que la envuelvan en su totalidad y haciendo pasar a través de ellas calor o frío según sea el caso.

Tamaño de la partícula: esta limitado únicamente por las dimensiones del tornillo, se puede diseñar correctamente un tornillo que este en la capacidad de transportar partículas de grandes tamaños, flujos bifásicos sólidos-líquidos, líquidos-gas, etc.

2.4.4 Correas Transportadoras

Interpretando a Fayed (1997). Es el transportador mas ampliamente utilizado en la actualidad. Éste tipo de transportadores data de 1891 y fue utilizado por primera vez en New Jersey en la mina de nombre Ogden Iron Ore Mine. Donde se destaco ampliamente pudiendo transportar grandes cargas de material fuera de la mina.

La correa transportadora esta bien situada para el transporte de grandes cantidades de material, con la capacidad de soportar grandes tensiones se pueden transportar hasta 20000 toneladas de material por hora. La longitud o distancia que pueda transportar una correa transportadora esta solo limitada por la imaginación y el ingenio del diseñador.

En términos de las distancias y cantidad de material transportado, las correas transportadoras solo se pueden comparar con camiones de mucha capacidad. Históricamente, el camión había sido el mejor medio de transporte para transportar el oro fuera de las minas, esto fue hasta los años 1970s cuando la correa transportadora paso a ser una muy buena opción en la cual pensar. Esto fue debido al incremento de la gasolina y de las restricciones ambientales impuestas por los gobiernos de varios países.

Las correas transportadoras son muy flexibles en los arreglos en las que ellas se pueden instalar. Una vez que el material se encuentra depositado a lo largo de la correa transportadora, ésta esta en la capacidad de manipularlo versátilmente en distintas direcciones a lo largo de su recorrido antes de alcanzar su destino final. (Ver Fig. 12)

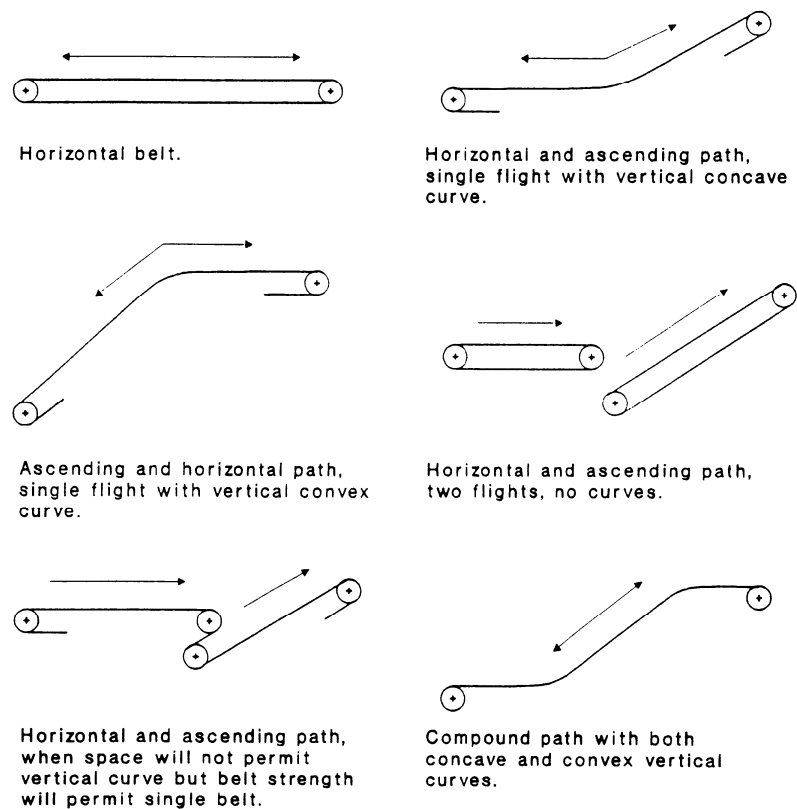


Figura 12. Diferentes arreglos de correas transportadoras.

Tomado de: "Mechanical Conveyor, Selection and Applications". Fayed. 1997

2.4.4.1 Configuración Básica

Un típico sistema de correa consiste en una correa tensionada entre dos tambores principales como se muestra en la figura 13. En la parte inicial de la correa, en la parte superior, es donde se soporta la mayor carga y en ese punto la correa se encuentra sostenida por una serie de rodillos que están escasamente espaciados entre sí, esto con la finalidad de soportar el impacto del material cuando éste cae y golpea la correa.

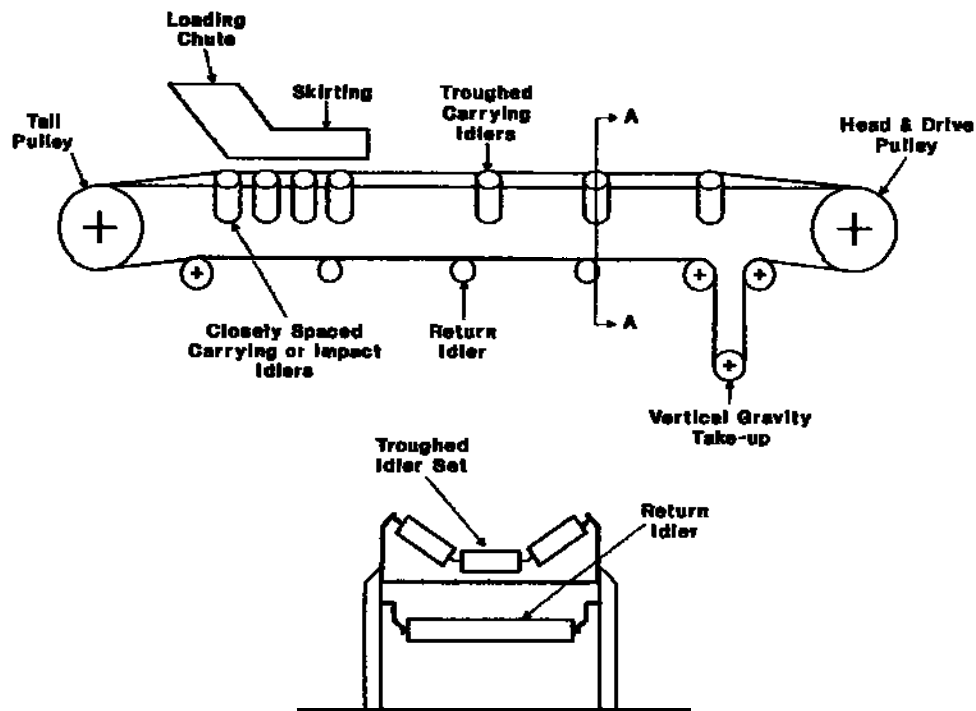


Figura 13. Configuración básica de un sistema de correa transportadora.
Tomado de: "Mechanical Conveyor". Fayed. 1997

La tensión de la correa es mantenida por un rodillo que por lo general es bastante pesado y se encuentra suspendido por la correa, ejerciendo de esta manera una fuerza que obliga a que la correa se mantenga tensada. En la figura 13 este tambor se encuentra identificado con su nombre en inglés Vertical Gravity Take-up.

El campo de aplicaciones de las correas transportadoras abarca el transporte de un sin fin de materiales, pero es importante al hacer la selección de éste equipo considerar la cantidad de material que se va a transportar y la distancia a través de la cual se va a hacer, ya que éste tipo de transportador es bastante eficiente cuando se trata de mover grandes cantidades de material, en cuyo caso se vuelve un sistema de transporte bastante eficiente y económico.

Los materiales que se recomienda transportar mediante correas están todos aquellos que los productos de excavaciones mineras, vidrio molido, rocas, materiales de densidades bastante altas.

Así como las correas transportadoras poseen elementos primarios o fundamentales, también poseen elementos y sistemas secundarios que no dejan de ser igual de importantes que los primarios, alguno de estos son: rodillos laterales de alineación, tolva de ingreso, los elementos de limpieza de la correa, sistemas elaborados de tensión, sistema motriz, entre otros.

2.4.4.2 Propiedades del Material que Afectan al Equipo

Tomado de Piayed (1997)

Materiales abrasivos: los materiales abrasivos pueden disminuir la vida de muchos de los componentes de los transportadores de corra. Una considerable cantidad de desgaste ocurre en los puntos de carga, siendo estos los puntos en donde impacta el material con la correa. Correas resistentes a la abrasión pueden ser utilizadas para prolongar la vida de la máquina transportadora, pero también se deben tomar precauciones tales como remover los restos de material abrasivo de la correa luego de la descarga.

Materiales corrosivos: materiales corrosivos se pueden transportar en correas resistentes a la corrosión, reduciendo la carga y con un elaborado sistema de limpieza. El costo de dichas correas es bastante elevado lo que se traduce en el aumento de los costos de instalación y mantenimiento de la máquina.

Fluibilidad: materiales con alta fluibilidad pueden resbalar por la correa cuando ésta se inclina en ángulos grandes, correas especiales que posean paredes transversales pueden ser necesarias para poder realizar el transporte del material.

Tamaño de la partícula: se debe tener mucho cuidado cuando se cargan partículas de gran tamaño en correas transportadoras debido a que el esfuerzo generado por el impacto de una partícula de gran tamaño sobre la correa puede debilitarla o romperla con facilidad. También las partículas de gran tamaño están en la capacidad de deslizarse por la correa cuando esta se inclina en ángulos considerables, por lo general se utilizan correas que poseen cucharas que impiden este deslizamiento.

Materiales a altas temperaturas: materiales a altas temperaturas pueden ser transportados con facilidad utilizando correas especiales recubiertas con primeros resistentes a altas temperaturas, o también carcasas elaboradas en materiales como la fibra de vidrio. En casos extremos son utilizadas correas elaboradas con telas metálicas de materiales capaces de resistir altas temperaturas.

CAPÍTULO III

MÉTODO

En este capítulo se presenta una descripción del método utilizado, en donde se describen los pasos desarrollados durante la elaboración del prototipo de tornillo de transporte para lograr los objetivos. Se presentan datos experimentales obtenidos así como el diseño y fabricación del equipo y por último la descripción de las pruebas realizadas.

3.1 Definición del Tipo de Transporte a Realizar.

En primer lugar, para realizar la selección del sistema de elevación y transporte, se va a definir cómo debe ser el transporte del fluido a través del banco de pruebas, respondiendo las preguntas hechas en el apartado 2.3.10 del capítulo anterior.

1. ¿Se trata de un trabajo con movimiento aislado de elevación, arrastre, remolque o empuje, o una secuencia de movimientos combinados?

Se trata de realizar un único movimiento de elevación desde un pequeño tanque de depósito que se encuentra en la parte inferior del banco de pruebas hasta el depósito que se encuentra en la parte superior del mismo. Existe una distancia horizontal entre ellos de aproximadamente 2.67 m y una elevación de alrededor de 2.69 m. esto implica una inclinación de 45° aproximadamente.

2. ¿Qué relación de peso y volumen se va a mover? ¿Es el movimiento periódico-reciprocante o se puede promediar como continuo?

Se desea transportar un fluido granular hipercntrado con concentración entre 5% y 30% V/V, lo que implica un rango de densidades de 1.08×10^3 a 1.48×10^3

Kg/m³, a una razón de entre 1.0 m³/min. El movimiento debe ser promediado como continuo, con la finalidad de mantener un flujo constante a lo largo de toda la canal donde se van a realizar los estudios en el banco de pruebas.

3. ¿Qué tipo de material se va a manejar, es decir, a granel, empacado o líquido?

El material que se va a manejar se puede idealizar como líquido arcilloso, compuesto por arcilla de kaolín y agua. El fluido arcilloso posee la siguiente clasificación 65D₃25, según el código de clasificación de materiales CEMA (Ver tabla 4), es un fluido granular con una densidad promediada de 65Lb/ft³ (1042.2kg/m³) por CEMA, presentando partículas o grumos formados con tamaños máximos no mayores a 3”, el número 2 indica que es un material que fluye normalmente con una apreciable disminución de esta propiedad cuando se aumenta su densidad por encima de 30% en volumen, el número 5 se refiere a que es un material medianamente abrasivo.

Fluido a Utilizar	Arcilla de Kaolín (Kaolin Clay)
Codificación del material según CEMA	65D ₃ 25

TABLA N° 5: Clasificación del material a manejar según SEMA. (Ver Anexo C)

3.2 Determinación del Ángulo de reposo y el Ángulo de resbalamiento del fluido.

Entre algunas de las propiedades relevantes para el diseño de algunos sistemas de transporte se encuentran los ángulos de reposo y resbalamiento. Estos ángulos pueden ser fácilmente determinados experimentalmente siguiendo los siguientes procedimientos.

Vale acotar que debido a la magnitud de éste trabajo, hemos decidido realizar una aproximación de éstos ángulos que serán los que utilizaremos para los cálculos de diseño y estimación de algunas propiedades físicas.

3.2.1 Estimación del Ángulo de Reposo

Para estimar el ángulo de reposo, se deja caer el fluido sobre una superficie plana y luego de esperar alrededor de 5 minutos. Posteriormente al haber pasado el tiempo suficiente, se procede a tomar una fotografía desde una vista frontal para luego sobre ella poder estimar el ángulo de reposo, geométricamente, utilizando herramientas gráficas como se muestra a continuación. Vale acotar que la cámara se encontraba colocada sobre un trípode y fue nivelada con un nivel de burbuja para asegurar su horizontalidad.

1.2.1.1 Estimación Tipo.

Los experimentos anteriores se realizaron 5 veces cada uno, arrojando como resultado los datos en la siguiente tabla. Es importante destacar que no se debe tomar en cuenta el ángulo que forma el líquido justo en el borde inferior, donde entra en contacto con la superficie, ya que en este punto siempre se formará una curvatura que no representa el ángulo a medir.

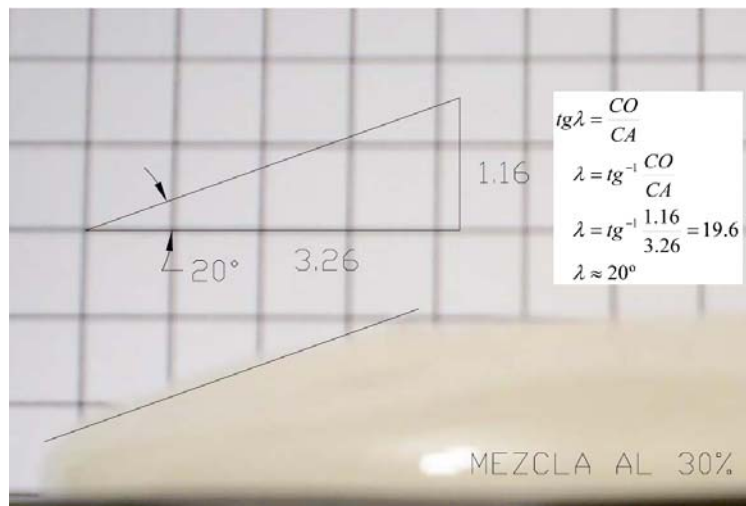


Figura 14. Ángulo de reposo aproximado. Mezcla de arcilla de kaolín al 30% V/V.

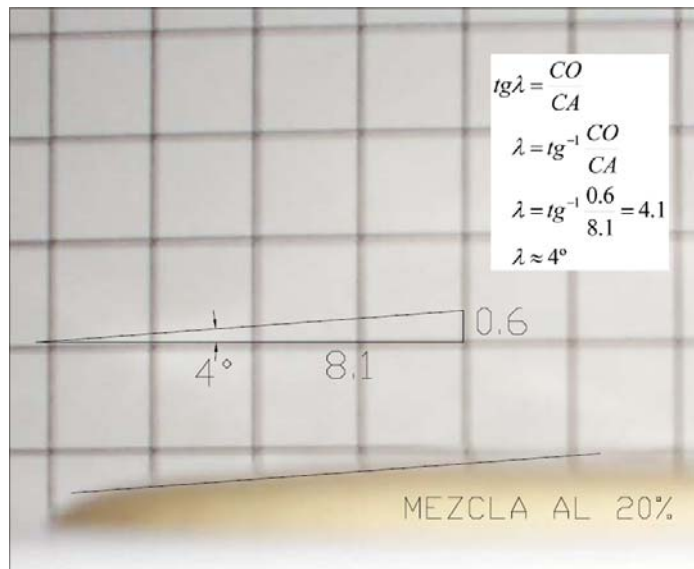


Figura 15. Ángulo de reposo aproximado. Mezcla de arcilla de kaolín al 20% V/V.

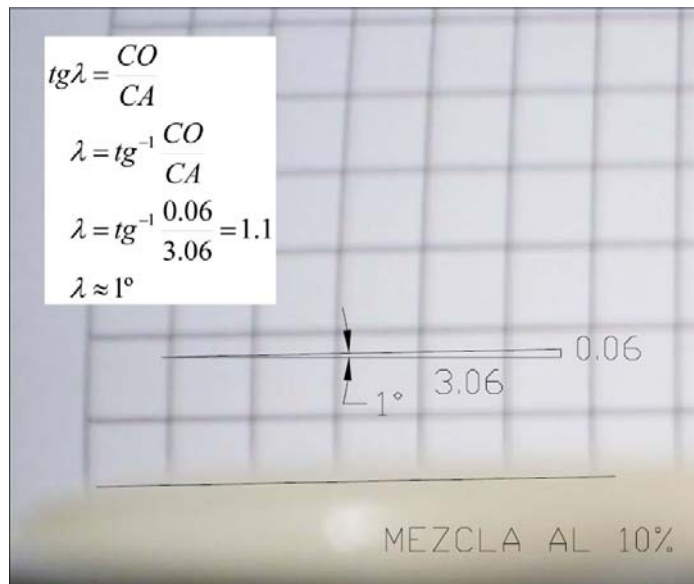


Figura 16. Ángulo de reposo aproximado. Mezcla de arcilla de kaolín al 10% V/V.

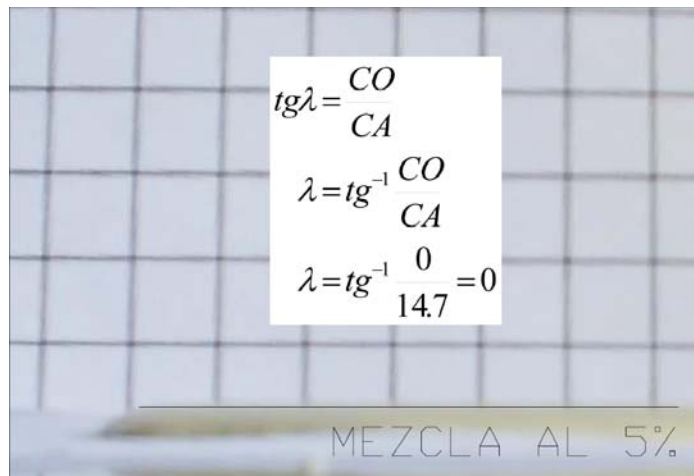


Figura 17. Ángulo de reposo aproximado. Mezcla de arcilla de kaolín al 10% V/V.

3.2.2 Estimación del Ángulo de Resbalamiento

El ángulo de resbalamiento fue determinado colocando sobre una superficie plana de acero al carbono, mismo material del que será construido el tornillo, bien limpia y seca una muestra del fluido, luego se fue inclinando hasta lograr que el material resbalase sobre la superficie. En éste punto se tomo una fotografía para luego determinar el ángulo que formaba la plataforma con la horizontal utilizando

herramientas gráficas tal como se muestra en las siguientes figuras. De igual manera que en el experimento anterior, la cámara se encontraba instalada sobre un trípode y nivelada horizontalmente.

Los experimentos anteriores se realizaron 5 veces cada uno y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

3.2.2.1 Estimación Tipo

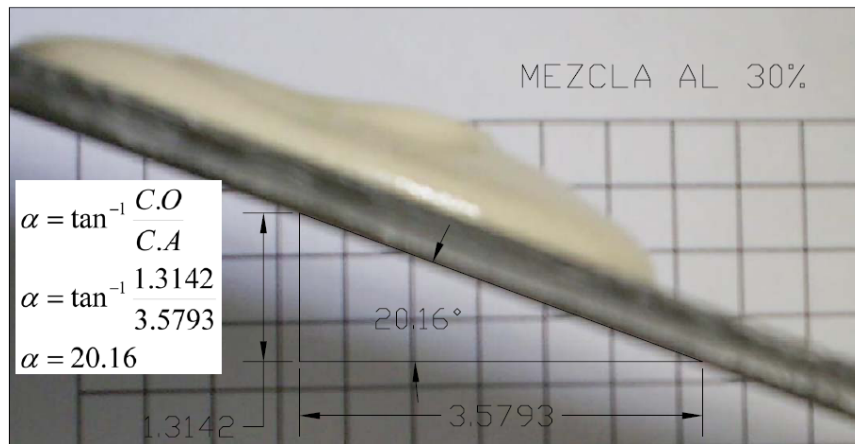


Figura 18. Ángulo de resbalamiento para la mezcla de arcilla de kaolín al 30% V/V.

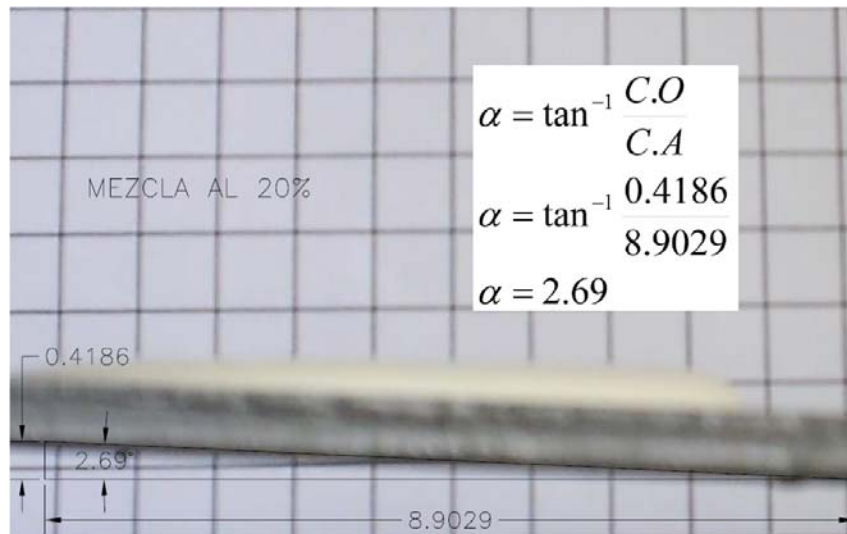


Figura 19. Ángulo de resbalamiento para la mezcla de arcilla de kaolín al 20% V/V.

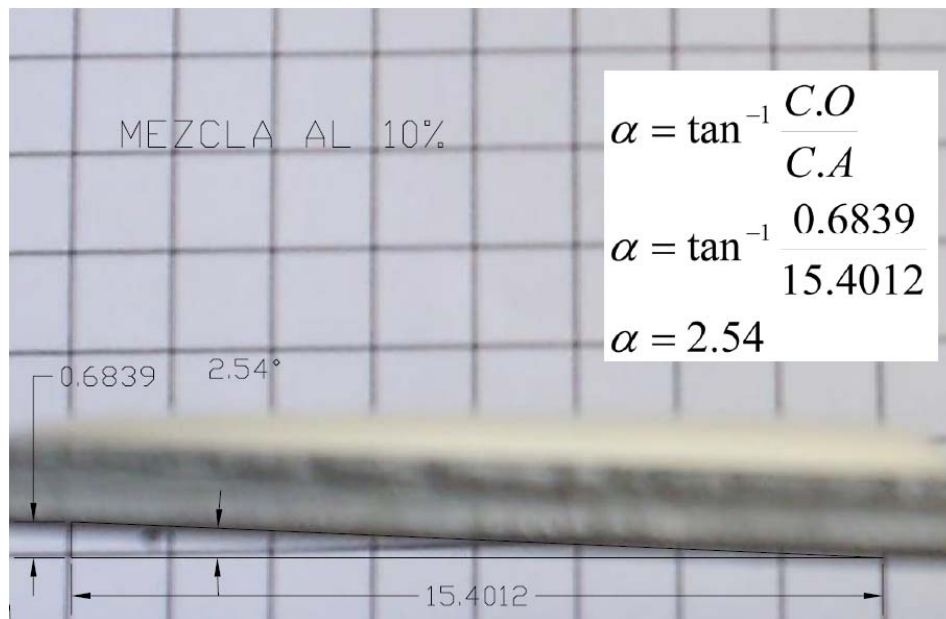


Figura 20. Ángulo de resbalamiento para la mezcla de arcilla de kaolín al 10% V/V.

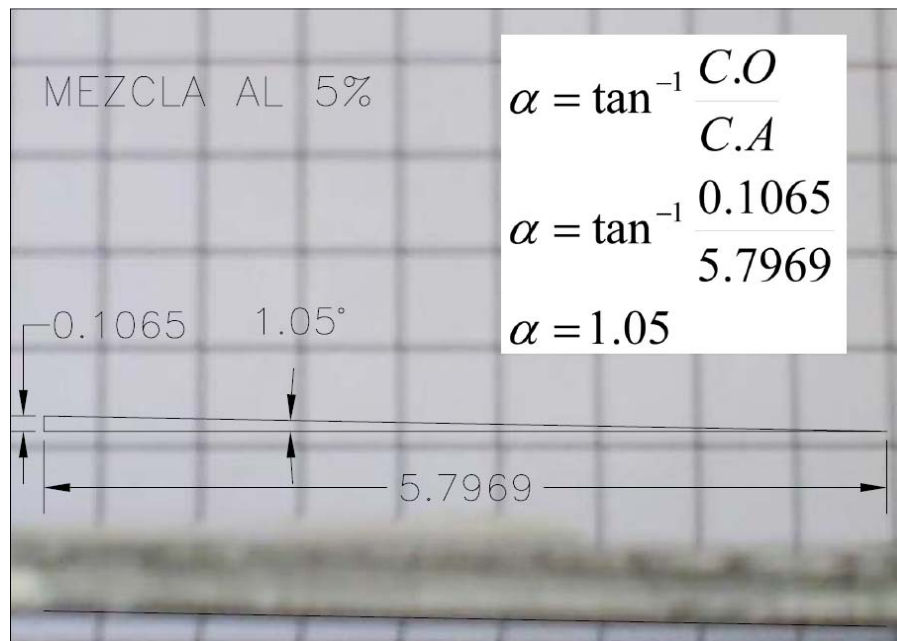


Figura 21 Ángulo de resbalamiento para la mezcla de arcilla de kaolín al 5% V/V.

3.3 Selección del Método de Transporte.

Conociendo las características particulares de algunos de los más importantes de los equipo utilizados para transportar materiales, y cómo las características propias del material a transportar influyen en el buen funcionamiento y rendimiento de éstos, así como también cómo debe ser el movimiento del fluido en el espacio, qué relación de peso y volumen debe manejarse y qué tipo de material se debe manejar, se posee la suficiente información para realizar un cuadro comparativo en el cual se encuentren cada una de las características del material a transportar y cómo influyen éstas en cada una de las maquina, para así poder realizar la selección del medio de transporte mas adecuado para el fluido.

A continuación procederemos a realizar dichos cuadros tratando de sintetizar los efectos, ventajas y desventajas que produce el fluido a transportar sobre cada una de las maquinas que ya hemos mencionado a lo largo de este trabajo de investigación, con la finalidad de poder determinar cual es la maquina mas adecuada para el transporte del fluido.

	ABRASIVIDAD	TEMPERATURA DEL MATERIAL	ANGULO REPOSO, SOBRECARGA Y RESBALAMIENTO	FLUIDIBILIDAD	TAMAÑO DE PARTÍCULA	MATERIALES CORROSIVOS
ELEVADOR DE CANGILONES	Los materiales de alta abrasividad no se deben transportar por que el costo de reemplazo de sus partes es muy elevado. Los materiales de moderada abrasividad deben ser transportados en tipos continuos de correa ya que estas trabajan a poca velocidad y se reduce el efecto abrasivo.	Generalmente se trabaja con materiales con una temperatura menor a 95 °C aunque se pueden diseñar para trabajar a una temperatura de 540 °C.	La máquina no se ve afectada por los ángulos de reposo, sobrecarga y resbalamiento del material.	Los materiales poco fluidos tienden a quedarse adheridos a las distintas paredes del elevador disminuyendo su capacidad y dificultando su buen funcionamiento. Los materiales de alta fluidibilidad pueden desbordarse del cubo a lo largo del recorrido y disminuyen la capacidad y eficiencia de la máquina.	Pueden ser usados para transportar partículas de 4’’ o más. Para partículas finas se recomienda usar elevadores con descargas centrífugas. Para partículas de gran tamaño usar de descarga continua.	Se pueden transportar materiales medianamente corrosivos con un elevador de descarga continua y de correas especialmente diseñadas para soportar el grado de corrosión.
TRANSPORTADORES DE CADENA.	Puede ser fácilmente manejada evitando el contacto del material a transportar con los elementos de la máquina y utilizando materiales resistentes a la abrasividad.	Maneja materiales a altas temperaturas con mucha facilidad. Puede manejar hasta temperaturas sobre los 1100 °C.	No se ve alterado por los ángulos de reposo, sobrecarga o resbalamiento.	Los materiales poco fluidos o pegajosos pueden adherirse a los eslabones produciendo el bloqueo de movimientos entre eslabones y ruptura de la cadena. Los materiales muy fluidos se rebosan sobre los eslabones impidiendo ser transportados.	No representa problema alguno siempre y cuando se realice una buena selección del tipo de eslabón que se vaya a utilizar para poder acarrear la mayor cantidad de material posible.	Se pueden transportar materiales corrosivos diseñando especialmente los eslabones de la cadena sin fin.

CUADRO N° 1: Resumen de la influencia de las características físicas de los materiales en el funcionamiento de las diferentes máquinas de transporte.

	ABRASIVIDAD	TEMPERATURA DEL MATERIAL	ANGULO DE REPOSO, SOBRECARGA Y	FLUIDIBILIDAD	TAMAÑO DE PARTÍCULA	MATERIALES CORROSIVOS
TRANSPOR- TADOR DE TORNILO	Propiedad de algunos materiales bastante desfavorable para la máquina. Se contrarresta usando bajas velocidades y disminuyendo el área de contacto entre el material manejado y la hélice del tornillo	Fácilmente maneja materiales a altas temperaturas utilizando tornillos manufacturados en aceros grises. También se pueden aplicar otras aleaciones mas resistentes. Se puede enfriar o calentar el material usando una camisa alrededor de la carcasa por donde fluya el liquido enfriador o calentador.	Reposo: es importante para estimar la capacidad total del tornillo cuando se encuentra en posición inclinada. Resbalamiento: es un ángulo importante para calcular la fuerza de roce generada sobre la hélice para determinar la potencia requerida.	Puede manejar cualquier tipo de grado de fluibilidad siempre y cuando sean consideradas las características del material a transportar para el diseño de la hélice y la correcta definición de los intersticios entre la hélice y la carcasa.	No hay limitaciones en cuanto al tamaño de la partícula ya que el tornillo puede ser diseñado para el tamaño y la capacidad deseada. El tornillo también puede manejar materiales bifásicos, sólido-líquidos y líquido-gas sin producir desgaste en la hélice ya que trabaja a presión atmosférica.	Se pueden manejar con facilidad si el tornillo es manufacturado en aleaciones especiales o es recubierto con alguna protección como el galvanizado o aplicando esmaltes especiales.
CORREA TRANSPOR- TADORA	Los materiales abrasivos son capaces de desgastar con facilidad la correa. Se pueden utilizar correas especiales junto con sistemas de limpieza de la misma para alargar su vida útil.	Se pueden manejar materiales a altas temperaturas si se usan correas con recubrimientos especiales. En casos extremos se usan correas metálicas.	El ángulo de sobrecarga es importante para determinar la capacidad de la correa cuando el material se encuentra en movimiento.	Presenta problemas con materiales altamente fluidibles en planos inclinados ya que resbalan por la correa. Es necesario utilizar correas con paredes transversales que eviten el deslizamiento.	Hay que tener sumo cuidado en el ingreso ya que el impacto del material puede romper la correa. En planos inclinados se deben usar correas con cucharas especiales para evitar que el material se deslice por la misma.	Se pueden transportar utilizando correas resistentes a la corrosión y utilizando un sistema elaborado de limpieza.

CUADRO N° 1: (CONTINUACION): Resumen de la influencia de las características físicas de los materiales en el funcionamiento de las diferentes maquinas de transporte.

Entendiendo cuales son las características físicas del fluido a manejar y como afectan dichas características al funcionamiento de cada maquina podemos descartar de inmediato a las correas transportadoras que presentan mucha dificultad al manejar materiales altamente fluidos en planos inclinados. De igual manera podemos descartar al transportador de cadena que presenta una dificultad similar en el transporte de materiales altamente fluidos ya que éstos rebosan a los eslabones en el proceso de transporte, lo que disminuye drásticamente el rendimiento de la maquina. El elevador de cangilones no es una opción por su configuración vertical, ya que se necesita no solo elevar una cierta altura el material si no también transportarlo una cierta distancia horizontal y con este equipo no podemos realizar ambas operaciones. Por ultimo nos quedan los tornillos de Arquímedes o transportadores de tornillo, que están en la capacidad de manejar con facilidad materiales fluidos, pueden transportar medianamente abrasivos trabajando a velocidades relativamente bajas y pueden ser diseñados para manejar cualquier tamaño de partículas.

En conclusión seleccionamos un transportador de tornillo ya que éste posee la mayor cantidad de características favorables para el tipo de transporte que se debe realizar.

3.4 Diseño del Equipo.

En primer lugar debemos tabular los parámetros importantes para el diseño, que ayudaran a definir las dimensiones del equipo y algunos otros parámetros de funcionamiento.

La selección del diámetro externo del tornillo, del diámetro del eje y del paso del tornillo, se hizo mediante la realización de varias iteraciones manteniendo como dato fijo el caudal que se debe manejar y las R.P.M de salida del motor reductor que se encontraba disponible en el mercado.

Específicamente para la selección del diámetro externo del tornillo nos basamos en los diámetros y espesores estándares de tubos de PVC que existen en el mercado, ya que se va a utilizar un tubo de este tipo como carcasa externa del tornillo. Se seleccionó un tubo que posee 4" de diámetro externo y un espesor de 1.5 mm. Posteriormente, utilizando el catalogo de tubos estructurales de la empresa fabricante Conduven, se selecciono un perfil de tubo circular que soportara el peso total del tornillo con una deflexión máxima de 2.5mm, el cual se fijó en 1,5" (0.038m). Por último se selecciono el paso haciendo la debida iteración de manera que el caudal estimado este aproximado a 0.65 m³/min. El resultado obtenido para el paso fue de 30mm (0,03m). Estos parámetros son fundamentales para alcanzar el funcionamiento requerido del equipo.

El factor de llenado es el recomendado por CEMA en el libro Screw Conveyor 101, se refiere al porcentaje del tornillo que se encuentra lleno cuando éste se encuentra inclinado a 45° con respecto de la horizontal. En nuestro caso, este valor se encuentra estimado en 30%.

El ángulo de resbalamiento fue determinado experimentalmente, utilizaremos el valor para el caso mas desfavorable que seria para una mezcla con una concentración del 30% V/V, dicho valor es 20.03°.

El ángulo de resbalamiento utilizado se debe a que ésta es la mejor configuración que puede tener en el banco de pruebas para poder optimizar su funcionamiento y construcción.

A continuación se presenta una tabla con los datos relevantes para el dimencionamiento del tornillo y la definición de los parámetros de funcionamiento.

Diámetro externo del tornillo	D	0.095 mts.
Diámetro del eje del tornillo	d	0.038 mts.
Paso del tornillo	P	0.03 mts.
Factor de llenado	C ₁	30%
RPM de trabajo del tornillo	Na	30 RPM
Longitud del tornillo	L	3.5 mts.
Diferencia de altura entre el ingreso y descarga	Δh	2.75 mts.
Peso máximo del material a transportar	W	1460kgf/m ³
Ángulo de resbalamiento	φf	20.03°
Ángulo de inclinación del tornillo	β	45°

TABLA N° 6: Tabla de datos dimensionales necesarios para el diseño del equipo.

Se puede apreciar que la densidad del fluido que se tiene como dato, no corresponde a la densidad del fluido que se encuentra tabulado por CEMA pero de igual manera se sigue aplicando el criterio que define a los fluidos granulares hiperconcentrados.

3.4.1 Cálculo de capacidad

Para iniciar el cálculo de la maquina se procedie a realizar el cálculo de capacidad del equipo para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$q = C_1 \times \pi \times \left(\frac{D^2 - d^2}{4} \right) \times P \quad \text{Ec.1}$$

$$Q = q \times Na \times 60 \quad \text{Ec.2}$$

Con la Ec.1 se puede hallar el caudal que maneja una sola revolución de la hélice del tornillo. Con la ecuación 2 se encuentra el caudal de trabajo del tornillo en unidades de m³/hr.

Aplicando la Ec.1 y la Ec.2 se obtiene los siguientes resultados.

$$q = 0.3 \times \pi \times \left[\frac{0.095^2 - 0.018^2}{4} \right] \times 0.03$$

$$q = 5.39 \times 10^{-5} m^3$$

$$Q = 5.39 \times 10^{-5} m^3 \times 30RPM \times 60$$

$$Q = 0.63 \frac{m^3}{min}$$

3.4.2 Cálculos Estructurales y Potencia Requerida.

Luego de haber hallado el caudal de trabajo del tornillo, se procede a realizar los cálculos estructurales de la hélice del tornillo, para lo cual fue fijado el espesor de la lámina en 2 mm. y se seleccionó como material acero 1045, de donde se obtienen los datos físicos tabulados a continuación:

Espesor de la lámina de la hélice	b	2 mm.
Huella de la hélice	l	0.028 mts.
Resistencia a la fluencia del Acero 1020	Sy	2.5x10 ⁷ kgf/m ²
Modulo de elasticidad del Acero 1020	E	2.1x10 ¹⁰ kgf/m ²
Momento de inercia	I	9.64x10 ⁻¹² mts ⁴

TABLA N° 7: Tabla de propiedades y espesor de lámina del acero 1020

En el siguiente grafico se muestra el diagrama de cuerpo libre que representa la descomposición de fuerzas sobre la hélice del tornillo que serán las que utilizaremos para realizar los cálculos estructurales en dicha parte del tornillo.

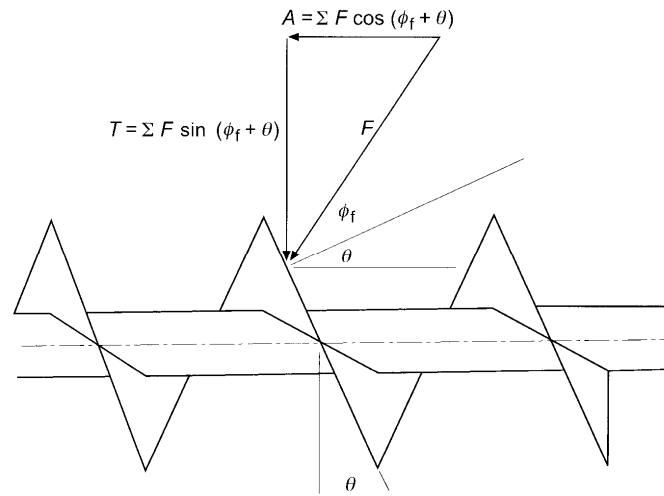


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre que muestra la descomposición de fuerzas sobre la hélice del tornillo.

Tomado de: “Guide to the Design, Selection and Application of Screw Feeders” Lyn Bates, 2000.

3.4.2.1 Cálculos Estructurales de la Hélice

Con las siguientes ecuaciones se procedió a determinar las componentes de las fuerzas y la deflexión máxima que presenta la hélice bajo la carga generada por el caudal de trabajo.

$$\theta = a \tan\left(\frac{P}{\pi \times D}\right) \quad \text{Ec.3}$$

$$F = \frac{q \times W}{\pi \times \frac{D^2}{4}} \quad \text{Ec.4}$$

Con la Ec.3 se determina el ángulo de inclinación de la hélice como se muestra en la figura 18. Con la Ec.4 se halla el esfuerzo generado por el material en una revolución de la hélice, éste esfuerzo está aplicado sobre su superficie de contacto y en dirección perpendicular a ella.

$$A = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times P \times F \times \cos(\theta + \phi_f) \quad \text{Ec.5}$$

$$T = 4 \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times P \times F \times \sin(\theta + \phi_f) \quad \text{Ec.6}$$

Con las ecuaciones 5 y 6 se calcula el trabajo necesario para mover el material en una revolución del tornillo en sus componentes longitudinales y transversales con un factor de seguridad igual a 4, tomando como referencia el eje longitudinal en la dirección de eje del tornillo. Nótese que en este cálculo interviene el ángulo de resbalamiento del fluido, ya que éste ángulo incrementa la dirección en la que se encuentra aplicada la fuerza F .

Para hallar la deflexión máxima que se presenta en la hélice, se idealizara el perfil de la misma y se supone una viga en voladizo como se muestra en la figura 19, para esto se utilizara la ecuación 7 que se muestra a continuación.

$$\nu = \frac{-\left(\frac{A}{P}\right) \times l^3}{8 \times E \times I} \quad \text{Ec.7}$$

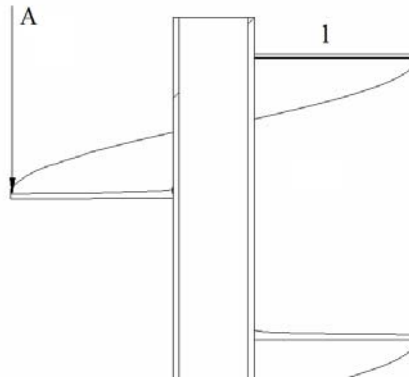


Figura 19. Esquema de aplicación de la fuerza para el cálculo de deflexión de la hélice idealizada como viga en voladizo.

Entonces, aplicando estas formulas con los datos que ya conocemos, obtenemos los siguientes resultados:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.03m}{\pi \times 0.095m}\right) \Rightarrow \theta = 5.73 \text{ deg}$$

$$F = \frac{5.39 \times 10^{-5} m^3 \times 1460 \frac{kgf}{m^3}}{\pi \times \frac{(0.095m)^2}{4}} \Rightarrow F = 11.04 \frac{kgf}{m^2}$$

$$A = \pi \times (0.095m)^2 \times 0.03m \times 11.04 \frac{kgf}{m^2} \times \cos(5.73 \text{ deg} + 20.03 \text{ deg})$$

$$\Rightarrow A = 0.08 Nm$$

$$T = \pi \times (0.095m)^2 \times 0.03m \times 11.04 \frac{kgf}{m^2} \times \sin(5.73 \text{ deg} + 20.02 \text{ deg})$$

$$\Rightarrow T = 0.04 Nm$$

Aplicando la Ec.7 se hallara la deflexión máxima de la hélice del tornillo idealizada como una viga.

$$\nu = \frac{\frac{0.08 Nm}{0.03m} \times (0.028m)^3}{8 \times 2.1 \times 10^{10} \frac{kgf}{m^2} \times 9.64 \times 10^{-12} m^4} \Rightarrow \nu = -2.07 \times 10^{-6} m$$

3.4.2.2 Cálculo de Potencia total Requerida

Ahora se procede a calcular la potencia necesaria para llevar a cabo el transporte del material a lo largo de todo el tornillo. Como datos se utilizaran los valores anteriormente obtenidos de capacidad, las componentes del trabajo necesario para mover el fluido en una RPM, la diferencia de altura la cual se debe elevar el fluido, la longitud del tornillo y el paso de la hélice.

$$Wr = \left(\frac{L}{P}\right) \times T \times \frac{Na}{9550} \quad \text{Ec.8}$$

$$W_m = \frac{Q \times W \times \Delta h}{52.5} \quad \text{Ec.9}$$

$$W_l = A \times \frac{Na}{9550} \times \left(\frac{L}{P} \right) \times \cos(\beta) \quad \text{Ec.10}$$

$$W_t = W_r + W_m + W_l \quad \text{Ec.11}$$

$$\tau = \frac{W_t}{Na} \quad \text{Ec.12}$$

Aplicando estas ecuaciones se obtendrán los siguientes resultados para la potencia total y el torque total requeridos.

$$W_r = \left(\frac{3.5m}{0.03m} \right) \times 0.04Nm \times \frac{30RPM}{9550} \Rightarrow W_r = 1.59 \times 10^{-3} W = 2.14 \times 10^{-6} hp$$

$$W_m = \frac{0.63 \frac{m^3}{min} \times 1460 \frac{kgf}{m^3} \times 2.75m}{52.5} \Rightarrow W_m = 7.87W = 0.01hp$$

$$W_l = 0.08Nm \times \frac{30RPM}{9550} \times \left(\frac{3.5m}{0.03m} \right) \times \cos(45 \text{ deg}) \Rightarrow W_l = 2.34 \times 10^{-3} W = 3.13 \times 10^{-6} hp$$

$$W_t = 2.14 \times 10^{-6} hp + 0.01hp + 3.13 \times 10^{-6} hp \Rightarrow W_t = 12.7W = 0.01hp$$

$$\tau = \frac{0.01hp}{30RPM} = 2.43Nm$$

3.4.2.3 Cálculo del eje del tornillo a torsión y pandeo.

En los cálculos de torsión y pandeo del eje de tornillo, se simplificaron y solo se asumirán el eje sin la hélice. Basados en teoría de fallas a pandeo y a torsión se verifico que el tubo seleccionado posee un factor de seguridad adecuado bajo la carga de diseño.

A continuación se tabulan los datos necesarios para realizar los cálculos en esta sección.

Diámetro externo del tubo	D=0.038m
Diámetro interno	d=0.031m
Espesor del tubo	e= 0.0025m
Longitud del tubo	l= 3.5m
Resistencia a la fluencia del Acero 1020	Sy=2.5x10 ⁷ kgf/m ²
Modulo de elasticidad del Acero 1020	E=2.1x10 ¹⁰ kgf/ m ²
Momento de inercia calculado para el perfil	I=4.45x10 ⁻⁸ m ⁴
Torque nominal del motor	τn=30Nm
Peso total del tornillo	Fo=10.39kgf

TABLA N° 8: Tabla de datos para el calculo de resistencia del tubo del acero 1020

Teniendo tabulados los datos necesarios, se procedió a definir las ecuaciones con las que verificaran el eje a torsión y a pandeo.

$$\psi = 0.5\pi \times Sy \times \left(\frac{D^4 - d^4}{16 \times \pi \times D} \right) \quad \text{Ec.13}$$

$$\nu_{\max} = \frac{Fo \times L^3}{192 \times E \times I} \quad \text{Ec.14}$$

Con la ecuación 13, se halla el factor de diseño o factor de seguridad para el estudio del tubo a torsión pura según la Teoría de Tensión Máxima por Esfuerzo Cortante, y con la ecuación 14 se halla la deflexión máxima del eje en el estudio del tubo a flexión.

Aplicando las ecuaciones 13 y 14 se obtienen los siguientes resultados:

$$\psi = 0.5 \times \pi \times (2.5 \times 10^7) \times \left(\frac{0.038^4 - 0.033^4}{16 \times 30 \times 0.038} \right)$$

$$\psi = 28.49$$

$$\nu_{\max} = \frac{10.39 \times 3.50^3}{192 \times (2.1 \times 10^{10}) \times (4.45 \times 10^8)}$$

$$\nu_{\max} = 2.48 \times 10^{-3} \text{ m}$$

3.4.3 Cálculo de Resonancia del Sistema.

Para realizar los cálculos de esta sección se poseen los siguientes datos:

Masa que causa la deflexión del eje	M=10.38kg
Frecuencia excitatriz del sistema (RPM del motor)	$\omega=3.14\text{Hz}$
Modulo de elasticidad del Acero 1020	$E=2.1 \times 10^{10} \text{ kgf/ m}^2$
Momento de inercia calculado para el perfil	$I=4.45 \times 10^{-8} \text{ m}^4$

TABLA N° 9: Tabla de datos para el calculo de resonancia del eje del acero 1020

Para el calculo de resonancia del sistema se deben idealizar el tornillo como una viga para de esta manera poder definir el coeficiente de amortiguación lineal K como el de una viga.

Éste coeficiente se define con la ecuación número 15:

$$k = \frac{E \times I}{L^3} \quad \text{Ec.15}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{Ec.16}$$

Con la ecuación 16 se halla la frecuencia con la que oscila el tornillo, es decir, da la frecuencia natural del sistema.

Resolviendo ambas ecuaciones con los datos que se posee se obtienen los siguientes resultados:

$$k = \frac{(2.1 \times 10^{10}) \times (4.45 \times 10^8)}{3.5^3}$$

$$k = 213.81 \frac{kg}{s^2}$$

$$\omega n = \sqrt{\frac{213.81}{10.38}}$$

$$\omega n = 4.54 Hz$$

3.4.4 Balance energético para Máquinas Hidráulicas (1ra Ley de la Termodinámica).

Realizando un balance energético se puede conocer como se está distribuyendo la energía dentro del sistema. Aplicando La Primera ley de la termodinámica se pueden relacionar diversos tipos de energía implicadas en el proceso de transporte del fluido. Para una maquina hidráulica podemos enumerar distintos tipos de energía, pero tomando en cuenta los más relevantes podemos describir la primera ley de la siguiente forma:

$$W_{per} = W_{mot} + m \left(\frac{C_e^2}{2} - \frac{C_s^2}{2} \right) + mg(h_e - h_s) + m(P_e \times V_e - P_s \times V_s) + \Delta U \quad \text{Ec.17}$$

Observando en detalle la ecuación 17 se puede ver que el término de la izquierda representa la energía que se disipa o se pierde en el proceso, debido a las fuerzas de roce en bujes, del material contra la carcasa, del material contra las paredes de la hélice, y de otras pérdidas mecánicas en el proceso que no fueron consideradas en el cálculo o que no es utilizada en el proceso. El primer término del lado derecho representa la energía que se ingresa al sistema mediante el motor eléctrico. El

segundo término representa la variación de la energía cinética del fluido, el tercero se refiere a la variación de la energía potencial del fluido, el cuarto nos indica la variación de la energía hidráulica y por ultimo se encuentra la variación de la energía interna del fluido.

De este punto en adelante se pueden hacer las siguientes simplificaciones:

- El proceso es adiabático, lo que implica que la variación de temperatura es despreciable como para cambiar la energía interna del fluido.
- La densidad en la entrada es igual que la densidad a la salida y el proceso se realiza a presión constante, por lo tanto, el 4to término de la derecha se hace cero.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se puede realizar la siguiente tabla de datos en donde se recopilan todos los datos necesarios y consideraciones hechas para resolver La Primera Ley de la Termodinámica.

Velocidad de entrada	$C_e=0$
Velocidad a la salida	$C_s=1.62 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
Variación de la Energía potencial	$E_p=2.09 \text{ J}$
Presión del fluido en la entrada (atm)	$P_e=101.325 \text{ kPa}$
Presión del fluido en la salida (atm)	$P_s=101.325 \text{ kPa}$
Volumen específico en la entrada	$V_e=6.58 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
Volumen específico en la salida	$V_s=6.58 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperatura en la entrada	$T_e=294 \text{ K}$
Temperatura en la salida	$T_s=294 \text{ K}$
Capacidad calorífica para concentración de 30%	$C_v=2410.15 \text{ J/kgK}$
Torque nominal del motor	$W_{\text{mot}}=29.67 \text{ J}$

TABLA N° 10: Tabla de datos para el calculo la Primera Ley de la Termodinámica

Teniendo los datos necesarios para resolver la primera ley y tomando en cuenta las simplificaciones necesarias se obtienen los siguientes resultados:

$$W_{per} = 29.67 J - 1.32 \times 10^{-6} J - 2.12 J$$

$$W_{per} = 26.59 J$$

3.4.5 Diseño del Cordón de Soldadura.

Para el cálculo de la soldadura utilizaremos el Método del Código de a Soldadura. Este método nos permite hacer la comparación entre el esfuerzo cortante ejercido sobre la soldadura y el esfuerzo cortante máximo permisible según las características geométricas del cordón y el tipo de electrodo con el que se realizo.

Los datos necesarios para determinar ambos esfuerzos anteriormente mencionados son los siguientes:

Fuerza aplicada sobre el extremo exterior de la hélice	Fa=0.28 kgf.
Vértice de la garganta de la soldadura	h=3 mm
Fuerza unitaria permisible en la garganta con electrodo E6013	Fa=1.59 kip/in

TABLA N° 10: Tabla datos para el diseño de el cordón de soldadura.

Con las siguientes ecuaciones podremos hallar entonces los valores correspondientes al esfuerzo máximo permisible y al esfuerzo ejercido sobre la soldadura.

$$\tau_s = \frac{Fa}{b * l} \quad \text{Ec.18}$$

$$\varphi = \frac{Fu}{0.707 * h} \quad \text{Ec.19}$$

Aplicando las ecuaciones 18 y 19 con los datos que ya conocemos y recordando que los valores de b y l son el espesor de la lámina que se selecciono para fabricar la hélice y la distancia entre el borde interior y el exterior de la misma, obtenemos los siguientes resultados:

$$\tau_s = 0.0071ksi$$

$$\tau_p = 19.04ksi$$

Posteriormente se debe comparar el valor del esfuerzo admisible contra el valor del esfuerzo máximo aplicado para determinar si el cordón de soldadura satisface los parámetros de diseño.

3.5 Resultados del Diseño del Tornillo de Arquímedes.

En la siguiente tabla se encuentran los resultados obtenidos del proceso de diseño del Tornillo de Arquímedes para transporte de Fluidos Granulares Hiperconcentrados.

Valor	Unidad	Ecuación que Cumple.
5.39×10^{-5}	m^3	01
0.63	m^3/min	02
5.73	Deg	03
11.04	Kgf/m^2	04
0.08	$N \cdot m$	05
0.04	$N \cdot m$	06
-2.07×10^{-6}	m	07
2.14×10^{-6}	Hp	08
0.01	Hp	09
3.13×10^{-6}	Hp	10
0.01	Hp	11
2.43	Nxm	12
28.49	Ninguna	13
2.48×10^{-3}	m	14
213.81	$\text{Kg}/\text{seg.}$	15
4.54	Hz	16
26.59	Joule	17
0.007	Ksi	18
19.04	Ksi	19

TABLA N° 11: Tabla de resultados del diseño del Tornillo de Arquímedes.

3.6 Construcción del Tornillo de Arquímedes.

La construcción del Tornillo de Arquímedes se puede realizar de manera bastante simple y artesanal utilizando láminas y tubos de acero. Para el eje se selecciono un tubo de acero al carbono 1020 de 1.5" (38.1mm) de diámetro externo y laminas del mismo material y 2 mm de espesor, ya que es económico y fácil de manejar.

Partiendo del análisis dimensional se calcula la longitud de la espiral que forma la hélice en su borde exterior e interior para luego calcular el diámetro de la circunferencia que las contenga en cada caso. Seguidamente se procede a cortar, de la lámina de acero, arandelas utilizando los diámetros anteriormente calculados y con una abertura radial que permita estirar la pieza.

Luego de tener igual número de arandelas que de revoluciones tenga a hélice del tornillo de Arquímedes se procede a unir varias de estas arandelas por las aberturas por los extremos contrarios de la misma, de manera de ir formando una espiral de paso igual al espesor de la lámina. Posteriormente se procede a estiras dicha espiral hasta que la circunferencia interna se amolde a la superficie del eje.

Finalmente se procede a hacer el fijado de la hélice al eje mediante soldadura por electrodo revestido.



Figura 20. Pasos para el estirado y soldado de 2 arandelas unidas por soldadura para conformar 2 revoluciones de la hélice del Tornillo de Arquímedes.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados experimentales que se realizaron a lo largo del proceso de selección, diseño, construcción y prueba del Tornillo de Arquímedes. En primer lugar se presentan los resultados obtenidos en la determinación de los ángulos de reposo y resbalamiento, seguidamente los resultados obtenidos en cada una de las 2 pruebas realizadas con distintos tipos de material a transportar.

4.1 Estimación del Ángulo de Reposo.

Calculo del ángulo de reposo para cuatro concentraciones diferentes del fluido granular hiperconcentrado. El experimento se realizó 5 veces para cada concentración.

#	30% V/V [Deg]	20% V/V [Deg]	10% V/V [Deg]	5% V/V [Deg]
1	19.6	4.1	1.1	0.0
2	20.1	4.3	1.1	0.1
3	19.2	4.2	1.4	0.0
4	20.0	4.3	1.1	0.0
5	19.5	4.1	1.2	0.0
Prom.	19.68	4.20	1.18	0.02

Tabla 11. Resultados de la determinación experimental del ángulo de Reposo para las distintas concentraciones del fluido de trabajo.

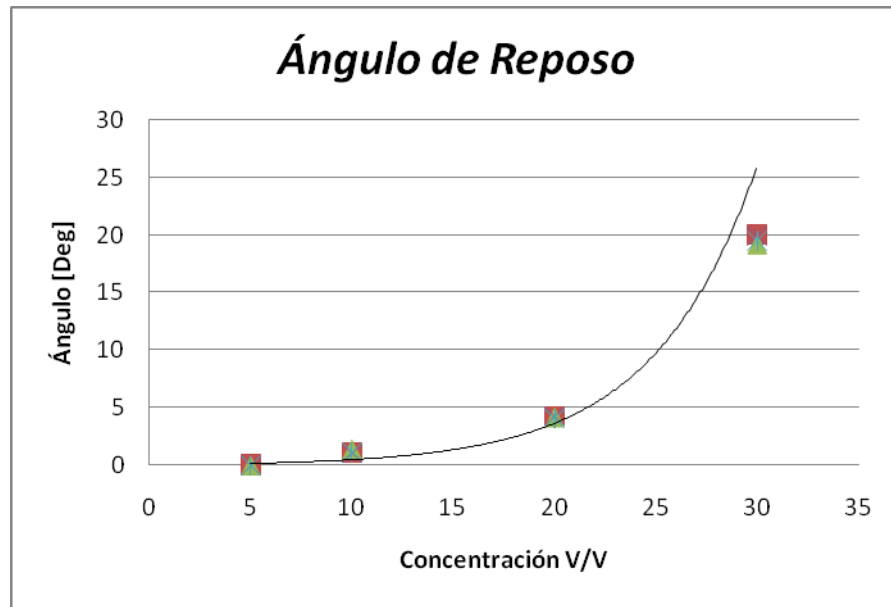


Grafico 1. Angulo de reposo Vs. Concentración

4.2 Estimación del Ángulo de Resbalamiento.

Calculo del ángulo de resbalamiento para cuatro concentraciones diferentes del fluido granular hiperconcentrado. El experimento se realizo 5 veces para cada concentración.

#	30% V/V [Deg]	20% V/V [Deg]	10% V/V [Deg]	5% V/V [Deg]
1	20.16	2.69	2.54	1.05
2	19.62	2.55	2.61	1.30
3	20.41	3.01	2.39	0.93
4	20.12	2.75	2.51	1.19
5	19.83	2.58	2.29	1.20
Prom.	20.03	2.72	2.47	1.13

Tabla 7. Resultados de a determinación experimental del ángulo de Resbalamiento para las distintas concentraciones del fluido de trabajo.

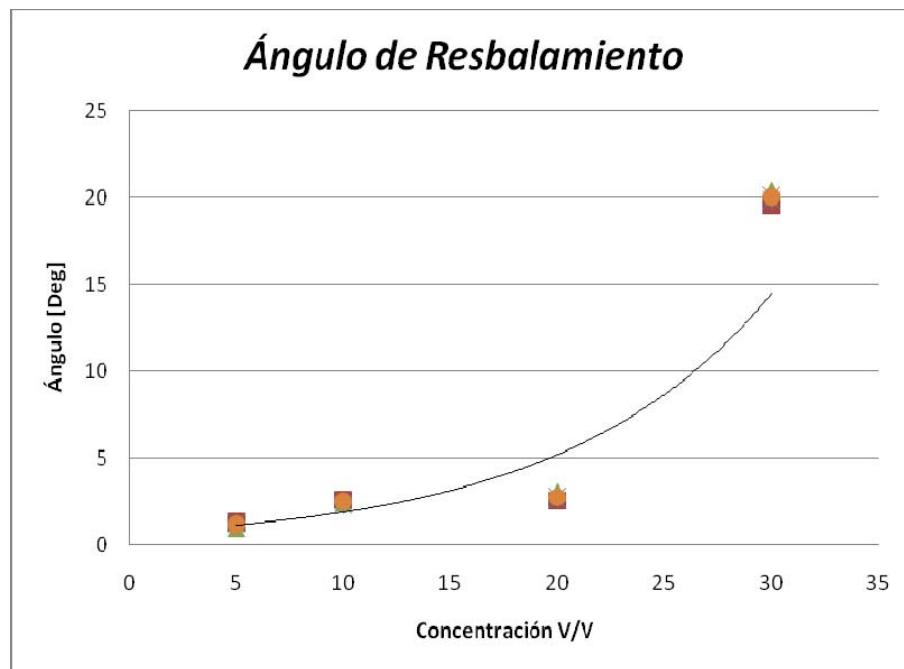


Grafico 2. Ángulo de Resbalamiento Vs. Concentración

4.3 Banco de Pruebas

Como resultado más importante se encuentra el banco El equipo fabricado e instalado en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería De la universidad central de Venezuela.

A continuación se presentan una secuencia de fotografías de diversos puntos de vista del Tornillo de Arquímedes mientras se Construía y ya instalado en el Banco de Pruebas de Rompimiento de Presas.



Figura 21. Distintas vistas del tornillo de transporte Ubicado en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería UCV.

4.4 Prueba Realizada con Grava.

La grava utilizada está conformada por piedras irregulares con tamaños y formas diferentes, en su mayoría alargadas y aplanadas de tamaños menores a 1 cm de longitud por 0,5 cm de espesor.

Para la prueba, se le introdujo progresivamente el material en el ingreso del tornillo, en el cual se fueron atorando, en los espacios entre el tornillo y la carcasa, las partículas de mayor tamaño y las de menores tamaños no podían ser acarreados quedándose en la parte inferior del equipo.

4.5 prueba Realizada con Metras o Canicas.

Las metras al introducirse poco a poco dentro del tornillo fueron desplazándose con facilidad a través de todo el recorrido del tornillo, cayendo en un depósito superior destinado para la descarga de los fluidos que se van a transportar con el Tornillo de Arquímedes.

Cuando se rebosó el depósito inferior de metras, tapando por completo el ingreso al tornillo a través de la carcasa, éste recogía una gran cantidad de metras y debido a movimiento que les es transmitido, se generan gran cantidad de ruido y en una oportunidad el equipo se quedo trabado por lo que se tuvo que cortar el paso de corriente al motor eléctrico para que dejara de funcionar. Para destrabarlo que intercambiaron 2 de las fases en el tablero de control del motor eléctrico y se puso a girar en sentido contrario.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Interpretando los resultados obtenidos en el cálculo de A y de T , en las ecuaciones 5 y 6 respectivamente, tienen implícito un factor de seguridad igual a 4 en cuanto al cálculo del trabajo necesario para mover el material en una revolución del tornillo. Estos valores de A y T representan los valores del trabajo en la dirección longitudinal, es decir, en la dirección del eje del tornillo (A) y en la dirección perpendicular a él (T). Estos valores se utilizaron posteriormente para calcular la potencia total requerida para el transporte del material.
- Con el resultado de v obtuvimos que la deflexión máxima de la hélice es de alrededor de 0.00207 milímetros en dirección longitudinal lo que es una cifra prácticamente despreciable por lo que se puede tomar como aceptable para el espesor de lamina que ha sido seleccionada.
- En el cálculo de la potencia requerida vemos que los valores de W_r y W_l son despreciables en comparación con el valor de la potencia requerida para elevar el material una diferencia de altura W_m , por lo que el valor de la potencia total requerida W_t se redondea a 0,01 hp. Por otra parte se calcula el torque requerido para luego verificar el perfil del tubo que se ha seleccionado como eje del tornillo a torsión pura.
- El cálculo de resonancia del sistema se debe hallar partiendo de un análisis de elementos continuos, pero se decidió realizar una idealización al modelo expuesto por Juan León para simplificar el cálculo de éste valor. Con el resultado obtenido del cálculo de la resonancia del sistema podemos hacer la comparación entre la frecuencia natural del sistema y el valor de la frecuencia de la fuerza excitatriz (frecuencia del motor), y determinamos que el sistema no trabaja en resonancia en ningún momento ya que la frecuencia de la fuerza excitatriz nunca llega a alcanzar la frecuencia natural del sistema.

- El balance energético los resultados nos indican la pérdida de energía presente en la maquina, esta pérdida de energía es simplemente energía no utilizada que entra al sistema y como podemos notar dicha energía es bastante elevada, y esto se debe a que el motor utilizado posee mucha mayor potencia que la requerida para llevar a cabo el proceso. Esto es así debido a que en el mercado se hace difícil conseguir motores con las potencias como las aquí requeridas acoplados a cajas reductoras que entreguen las RPM necesarias en nuestro diseño.
- Directamente de la gráfica del ángulo de reposo se puede ver el crecimiento suave del ángulo de para las concentraciones desde 5% hasta 20%, de ahí en adelante se presenta un crecimiento brusco del ángulo, lo que implica un incremento importante en la viscosidad del fluido. Sabiendo que el ángulo de reposo es un valor que se puede relacionar con la fluibilidad del material, podemos decir que tenemos un material que posee alta fluibilidad cuando su concentración es baja, por ejemplo en las concentraciones que van de 5% V/V a 20% V/V y que dicha propiedad física disminuye abruptamente a partir de una concentración de 20% V/V en adelante.
- De igual manera que en el experimento del ángulo de reposo, se puede apreciar que a partir de la concentración de 20% el ángulo de resbamiento se incrementa de una manera violenta, lo que implica una disminución de la fluibilidad del material.
- De la prueba realizada con grava, podemos decir que es un material difícil de manejar por el tornillo de Arquímedes utilizando como fluido el aire, esto implica que no se pueden manejar este tipo de material sólido mientras que no se encuentre en un fluido con densidad alta.
- De la prueba realizada con metras, el resultado fue satisfactorio mientras que las metras iban ingresando de forma lenta al equipo, al momento de quedar cubierto el ingreso totalmente por metras, el funcionamiento desmejoró significativamente debido a que las metras no podían moverse libremente dentro del tornillo. El volumen muerto que se encuentra en el tanque de depósito de ingreso al tornillo n

permite que el fluido llegue de manera fácil hasta el ingreso del tornillo y más bien va a favorecer la sedimentación de partículas en suspensión en el fluido.

CONCLUSIONES

1. Con los resultados obtenidos en el análisis dimensional se construyó satisfactoriamente el prototipo del Tornillo de Arquímedes.
2. Entre los sistemas de transporte mecánicos analizados: elevador de cangilones, transportadores de cadena, Tornillo de Arquímedes y correas transportadoras; el Tornillo de Arquímedes posee la mayor capacidad para manejar el fluido hiperconcentrado tomando en cuenta su densidad, fluibilidad y tipo de movimiento a realizar.
3. Los parámetros dimensionales más importantes para el diseño del equipo son:
 - a. Caudal de manejo del equipo.
 - b. Diámetro externo del tornillo y diámetro del eje del mismo.
 - c. Peso específico de material a transportar.
 - d. Características físicas del material a transportar.
 - e. Factor de llenado del material.
 - f. Inclinação del tornillo.
4. La mezcla aumenta su viscosidad a medida que se incremente su concentración y a su vez su ángulo de reposo, por lo que, a mayor densidad del fluido se incrementará su factor de llenado y por consiguiente aumentará el caudal manejado por el equipo.
5. La energía no utilizada en el proceso, permite agregarle al fluido partículas sólidas que incrementen su peso, y de igual manera éste seguirá siendo manejado con facilidad.
6. El Tornillo de Arquímedes presenta dificultades para manejar partículas solidas de formas alargadas y aplanadas sin estar suspendidas en un fluido hiperconcentrado. Estas son atrapadas por el tornillo en el ingreso y posteriormente se atorán en el espacio en el tornillo y la carcasa para se interrumpa el funcionamiento del equipo.

7. El Tornillo de Arquímedes maneja con facilidad partículas que poseen forma redondeada sin estar suspendidas en un fluido hiperconcentrado.
8. El ingreso de las partículas solidas al Tornillo de Arquímedes debe ser de forma controlada de manera que no alcancen un factor de empaquetamiento elevado y lleguen a interrumpir el funcionamiento del tornillo.
9. El volumen muerto que existe en el ingreso dificulta la circulación del fluido hacia el ingreso del tornillo.

RECOMENDACIONES

Para un funcionamiento adecuado y seguro del equipo se les recomienda seguir las siguientes indicaciones:

1. El fluido de trabajo no debe encontrarse por debajo de 20% V/V de concentración.
2. Al trabajar con partículas sólidas en el fluido, éste debe mantener una concentración mayor a 20%, de manera que las partículas sólidas puedan mantenerse suspendidas en el mismo.
3. Cuando se desee trabajar con el fluido hiperconcentrado al que se le han adicionado elementos sólidos, se recomienda que se realice el cálculo de potencia requerida con el nuevo peso específico para verificar que la potencia requerida no excede la instalada en el equipo.
4. Para controlar el ingreso de partículas sólidas en el tornillo, se recomienda cambiar el paso en las primeras revoluciones del mismo incrementándolo gradualmente, de manera de dejar más espacio para el movimiento de dichas partículas.
5. Se debe controlar la altura del ingreso al tornillo para minimizar el volumen muerto del tanque de ingreso.
6. Se deben utilizar partículas por debajo de 1,5mm de forma redondeada y en caso contrario, mayores a 5mm.
7. Verificar en vacío que el sentido de rotación del motor eléctrico, visto de frente al eje, sea en sentido izquierdo, en caso contrario, intercambiar la posición de las fases L1 y L2 en el contactor, que se encuentra dentro del tablero eléctrico.
8. En el momento que se encuentre funcionando el equipo es muy importante evitar introducir cualquier extremidad corporal en el ingreso del tornillo ya que se corre el riesgo de lesiones importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández, A.(1999) *Optimización del Sistema de Almacenamiento y Transporte de una Planta Productora de Alimento para Animales*, Caracas, Universidad Central de Venezuela.
- Conveyor Equipment Manufacturer Asociatios (C.E.M.A). (1988) *Belt Conveyor for Bulk Materials*. 3ra edición.
- Targhetta Arriola, L., Lopez Roa, A. (1970). *Transporte y Almacenamiento de Material Prima en la Industria Básica*, T2, Madrid, España: Blume
- Wawanoff, N. “Maquinas de Transporte”. Peru: Alsina.
- Paredes, B. Ugueto N. (1998) *Estudio y Diseño de un Sistema de Transporte de Materiales a Granel o de Paquetería*. Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Saturno, F. Leal, M. (1988) *Proyecto de un Banco de Ensayos para el Transporte de granos*, Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Baumeister, A. *Manual del Ingeniero Mecánico*. V I y II, 8va Ed. Mexico: McGraw Hill.
- Aguirre, J. Granular Biphasic Flow Solutions. *Revista Ciencia e Ingenieria*. {Revista en linea}, 21 (2). Consultado el 21/05/2006. En: <http://info.upc.edu.pe/hemeroteca/tablas/ingcivil/cienciaeingenieria/ciencia2102.htm>
- Bates, L. (2000). *Guide to the Design, Selection, and Application of Screw Feeders*, Inglaterra: British Materials Handling Borrads.
- Forcade, M. (1999). *Screw Conveyor 101, Basic Training Manual for Screw Conveyors*, Estados Unidos: Goodman Conveyor Company
- Fayed M. (1997). “Mechanicals Conveyors, Selection and Operation”. Estados Unidos: Technomic Publishing CO., INC

- Pierson, T. Distinguishing Between Debris Flows and Floods from Field Evidence in Small Watersheds. *USGS Science for a Changing World*. {Revista en Línea}. Enero 2005. Consultado el 21/05/06. En: http://72.14.209.104/search?q=cache:hc8sepCNueMJ:walrus.wr.usgs.gov/info bank/programs/html/factsheets/pdfs/2004_3142.pdf+Distinguishing+Between+Debris+Flows+and+Floods+from+Field+Evidence+in+Small+Watersheds&hl=en&ct=clnk&cd=2
- León, J. (2004). *Dinámica de Máquinas, Introducción a la Teoría e Máquinas*, Caracas: Universidad Simón Bolívar
- Bolinaga, J. (2002). *Mecánica Elemental de los Fluidos*, Caracas: Universidad Católica Andrés Bello
- Mott, R. (2000). *Diseño de Elementos de Máquinas*, Editorial, Mexico: Prentice Hall.
- Hibbeler, R. (1998) *Mecánica de Materiales*. Mexico: Prentice Hall
- Wikipedia. (2005). [Página en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>
- Conveyor Equipment Manufacturer Association. (2006). [Página Web]. Disponible en: <http://www.cemanet.org>