

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

FACULTAD DE INGENIERIAS

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

*“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE SECADO,
ALMACENAMIENTO Y DESPACHO DE LODOS
DESHIDRATADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE SUSTAG Y SIMULACION MEDIANTE UN
SOFTWARE ESPECIALIZADO”*

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
CON MENCIÓN EN DISEÑO DE MÁQUINAS**

AUTORES:

**FREDDY LEONARDO ASTUDILLO CÓRDOVA
LUIS FRANCISCO BERMEO BARROS**

DIRECTOR:

ING. PAUL ALVAREZ LLORET

**CUENCA – ECUADOR
ABRIL 2011**

DECLARACIÓN

Nosotros, Freddy Leonardo Astudillo Córdova y Luis Francisco Bermeo Barros, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestro derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Freddy Leonardo Astudillo Córdova

Luis Francisco Bermeo Barros

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Freddy Leonardo Astudillo Córdova y Luis Francisco Bermeo Barros.

Ing. Paul Álvarez Lloret
DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. Paúl Esteban Torres Clavijo, Jefe de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Sustag, certifico que el trabajo aquí expuesto fue desarrollado por Freddy Leonardo Astudillo Córdova y Luis Francisco Bermeo Barros en la planta a la cual yo presido.

Ing. Paúl Esteban Torres Clavijo
JEFE DE PLANTA

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a Dios, por las virtudes que nos ha brindado día tras día con el propósito de seguir adelante en nuestras vidas, y encaminarnos a la superación.

Nos es grato agradecer al Ing. Paul Torres Jefe de Planta, ya que ha puesto su total confianza en nosotros y creer que este proyecto tiene un propósito benéfico e innovador para la empresa como tal, de manera especial le agradecemos por haber dispuesto de su tiempo y aportar su conocimiento para encaminarnos en este largo sendero.

Agradecemos a nuestros “BODIES” por comprendernos el reto que nos planteamos y apoyarnos cada momento, gracias compañeros por haber aportado un granito de arena a este logro, y compartimos con ustedes nuestra felicidad.

Al Ing. Paul Álvarez Director del Proyecto, nuestro más sincero agradecimiento por haber dispuesto de su tiempo y colaboración para cumplir con el objetivo planteado de terminar el presente trabajo.

A todos los profesores de la Universidad les agradecemos por dedicarnos su tiempo y compartir sus conocimientos para plasmar nuestra formación académica.

Hagamos.....y lo hicieron.

“El Cuto”

El éxito consiste en obtener lo que se desea.

La felicidad, en disfrutar lo que se obtiene.

“Ralph Waldo Emerson”

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

Análisis de las variables físico-químicas y el volumen de fango producido

Origen y naturaleza de los lodos	1
Método de medición de lodos espesados	6
Reducción del volumen de lodo	7
Método de extracción de lodos	8
Floculadores	8
Decantadores	9
Lavado	10
Espesador de lodos	10
Deshidratación	12
Filtro Banda	12
Caracterización de lodos	14
Determinación de sólidos totales	14
Método de análisis	14
Caracterización de lodos	21
Sedimentadores	21
Espesador de fangos	24
Características del lodo deshidratado	26

CAPITULO II

Mecanismos de transporte almacenamiento y desalojo de lodo

Mecanismos de transporte de lodo	27
--	----

Mecanismos de transporte de lodo por tubería	28
Principio de funcionamiento	29
Tipos de bombas	29
Elementos de un sistema de transporte por tubería	34
Ventajas de un sistema de transporte por tubería	35
Aplicaciones de un sistema de transporte por tubería	36
Mecanismos de transporte de lodo utilizando bandas transportadoras	36
Principio de funcionamiento	37
Tipos de transportadores de banda	38
Elementos de un transportador de banda	38
Ventajas de un transportador por bandas	43
Aplicaciones de transportador por bandas	43
Mecanismos de transporte de lodo por tornillo sin fin	44
Principio de funcionamiento	45
Tipos de transportador de tornillo	46
Elementos de un transportador de tornillo	47
Ventajas de un transportador de tornillo	49
Aplicaciones de un transportador de tornillo	50
Mecanismos de almacenamiento de lodos	52
Sistemas de secado de lodo	52
Hornos de secado	52
Invernaderos de secado	58
Sistemas de almacenamiento de lodos	61
Almacenamiento en silos	61
Almacenamiento en tolvas	65
Ventajas de silos y tolvas	67
Desventajas de silos y tolvas	68
Áreas de aplicación de silos y tolvas	68
Peligros existentes en silos y tolvas	68
Precauciones	69

Mecanismos de desalojo de lodos	71
Elección de los sistemas a utilizar en el proceso final de deshidratación de lodos	71
Sistema de transporte	71
Sistema de almacenamiento	72
Sistema de secado	74
Sistema de evacuación de lodo al volquete	75
Elección entre alternativas	77
CAPITULO III	
Diseño de los sistemas mecánicos	
Diseño del invernadero como estructura de almacenamiento	78
Tipos de invernaderos	79
Diseño del invernadero tipo capilla doble	85
Calculo de la estructura del invernadero	91
Calculo de las cargas de viento	93
Calculo de las cargas de granizo	103
Calculo de las cargas muertas	107
Diseño de miembros sujetos a tensión	116
Diseño de miembros sujetos a compresión	117
Diseño de las columnas de la estructura	121
Calculo de la base de la columna	128
Diseño del invernadero como secador solar	133
Determinación de la transferencia de calor por radiación	133
Determinación de la transferencia de calor por convección	136
Determinación del peso de agua a evaporar	137
Determinación de la energía necesaria para evaporar el excedente de agua	139
Determinación del tiempo de secado del lodo	140
Determinación del flujo másico de aire que está en contacto con el lodo	141

Selección de ventiladores para el invernadero	144
Determinación de la velocidad del aire de los ventiladores	145
Determinación del tiempo de permanencia del aire húmedo en el interior del invernadero	146
Determinación del tiempo de renovación del aire seco al interior del invernadero	147
Diseño del sistema de distribución, volteo y transporte del dodo deshidratado en el interior del invernadero	149
Diseño del distribuidor	149
Diseño del sistema de descarga de la tolva	153
Diseño del volteador de lodo	158
Diseño del tornillo y tuerca de potencia	163
Diseño de las rieles transversales del mecanismo	167
Diseño de las rieles longitudinales del mecanismo	173
Diseño de la base de la columna	179
Diseño del sistema de transporte del lodo hacia el volquete	182
Diseño del tornillo sin fin horizontal	182
Diseño del tornillo sin fin inclinado	186

CAPITULO IV

Comprobación del diseño estructural y simulación del sistema diseñado mediante software especializado.

Comprobación de la estructura del invernadero	189
Geometría de la estructura	189
Definición de las cargas en la estructura	196
Denominación de nodos	208
Simulación del sistema de distribución y despacho de lodos deshidratados	218

Dibujo de un elemento	218
Montaje de un conjunto	223
Animación de un conjunto	225

CAPITULO V

Análisis Técnico financiero del proyecto

Análisis Técnico – Financiero del Proyecto	223
--	-----

Conclusiones

Recomendaciones

Anexos

Bibliografía

Planos

ABREVIATURA

q	Presión del viento sobre la estructura
v	Velocidad del viento
H_o	Altura de la columna del invernadero
l_1	Separación de estructura a estructura
Pv_c	Presión sobre la columna de barlovento
l_3	Longitud en pendiente de la armadura
f_{unt}	Esfuerzo unitario generado por el viento sobre el techo
F	Fuerza generada en los nodos
F_{AV}	Carga de viento sobre el techo
A_t	Área Tributaria
R	Reacciones
G	Presión del granizo sobre el techo
$\rho_{e_{granizo}}$	Densidad del granizo
$h_{granizo}$	Altura del granizo sobre el techo
g	Fuerza actuante sobre la estructura
w	Fuerza máxima uniforme
M	Momento flexionante
S	Modulo de sección requerido
f	Esfuerzo unitario permisible del acero
P	Fuerza aplicada a los elementos
C_M	Fuerza puntual
F_a	Esfuerzo permisible a la tensión
F_y	Esfuerzo de fluencia para el acero
A	Área
r	Radio mínimo de giro
I	Inercia
C_c	coeficiente de esbeltez
E	Modulo de elasticidad del acero
L	Longitud de un elemento

f_a Esfuerzo admisible para compresión
 f_b Esfuerzo admisible para flexión
 F_a Esfuerzo admisible del material a compresión
 F_b Esfuerzo admisible del material a flexión
 F_e' Esfuerzo crítico de Euler
 C_m Factor de modificación
 n Longitud de la franja libre entre la columna y la placa
 t Espesor de placa
 \dot{Q} Transferencia por radiación, convección
 ϵ Coeficiente de emisividad
 σ Constante de Stefan – Boltzmann $5,6704 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \times \text{K}^4]$.
 F Factor de visión
 T Temperatura
 h_c Coeficiente de transferencia de calor por convección
 V Temperatura
 H_B Porcentaje de humedad inicial y final de desechos
 ρ Densidad
 Q Energía para evaporar agua
 t Tiempo
 C_p Calor específico
 h_{fg} Entalpia
 \dot{m} Flujo másico
 \dot{v} Flujo volumétrico
 v Velocidad
 h Humedad específica
 λ Coeficiente de relleno
 S Sección
 Q Flujo de material
 k Coeficiente de disminución de flujo de material
 P Potencia

GENERALIDADES

La PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable) de Sustag está ubicada en la zona occidente de la ciudad de Cuenca, a 24 km del centro de la ciudad y a 2918.93 m.s.n.m., el agua a ser tratada es tomada del río Yanuncay que de acuerdo a los conocedores del tema es el agua más difícil de tratar debido a sus características y sobre todo por su cambiante composición.

El proceso de potabilización en la mencionada planta es de forma convencional e incluye:

- Captación,
- Desarenador,
- Mezcla rápida,
- Floculación mecánica e hidráulica,
- Sedimentación,
- Filtración,
- Desinfección.

La planta potabilizadora lleva funcionando alrededor de dos años y abastece del líquido vital a las zonas de San Joaquín, Wizhil, San Miguel, Narancay. Esta planta es la más actual del país y está entre las más modernas a nivel sudamericano, esto implica maquinaria y equipos de última tecnología de procedencia en gran parte española ya que el diseño tiene dicho origen.

El caudal máximo que se puede potabilizar es de 460 l/s y tiene proyecto de ampliación para tratar 800 l/s. La dosificación de químicos es por medio de bombeo siendo esta una forma más eficiente y exacta de dosificación respecto a las demás plantas potabilizadoras las cuales utilizan dosificación por gravedad.

Es muy importante comentar que la PTAP de Sustag es amigable con el medio ambiente pues tiene algunos procesos que impiden la contaminación. Uno de estos es la recirculación de agua de lavado de los filtros para ser tratada nuevamente, otro sistema es el de extracción de fugas de cloro gas siendo este químico el más peligroso de las plantas potabilizadoras y por último el de espesamiento, acondicionamiento y deshidratación de lodos en filtro banda. De este último punto parte la idea del proyecto de tesis.

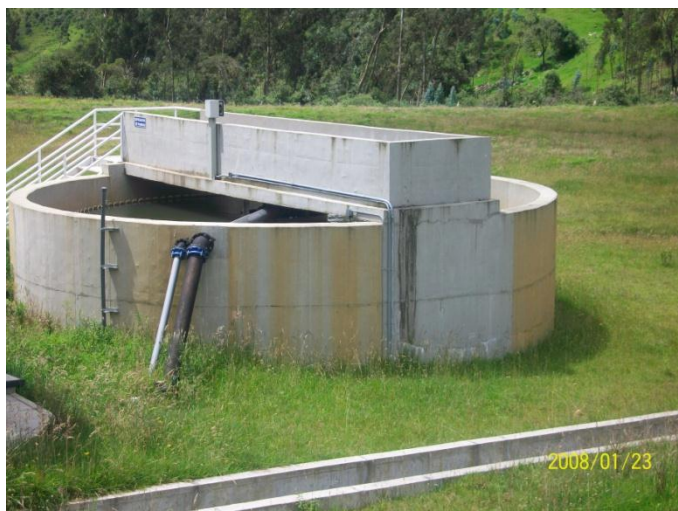
INTRODUCCIÓN

En la Planta de Sustag como en otras similares se utilizan químicos como el sulfato de aluminio (coagulante) y poli electrolito (ayudante de coagulación) para poder separara los sólidos suspendidos y disueltos del agua y también a los microorganismos del mismo.

El agua ya con mencionados químicos pasa a través de los floculadores mecánicos e hidráulicos donde se empieza a formar el floc¹, luego pasa a los decantadores donde se retiene el floc en casi su totalidad. En el fondo de los decantadores están instaladas unas purgas programables para evacuar todo el floc acumulado y este es llevado por gravedad a un espesador de fangos.

Para entender de lo que se está hablando, el espesador de fangos (*Fotografía 1*) es un mecanismo que se utiliza para la concentración de fangos y reducción de volumen a estabilizar o transportar.

1 Cúmulos formados de la acumulación de las partículas en suspensión que le dan color y turbiedad al agua.



Fotografía 1: Espesador de fangos.

El agua clarificada de los decantadores se dirige a los filtros rápidos donde las impurezas que anteriormente no fueron eliminadas son retenidas por un lecho filtrante de arena. Es imprescindible que cada cierto tiempo ya establecido estos filtros sean lavados y toda esta agua de lavado es conducida por gravedad hacia un depósito de recuperación de lavado de filtros y posteriormente por bombeo hacia el espesador de fangos.

Además se tiene construido un cárcamo de bombeo donde se recogen residuos de desagües procedentes del tratamiento y luego son bombeados al depósito de recuperación de lavado de filtros.

Para evitar el impacto en las aguas de Río Yanuncay del vertido de los fangos producidos en los sedimentadores y los que se producen en el Depósito de Recuperación provenientes de las aguas de lavado de filtros, se ha previsto el tratamiento de los fangos mediante un proceso de espesamiento, acondicionamiento y deshidratación en filtro banda.

El problema que dio la pauta para realizar la presente tesis parte de lo redactado en el párrafo anterior ya que todo el lodo deshidratado que se produce (*Fotografía 2*), antes de ser llevado a un relleno sanitario, es evacuado a la parte externa del edificio de deshidratación dando un muy mal aspecto a la vista de propios y de visitas.

Se debe comentar que el lodo deshidratado que se produce tiene una humedad alrededor del 80% pero para poder depositarlos en el relleno sanitario, es necesario cumplir con la norma que obliga tener máximo un 70 % de humedad.

Además dicha evacuación al exterior, en la actualidad es realizada por operadores que deberían invertir ese tiempo en la operación misma de la planta.



Fotografía 2: Fangos deshidratados.

Con estos antecedentes se propuso implementar un sistema automatizado de transporte, almacenamiento y despacho de lodos deshidratados, el cual permita que la deshidratación se realice sin la necesidad de que un operador u otra persona esté allí presente salvo para resolver algún problema que el mismo equipo alertará por medio de sensores y alarmas.

Se espera que el estudio de este tema en especial el último capítulo de análisis técnico – financiero cumpla con las expectativas de los administradores de la empresa ETAPA E.P. para que en un futuro cercano dicho proyecto pueda ser llevado a la realidad.

CAPITULO I

1. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICO – QUÍMICAS Y EL VOLUMEN DE FANGO PRODUCIDOS.

Para realizar el diseño de sistemas de transporte y almacenamiento de cualquier tipo, primeramente es necesario familiarizarse con el material con el que se va a trabajar, esto es: su tipo, procedencia, grado de corrosión etc. y en especial sus características físico – químicas para con ello poder determinar los materiales con el que se construirá el sistema, el revestimientos y/o pinturas, normas de seguridad a seguir, entre otros factores.

Es por esta razón que se ha creído conveniente direccionar el primer capítulo de esta tesis al análisis de las variables físicas y químicas de los fangos producidos en la PTAP Sústag además del volumen producido de dicho fluido en una unidad de tiempo definida.

Para llevar a cabo el desarrollo de este capítulo, se ha visto necesario desviarse ligeramente del área de la mecánica, siendo esta maniobra indispensable para el cálculo y determinación especialmente del volumen de fango producido en cierto tiempo y las propiedades del mismo para con estos datos iniciar con la búsqueda de alternativas de sistemas adecuados de transporte y almacenamiento de lodos y para el posterior diseño del mismo.

1.1. Origen y naturaleza de los lodos.

Las aguas superficiales contienen sólidos suspendidos que son removidos durante el proceso de potabilización con la ayuda de un coagulante (sulfato de aluminio) y un aglomerante (poli electrolito), esto significa una gran generación de lodos provenientes de sedimentación, que en caso de no darles una adecuada disposición final, contribuyen de manera importante a la contaminación del ambiente, afectando suelo, agua, aire. Actualmente en la mayoría de plantas potabilizadoras estos lodos son dispuestos sin ningún tratamiento en presas, terrenos o en las mismas fuentes de suministro y en algunas ocasiones son descargados al alcantarillado y tratados en conjunto con las aguas municipales.

Por ello uno de los grandes problemas en la potabilización del agua es el relacionado con el tratamiento y disposición de lodos.

Estos lodos se producen por fenómenos meramente físicos, parte de la materia orgánica ha sido metabolizada y transformada en materia viva, los sólidos residuales están constituidos por sólidos suspendidos provenientes de los desechos de los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y del retro lavado de los filtros, a estos lodos se les conoce como lodos primarios proveniente de los procesos de potabilización de agua.

Coagulación – Floculación de las impurezas del agua².- Se llama así al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc. Dicho proceso se utiliza para:

- a. Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d. Destrucción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

En la coagulación uno de los aspectos fundamentales es la desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantiene separadas, la coagulación comienza en el mismo instante en el que se agrega los coagulantes al agua este proceso dura fracciones de segundos. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad y el agua misma.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores, en la fotografía 1.1 se identifica el proceso de floculación y coagulación en el laboratorio, la prueba de jarras que se indica en la figura

² Coagular viene del latín “*coagulare*” que significa aglutinar. Flocular de “*floculare*” que significa hacer un grumo o coágulo.

servirá para poder determinar la dosis optima en la adición de los productos químicos y optimizar el proceso de potabilización.



Fotografía 1.1: Prueba de jarras en laboratorio.

Sedimentación.- Se entiende por sedimentación a aquellos fenómenos mediante los cuales los sólidos en suspensión de un fluido son separados del mismo, debido al efecto de la gravedad.

En un sentido amplio el término sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo y concentración de sólidos o partículas en suspensión, los que resumimos a continuación cuadro 1.1.

Cuadro No. 1.1

Modelos del proceso de clarificación por sedimentación.

Clarificación por sedimentación tipo	Características de los sólidos en suspensión	Descripción del proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto del fluido.	Desarenadores o pre-sedimentadores.
	Partículas aglomeradas	Las partículas se aglomeran	Sedimentación de flocs

2	en soluciones relativamente diluidas	agrupándose en partículas de mayor tamaño.	en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Soluciones de alta concentración	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo	Compactación de depósitos de lodos, Esperadores de lodos

Fuente: Teoría y práctica de la purificación del agua, Jorge Arboleda V. Tercera Edición

En la sedimentación de tipo 1 los sólidos no cambian de densidad, tamaño o de forma al descender.

En cambio en el de tipo 2 los sólidos son aglomerables, pesadas y al descender se adhieren o aglutinan entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída.

En los de tipo 3 y 4 se analiza el comportamiento conjunto, debido a la interferencia entre partículas que hace que se forme un manto de lodos que floten en el líquido.

Filtración y Lavado.- El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. El trabajo que los filtros desempeñan, dependen directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos anteriores.

La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (filtro lento) y con alta carga superficial (filtro rápido), en medios porosos (papel de filtro, pastas arcillosas) o en medio granulares (arena, antracita, granate o combinados) con flujo ascendente, descendente o combinado, los filtros también pueden trabajar a presión o a gravedad según la magnitud de la carga hidráulica.

Lavado.- El lavado de los filtros es una operación muy importante: si es insuficiente lleva consigo el atascamiento permanente de ciertas zonas, dejando un paso reducido al agua; la pérdida de carga crece rápidamente y la filtración se efectúa localmente, con más rapidez y menos eficacia; en el lecho filtrante puede desarrollarse microorganismos perjudiciales para la calidad y el sabor del agua. La mayoría de los problemas del filtro se originan en un lavado deficiente incapaz de:

- a. Desprender la película que recubre los granos del lecho.
- b. Romper las grietas o cavidades en donde se acumula el material que trae el agua
- c. Transportar el material desde el interior del lecho hasta las canaletas de lavado.

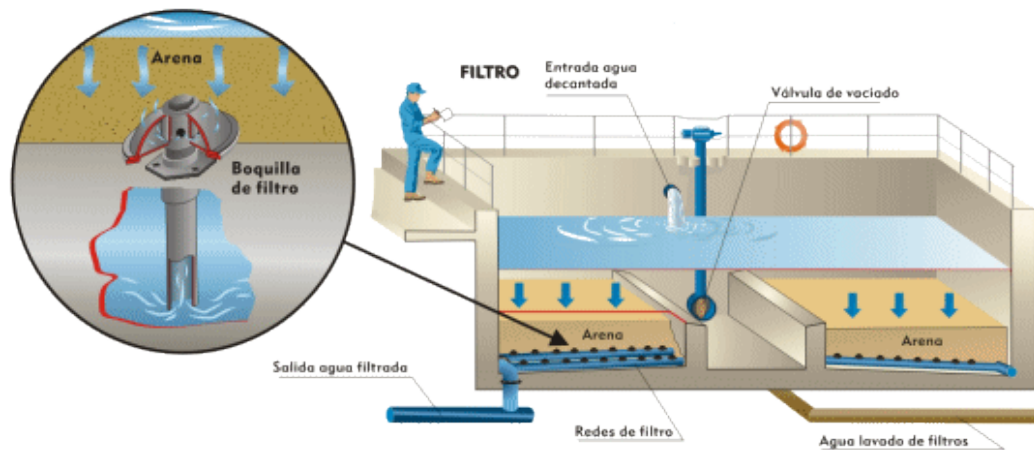


Imagen 1.1: Elementos de una unidad de filtración.

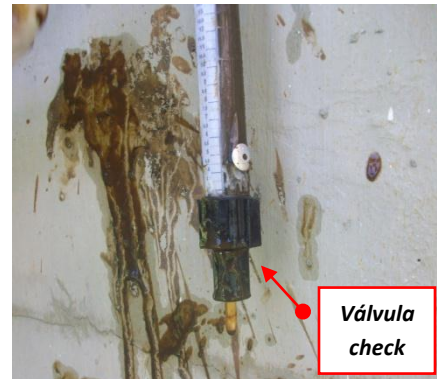
1.2. Método de medición de lodos espesados.

En el proceso de potabilización de agua, se acarrea productos secundarios en forma de lodo especialmente en la etapa de decantación donde se da la mayor cantidad de este subproducto. Como se explicó anteriormente, todo este lodo se traslada hacia un espesador de lodos para posteriormente ser deshidratados.

Para tener una idea de la cantidad de lodo que se ha producido, se debe tomar una muestra de este para de acuerdo a las dimensiones del espesador, determinar cuánto

solido se encuentra depositado, la humedad del lodo acumulado y para intuir la calidad de fango deshidratado posterior al filtro banda.

El método que nosotros hemos empleado es mediante un tubo tipo probeta, dicho tubo es de PVC transparente que lleva grabado en su superficie una regla y en uno de sus extremos tiene una válvula check para evitar que la muestra se escurra. Este tubo se puede desarmar en tres partes para que el transporte sea más cómodo (*Fotografía 1.2*).



Fotografía 1.2: Tubo tipo probeta para muestreo de lodos.

El proceso de muestreo tiene la siguiente secuencia:

- a. Armar las tres partes del muestreador, colocar un acople en el caso de requerir mayor longitud.
- b. Definir el centro del espesador de lodos donde la altura es la mayor.
- c. Introducir el muestreador lentamente para que por medio de vasos comunicantes, el fluido que se encuentra en el espesador vaya ingresando en el tubo. Mientras más profundo se encuentre el muestreador, más lenta debe ser la penetración del mismo.
- d. Una vez que la punta del muestreador ha llegado a lo más profundo del espesador, sacar muy lentamente el tubo observando que el espejo de agua dentro del tubo
- e. Extraer el lodo en frascos. Estas muestras deben ser de alturas conocidas.

1.3. Reducción del volumen de lodo.

El grado de deshidratación necesario para una planta dada, dependerá del método de disposición final.

La concentración mínima normalmente aceptable puede ser de 80% de humedad, sin embargo, esto dependerá de que las instalaciones estén correctamente diseñadas para remover aproximadamente del 80 al 90% de los sólidos suspendidos en los tanques de coagulación, sedimentación y del proceso de retro lavado de filtros.

El objetivo principal en el tratamiento de los lodos de plantas potabilizadoras es producir un fango con una concentración de sólidos que pueda facilitar su manejo y disposición.

Para reducir el volumen total de lodos a disponer se puede aplicar alguna de las alternativas que se muestran en el cuadro 1.2.

Cuadro No. 1.2

Alternativas de tratamiento y disposición de lodos de plantas potabilizadoras

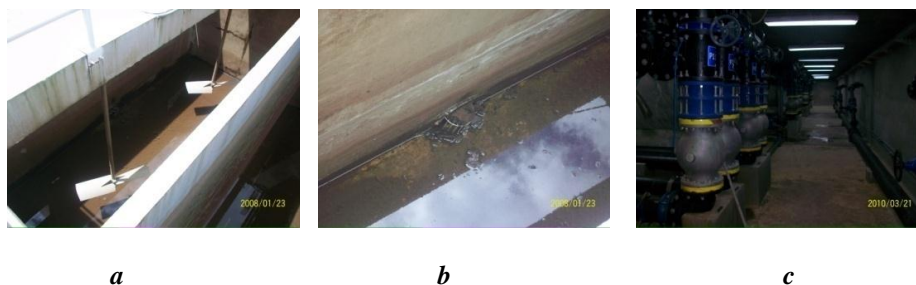
Alternativas de Tratamiento	Alternativas de Disposición
<ul style="list-style-type: none"> • Acondicionamiento Químico • Tanques de espesamiento • Deshidratación <ul style="list-style-type: none"> Lechos de secado Lagunas Filtros prensa Filtros banda Centrifugación • Congelamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición final Descarga a aguas superficiales Relleno sanitario Incineración

Fuente: Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de plantas Potabilizadoras, Luciano Sandoval Y.

En la planta se Sustag se maneja la deshidratación de los lodos mediante un filtro banda y como disposición final se lo lleva al relleno sanitario en la actualidad.

1.3.1. Métodos de extracción de lodos.

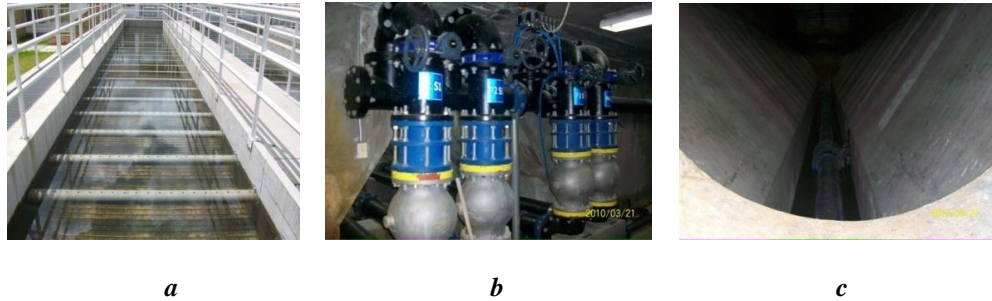
Floculadores.- En la etapa de floculación mecánica e hidráulica las partículas de mayor peso que arrastra el agua son depositadas en el fondo de las unidades, para luego ser extraídos en los programas de mantenimiento por sus respectivos desagües y enviados a un depósito denominado cárcamo donde luego serán bombeados al depósito de recuperación. En la *fotografía 1.3a* se indica una unidad de floculación mecánica con sus respectivos agitadores, en la *1.3b* un desagüe con una válvula de compuerta para llevar a cabo el mantenimiento respectivo, mientras que en la *fotografía 1.3c* al lado derecho se observa una tubería la misma que es de hierro dúctil de diámetro 200mm, esta sirve para conducir el agua de los floculadores a un cárcamo³ de bombeo el momento de dar mantenimiento a la unidad.



Fotografía 1.3: Floculadores Mecánicos

Decantadores.- En las unidades de decantación los lodos que por efecto de la gravedad se han sedimentado en el fondo, son extraídos por un sistema neumático de válvulería (válvulas de manguitos *fotografía 1.4b* y por la diferencia de carga hidráulica son depositados en un tanque espesador de fangos. En la *fotografía 1.4a* se observa una celda de sedimentación en funcionamiento, las placas ABS (Acrilo Nitrilo Butadieno Estireno) que son elementos que ayudan a retener el floc y los flautines los mismos que se encargan de recolectar el agua sedimentada, mientras que en la *fotografía 1.4c* se tiene el fondo de un decantador y la tubería que se observa es de PVC 200mm con agujeros en la parte inferior en forma de flauta con la finalidad de extraer la mayor cantidad de lodos en cada ciclo de purgado el mismo que se efectúa 17 segundos cada 60 minutos este proceso tiene un sistema de control automático.

³ Cárcamo: se usa para impulsar todo tipo de agua (residual, pluvial).



Fotografía 1.4: Decantadores o Sedimentadores

Lavado.- Para lavar el material filtrante, se le somete a una corriente de aire y agua que circula generalmente de abajo hacia arriba, corrientes destinadas a desprender las impurezas y arrastrarlas hacia el canal de evacuación que luego será depositado en un tanque de recuperación de agua de lavado de los filtros. El agua que ha sido almacenada en este depósito es bombeada posteriormente al tanque de espesamiento de lodos. En la fotografía 1.5 se indica el lavado de una unidad de filtración se observa que el agua que decanta en el canal del agua de lavado tiene presencia de turbiedad la finalidad es que al termino del lavado quede con la menor cantidad de impurezas posibles los tiempos de lavado se detalla a continuación: tiempo de desprendimiento 2 minutos esto se lo realiza con la ayuda de un soplante, tiempo de lavado 8min para proceso se utiliza 1 bomba que nos proporciona agua existente en la cámara de contacto con un caudal de 150 l/s y tiempo de enjuague 2 minutos para ello se aplicara agua que ha sido recolectada luego de la sedimentación y que ingresara por la parte superior del filtro.



Fotografía 1.5: Lavado de la unidad de filtración.

Espesador de lodos.- El espesador es un mecanismo que se utiliza para la concentración de lodos y reducción de volumen a estabilizar o transportar, va instalado sobre una cuba de hormigón.

Los lodos que llegan al espesador se encuentran con un cilindro metálico que rompe la velocidad de las aguas y elimina las posibles turbulencias, las aguas son obligadas a descender para posteriormente desplazarse hacia el exterior del tanque donde desaguan a un canal periférico. Los lodos y la materia orgánica se depositan en el fondo de la cuba de forma cónica que es barrido por el mecanismo instalado de tal forma que son transportados hacia el centro del tanque donde hay un pozo que los recoge para ser evacuados del mismo.

En la imagen 1.2 se puede distinguir las principales partes de un espesador de lodos. El grupo motriz es de accionamiento central formado por un grupo moto reductor.

1. Eje: esta solidario al grupo motriz, transmite todo el esfuerzo al conjunto.
2. Barredores de fondo: montados sobre dos brazos soportes diametralmente opuestos
3. Piquetas de espesamiento: van montados sobre los brazos porta rasquetas.
4. Campana central: tiene por misión tranquilizar las aguas de llegada.

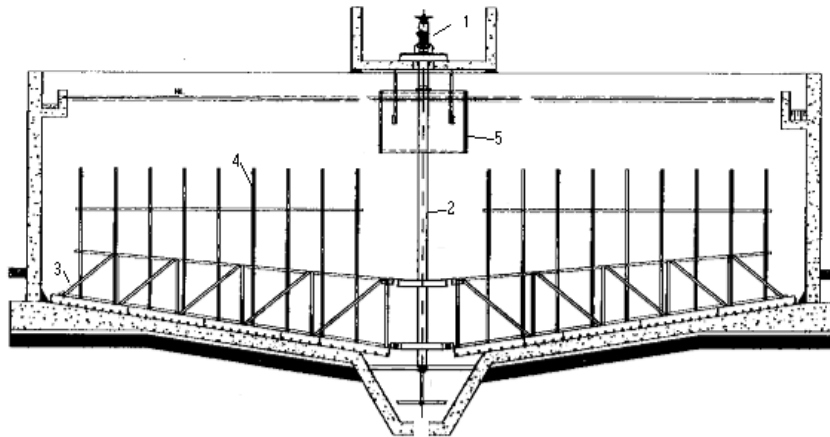
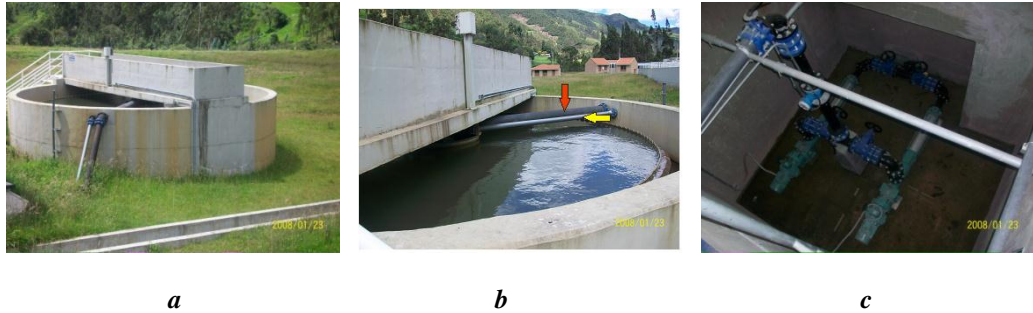


Imagen 1.2: Partes principales de un espesador de lodos.



Fotografía 1.6: Espesador de lodos.

En la fotografía 1.6a se indica una vista de espesador, en la 1.6b se muestra las tuberías de diámetro 200mm de hierro dúctil (flecha anaranjada) proveniente de la extracción de lodos de los sedimentadores y la de PVC de 110mm de diámetro (flecha amarilla) que arrastra el agua que se almacena en el tanque de recuperación provenientes del agua de lavado de filtros y del cárcamo de bombeo y en la 1.6c se observa las dos bombas de cavidad progresiva que sirven para extraer los lodos del tanque espesador que luego serán deshidratados.

Deshidratación.- Es la capacidad de perder agua de un lodo que ha sido almacenado con anterioridad en el tanque espesador para mejorar sus características fisicoquímicas, este fenómeno puede ocurrir en forma natural por acción de la gravedad o en forma artificial por aumento de la gravedad o presión externa.

Filtro Banda.- Se componen principalmente de un bastidor rígido, un conjunto de rodillos por el cual se traslada dos bandas filtrantes independientes y sin fin, entre las cuales se deshidrata el fango aprovechando varios principios físicos, gravedad, presión, etc., además de sofisticados sistemas necesarios para el funcionamiento, como tensión de bandas, guiados de bandas, rasquetas de descarga.

El filtro banda básicamente es utilizado para la transformación del lodo en una torta pastosa deshidratada. Básicamente, el lodo que entra a este equipo sufre tres tratamientos:

- a. Floculación o acondicionamiento químico

- b.** Filtración gravitatoria
- c.** Prensado

El proceso de deshidratación comienza con la floculación del lodo. Esta etapa es importante, ya que permite la aglomeración de la materia seca en copos, consiguiéndose así una primera separación líquido / sólido. También esta etapa tiene por finalidad el darle una estructura al fango tal que pueda soportar eficazmente el prensado creciente al que se verá sometido más adelante.

Una vez añadido el floculante (polielectrolito orgánico), el fango floculado pasa a la zona de filtración por gravedad. Esta filtración se realiza a través de una banda filtrante, por la que discurrirá el agua sobrante.

Después de haberse drenado el lodo floculado por gravedad, la capa espesada de lodo entra en la etapa de prensado. En esta etapa la capa de lodo se introduce entre dos bandas filtrantes. Estas bandas someten al lodo a una elevada presión, y al mismo tiempo lo transportan a través de todo el sistema de rodillos, extrayéndole una cantidad suplementaria de agua.

Finalmente, las dos bandas se separan, y la torta de fango obtenida se extrae de las bandas filtrantes por medio de rasquetas, para caer sobre la banda transportadora.



a



b



c

Fotografía 1.7: Proceso de deshidratación de fangos

En la fotografía 1.7a se observa el ingreso del lodo que previamente fue adherido una dosis de polímero con la finalidad de que se efectuó el proceso de la deshidratación, en la 1.7b se muestra el lodo deshidratado en su etapa final y finalmente en la imagen 1.7c se observa la acumulación de los lodos deshidratados.

1.4. Caracterización de lodos.

Las características de los lodos varían de una planta a otra, dependiendo de la calidad de agua cruda, del tratamiento recibido y de la época del año, sin embargo, poseen características básicas similares.

El lodo es un fluido no Newtoniano, voluminoso, de aspecto gelatinoso, compuesto principalmente por agua (más del 90%), sulfato de aluminio, partículas inorgánicas (arcilla o arena), coloides, residuos de reactivos químicos añadidos durante el proceso de tratamiento, plancton, y otra materia orgánica e inorgánica removida del agua. El conocimiento de estas características es esencial para determinar su tratamiento y su disposición final.

Toda ésta composición provocan que el lodo sea: insoluble a pH natural, fácilmente sedimentable, muy compresible, sin embargo, resiste el paso del agua.

1.4.1. Determinación de Sólidos Totales (ST).

La determinación de ST es de mucha importancia para desarrollar el proyecto en estudio puesto que este parámetro nos ayuda a establecer la dosificación del químico deshidratador (polielectrolito) y la concentración de este pero especialmente la producción de lodos deshidratados que se producirán

Para determinar los sólidos se siguió el método que se describe a continuación de la “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540B*”

2540 A Introducción

“Los sólidos se refieren a materias en suspensión o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos pueden afectar la calidad del efluente en un sin número de maneras. El agua con alto contenido de sólidos disueltos en general suelen ser de inferior palatabilidad y puede inducir una reacción fisiológica desfavorable al consumidor. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/l de sólidos disueltos. Las aguas muy mineralizadas tampoco son adecuadas para muchas aplicaciones industriales. Aguas con alto contenido de sólidos en suspensión pueden ser estéticamente insatisfactorias. El análisis de sólidos es importante para el control físico y biológico del tratamiento de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de los efluentes que contienen aguas residuales.

1. Definiciones

“Los sólidos totales” es el término aplicado a los residuos de material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen “Sólidos totales suspendidos” es la parte de sólidos totales retenidos por un filtro y “Sólidos disueltos totales” la porción que pasa por el filtro.

El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los principales factores que afectan la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos. “Sólidos disueltos” es la porción de sólidos que pasa a través de un filtro de 2,0 μm (o menor) de tamaño de poro nominal con condiciones especificadas.

“Los sólidos en suspensión” son la parte retenida en el filtro.

“Sólidos fijados” es el término aplicado al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado a una temperatura específica. La pérdida de peso por ignición se debe a los “Sólidos volátiles”. La determinación de sólidos volátiles y fijados no distingue con precisión entre materia inorgánica y orgánica porque la pérdida de peso por ignición no se limita al material orgánico, sino que incluye las pérdidas debidas a la descomposición o la volatilización de algunas sales minerales. Una mejor caracterización de materia orgánica puede hacerse mediante pruebas como el carbono orgánico total (Sección 5310), demanda bioquímica de oxígeno (DBO Sección 5210), y la demanda química de oxígeno (DQO Sección 5220).

“Líquidos sedimentables” es el término aplicado al material que se desprende de la suspensión dentro de un período definido. Se pueden incluir material flotante, dependiendo de la técnica (Sección 2540F.3 b).

2. Fuentes de error y variabilidad

La temperatura a la que se seca el residuo tiene una influencia importante en los resultados, debido a las pérdidas de peso por volatilización de la materia orgánica, el agua ocluida, el agua de cristalización y los gases a partir de la descomposición inducida por el calor, así como las ganancias de peso debido a la oxidación, dependen de la temperatura y el tiempo de calentamiento. Cada muestra requiere una estrecha atención a la desecación después del secado. Minimizar la apertura del desecador porque el aire húmedo entra. Algunas muestras pueden ser más fuertes en el desecador y puede tomar agua.

Los residuos secos a 103-105 ° C pueden retener agua de cristalización y también agua ocluida. Como resultado de la conversión de bicarbonato en carbonato habrá la pérdida de CO₂. La pérdida de material orgánica por volatilización suele ser muy ligero. Dado que la eliminación de agua ocluida es marginal a esta temperatura, el logro de un peso constante puede ser muy lento.

Los residuos secados a 180 ± 2 ° C perderán casi toda el agua ocluida. Un poco de agua de cristalización puede permanecer, sobre todo si hay presencia de sulfatos. La materia orgánica se puede perder por volatilización, pero no se destruye por completo. La conversión de bicarbonatos en carbonatos produce pérdidas de CO₂, y los carbonatos puede ser descompuesto parcialmente en óxidos o sales básicas. Algunos cloruros y sales nitradas se pueden perder.

Los resultados para residuos con alto contenido de aceite o grasa pueden ser cuestionables debido a la dificultad de secado hasta que su peso sea constante en un tiempo razonable.

Para garantizar la calidad, analizar las muestras por duplicado y secar las muestras hasta que su peso sea constante si es posible. Esto implica múltiples ciclos de secado-enfriado-pesaje para determinar cada muestra.

3. Manipulación de la muestra y la conservación

Utilice botellas de plástico o vidrio refractario, siempre que el material en suspensión no se adhiere a las paredes del recipiente. Comience tan pronto como sea posible debido a la practicidad de preservar la muestra a analizar. Refrigerar la muestra a 4 ° C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos.

4. Selección del método

Métodos B a F son adecuados para la determinación de sólidos en agua potable, de superficie y las aguas saladas, así como las aguas residuales domésticas e industriales en el rango de hasta 20 000 mg / L.

Método G es adecuado para la determinación de sólidos en los sedimentos, así como sólidos y materiales semisólidos producidos en el agua y el tratamiento de aguas residuales.

2540 B. Sólidos totales secados a 103-105 ° C

1. Discusión General

- a) Principio: Una muestra bien mezclada se evapora en un plato pesado y se seca hasta peso constante en un horno a 103 hasta 105 ° C. El aumento de peso en la cápsula vacía representa el total de sólidos. Es posible que en muestras de aguas residuales los resultados no representen el peso real de los sólidos disueltos y suspendidos.
- b) Interferencias: El agua mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloro y / o sulfato puede ser higroscópico y requieren prolongados tiempos de secado, una desecación adecuada y un pesado rápido. Excluir las partículas grandes, flotantes o sumergidas de materiales aglomerados no homogénea la muestra, si se determina que su inclusión no se desea en el resultado final. Dispersar el aceite y la grasa visible flotantes con una batidora antes de retirar una porción de muestra para su análisis.

2. Accesorios

- a) Cápsulas planas de evaporación: Platos de capacidad de 100 ml de hecho de uno de los siguientes materiales:
 - 1) La porcelana, 90mm de diámetro.
 - 2) Platino, generalmente satisfactorio para tales fines.
 - 3) Vaso alto de sílice.
- b) Mufla para operar a 550 ± 50 ° C.
- c) Baño de vapor.
- d) Desecador, provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- e) Estufa de secado, para operar de 103 a 105 ° C.

- f) Balanza analítica, capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- g) Agitador magnético con barra de agitación.

3. Procedimiento

- a) **Preparación de la cápsula de evaporación:** Si los sólidos volátiles se van a medir la evaporación se realizará a 550 ° C durante una hora en un horno de mufla. Si sólo los sólidos totales se van a medir, el calor será de 103 hasta 105 ° C durante una hora. En el desecador se colocara la muestra hasta que se realice el control del peso.

- b) **Análisis de la muestra:** Elegir un volumen de muestra que rendirá un residuo de entre 2,5 y 200 mg. Transfiera un volumen medido de muestra bien mezclada, a un plato previamente pesado, tomar la muestra desde el punto medio aproximado del contenedor pero no en el vórtice. Agitar la muestra con un agitador magnético durante la transferencia. Si es necesario, agregue muestra en porciones sucesivas de un mismo plato después de la evaporación. Cuando se evapora en un horno de secado, para evitar salpicaduras debe estar 2 ° C menos que la temperatura de ebullición. La muestra se debe evaporar por lo menos durante una hora en un horno de 103 a 105 ° C, el plato se coloca en un desecador a una temperatura de equilibrio y pesar. Repita el ciclo de secado, refrigeración, desecación y pesado, hasta que se obtenga un peso constante, o hasta que el cambio de peso sea inferior al 4% del peso previo o 0,5 mg, lo que sea menor.

4. Cálculo

$$mg \text{ solidos totales}/l = \frac{(A - B) \times 1000}{muestra \text{ ml}}$$

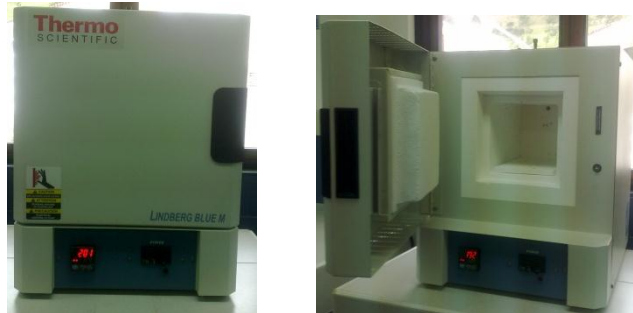
donde:

A = peso del residuo plato + seca, mg.

B = peso de la cápsula, mg.

5. Precisión

En un laboratorio se analizaron 41 muestras por duplicado de agua limpia y residuales se obtuvo una desviación estándar de las diferencias de 6,0 mg/l.⁴



Fotografía 1.8: Horno mufla propiedad del Laboratorio Planta de Sustag



Desecador y Crisol

Balanza Analítica

Fotografía 1.9: Equipos de laboratorio.

Estos análisis fueron realizados a 48 muestras tomadas a diferentes horas de operación tanto en el sedimentador como en el espesador de fangos con la finalidad de determinar el incremento de sólidos totales y por consiguiente la productividad de los lodos en estas dos unidades de mayor incidencia con relación al tiempo de potabilización del agua, también fue necesario realizar el estudio físico químico de algunas muestras para poder determinar la caracterización de los lodos presentes en la planta.

1.4.2. Caracterización de lodos.

1.4.2.1. Sedimentadores.

⁴ ANDREW D. EATON, LENORE S. CLESCERI, ARNOLD E. GREENBERG, Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 19th Edition 1995

Para el desarrollo del proyecto, es importante analizar las características físico – químicas de los lodos tanto que ingresan al espesador de fangos como el que sale de este. Esto se hace para conocer el lodo que se producirá al deshidratar que es con el que se va a trabajar.

Fue necesario realizar estadísticas de la producción de lodos que generan los procesos de potabilización. Para ello se eligió analizar en los sedimentadores donde la presencia de lodos es mayor ya que el agua se encuentra con una velocidad 0 y se produce la sedimentación del floc. La suma de estos forman un lodo con un peso específico de 1010kg/m^3 que luego será extraído y depositado en el tanque de espesamiento para ser deshidratado.

El análisis se lo realizo en una celda del sedimentador de la siguiente manera:

1. Se procede a limpiar el sedimentador en su totalidad.
2. Llenado del sedimentador con agua cruda (sin químicos).
3. Se toma la primera muestra con lo que se verifica que no existe presencia de lodos.
4. Se cierran las válvulas de extracción de lodos.
5. Se inicia la potabilización.
6. Al fin de la producción se toma una muestra representativa y se analiza el estado de la muestra (ST) (*Anexo 1.1*).
7. Este muestreo se realizo durante una producción de 31,5 horas como se indica en el análisis del cuadro 1.2.
8. De esta manera se tabulo los datos obtenidos y se realiza una estadística que se indica a continuación.

PRODUCCION DE LODOS POR CELDA DE SEDIMENTACION								
<i>Tiempo diario</i>	<i>Tiempo acumulado</i>	<i>ST</i>	<i>Altura</i>	<i>Área</i>	<i>Volumen</i>	<i>Producción</i>	<i>Prod. total</i>	<i>ST</i>
<i>(hr)</i>	<i>(hr)</i>	<i>(%)</i>	<i>(m)</i>	<i>(m²)</i>	<i>(m³)</i>	<i>(m³/h)</i>	<i>8 celdas(m³/h)</i>	<i>(kg)</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,5	6,5	1,03	0,36	0,18	3,159	0,486	3,888	32,8631

7	13,5	1,26	0,6	0,2997	5,259407	0,38958569	3,116685486	66,9312
5	18,5	1,82	0,8	0,3977	6,980226	0,3773095	3,018476033	128,311
3	21,5	1,48	0,88	0,4365	7,659853	0,35627223	2,850177806	114,499
3	24,5	1,74	1,12	0,5509	9,668903	0,39464911	3,157192916	169,921
3	27,5	2,5	1,2	0,5885	10,32864	0,37558703	3,004696216	260,798
4	31,5	5,26	1,4	0,6813	11,95624	0,37956323	3,036505801	635,187
Promedio		1,886	0,795	0,3918	6,876534	0,34487085	2,758966782	176,064

Cuadro 1.2: Producción de lodos en el sedimentador.

Como se indica en la cuadro 1.2 la producción de lodos tiene un promedio de 2,75 m³/h con unos Sólidos Totales de 1,88 en las 8 celdas de sedimentación.

Estos resultados son representados en los gráficos 1.1, 1.2 y 1.3.

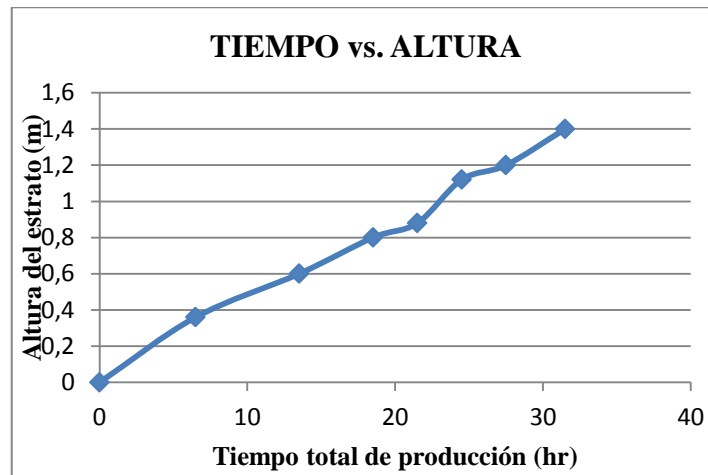


Gráfico 1.1: Tiempo vs. Altura.

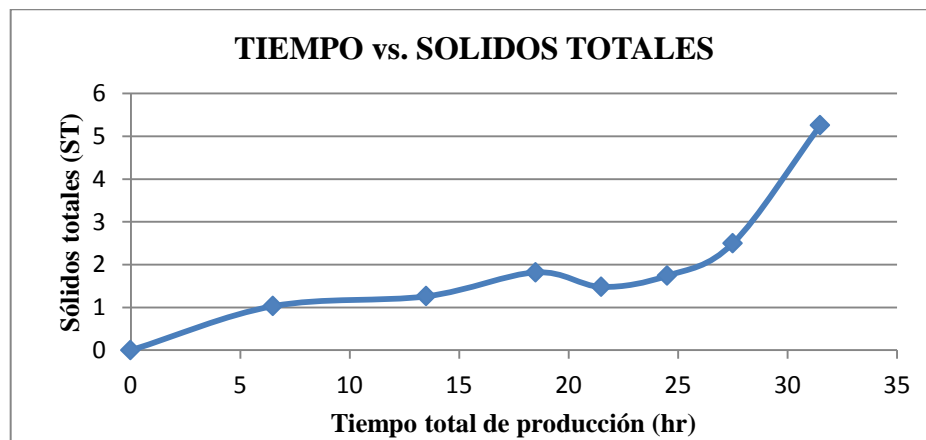


Gráfico 1.2: Tiempo vs. ST.

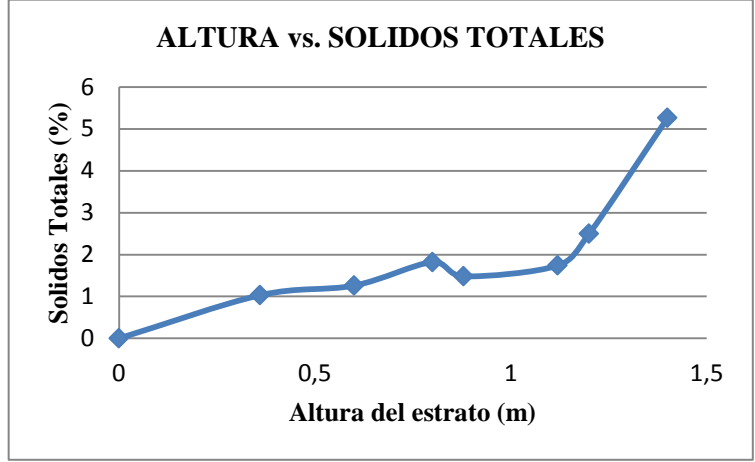


Gráfico 1.3: Altura vs. ST.

En la relación Altura vs. ST. del estrato del lodo, la altura en los puntos finales no varía de una manera violenta, pero no ocurre así con la de los sólidos que conforme pasa el tiempo se compacta los lodos en fondo del sedimentador aumentando la cantidad de sólidos. La altura del sedimentador a la que se hace referencia es la indicada en la imagen 1.3 (altura h).

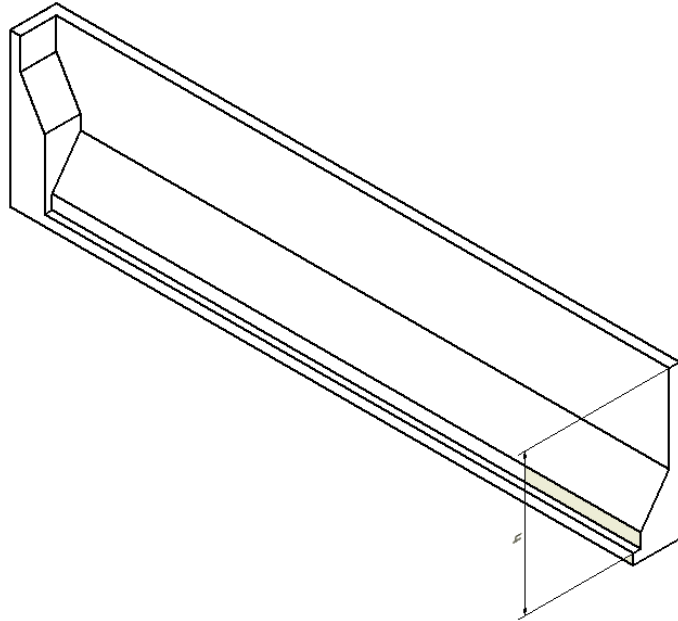


Imagen 1.3: Sedimentador.

1.4.2.2. Espesador de Fangos.

De igual manera que se realizo las estadísticas en el sedimentador procedimos con el espesador de fangos, en esta unidad procedimos de la siguiente manera:

1. Aislar la línea del sedimentador que se está analizando.
2. Habilitar las purgas de esta unidad.
3. Programar el tiempo de purgado en este caso se dispuso que cada hora se abran las válvulas 17 segundos con lo que el lodo del sedimentador se extraía.
4. Tomar las muestras cada cierto intervalo de tiempo, disponer según la facilidad del análisis de las muestras.
5. Analizar las muestras y con ello se puede tabular.

BALANCE DE SOLIDOS EN EL PROCESO DE LA EXTRACCION DE UNA CELDA DEL SEDIMENTADOR	
MATERIA SECA	
Producción de Lodo:	0,164 t ST
Sólidos Totales	113,8 kg/m ³
Sólidos Volátiles:	52,7 kg/m ³
Sólidos Fijos:	61 kg/m ³
Masa específica de los sólidos:	1475 kg/m ³
Volumen de sólidos:	0,11 m ³
BIOSOLIDOS A SER DESHIDRATADOS (EFLUENTE DEL ESPESADOR)	
Contenido de ST en el lodo espesado:	2,41 % (Medido)
Peso del Biosólido:	6,80 t
Masa específica del biosólido:	1008 kg/m ³
Volumen del biosólido:	7 m ³
BIOSOLIDOS DESHIDRATADOS A SER EVACUADOS DE LA PTAP	
Contenido de ST en el lodo deshidratado:	30 % (Proyectado)
Peso del Biosólido:	0,55 t
Masa específica del biosólido:	1107 kg/m ³
Volumen del biosólido por cada 62,5 (m ³) de lodo extraído de un sedimentador:	0,494 m ³
VOLUMEN TOTAL ESTIMADO DE LAS 4 UNIDADES	1,975 m³

PRODUCCION DE BIOSÓLIDO POR MES EN LA PLANTA DE

SUSTAG.	
Volumen extraído de los sedimentadores (m ³)	1008,84
Volumen de biosólido (m ³)	31,89

Cuadro 1.3: Balance de sólidos en el proceso de la extracción de una celda del sedimentador.

Por lo tanto la producción de biosólido mensual de las cuatro unidades de sedimentación y luego de pasar por el acondicionamiento de lodo (Espesador de Fangos) se tiene una producción de biosólido promedio (Lodo deshidratado) de 32 m³ mensualmente.

La altura del espesador a la que se hace referencia es la indicada en la imagen 1.4 (altura h).

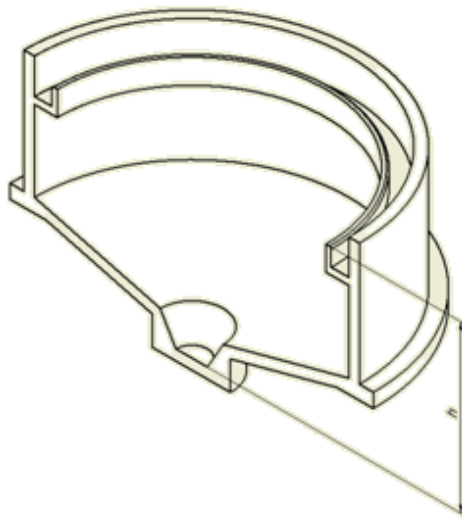
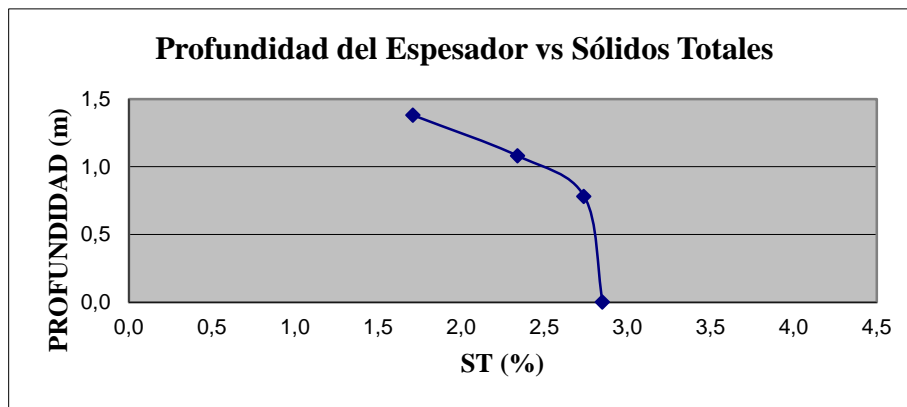


Imagen 1.4: Espesador de Fangos.

1.4.2.3. Características del Lodo Deshidratado.

Para determinar las características de lodo deshidratado, se toma dos muestras representativas de una producción de estos lodos, los que son enviados al laboratorio y son analizadas sus características como indica el *Anexo 1.2*.

A más de ello en la planta se tiene un registro de humedad y sólidos totales de este tipo de lodos, con lo que se concluye que el lodo deshidratado se encuentra entre un 80 y 90 % de ST o lo que corresponde a un 10 y 20 % de humedad respectivamente.

CAPITULO II

2. MECANISMOS DE TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y DESALOJO DE LODO.

Una vez que ya se ha establecido las propiedades físico – químicas de los lodos deshidratados provenientes de la potabilización de agua y la producción de los mismos, se tiene la suficiente información como para iniciar a definir los sistemas de transporte, almacenamiento y despacho.

En el presente capítulo el objetivo es definir los sistemas tanto de transporte como de almacenamiento de acuerdo a experiencias de otras aplicaciones y análisis de las variables obtenidas en el capítulo anterior. Existen una variedad de medios de transporte y almacenamiento para fluidos como el lodo, pero se deberá analizar también desde el punto de vista de costos y disposición de espacio para la ubicación de los mismos.

2.1. Mecanismos de transporte de lodo.

El primer punto concerniente a la parte mecánica de este proyecto es la elección de un mecanismo de transporte para los lodos deshidratados obtenidos de la potabilización de agua.

Los métodos de transporte y evacuación final determinan a menudo, el tipo de estabilización necesaria y la reducción de volumen a conseguir. Los parámetros para la selección de transporte de lodos son:

- Naturaleza, consistencia y cantidad de fango a tratar.
- Distancia entre origen y destino.
- La disponibilidad y cercanía de los medios de transporte desde los puntos de origen y destino.

- El grado de flexibilidad que hay que exigir del método de transporte seleccionado.

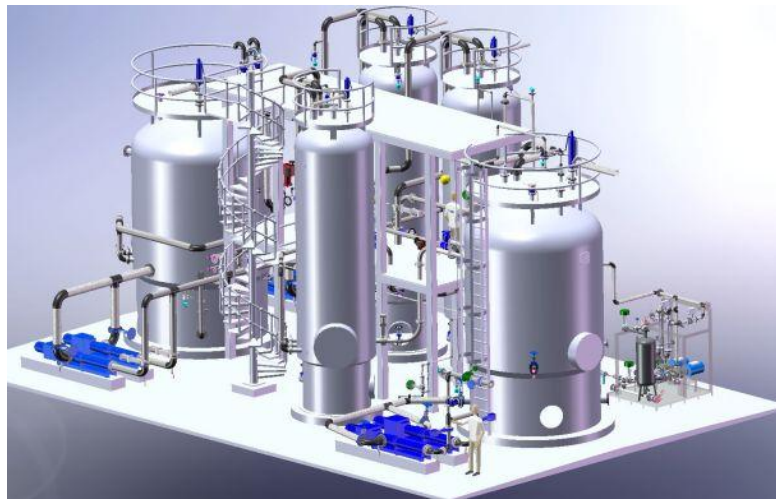
Los métodos de transporte más aptos para el fin planteado, de acuerdo a investigaciones realizadas son los siguientes:

- Tuberías
- Tornillos sin fin
- Bandas transportadoras

A continuación se redactará una breve información acerca de cada uno de estos mecanismos para evaluar la aplicabilidad de los mismos de acuerdo a los factores mencionados.

2.1.1. Mecanismo de transporte de lodo por tubería (*Imagen 2.1*).

El empleo de las tuberías implica un sin número de elementos tales como la elección de las bombas, los sistemas de control, elección del diámetro y el material de la tubería, también se debe tener en cuenta la limpieza y mantenimiento de la tubería.



***Imagen 2.1:* Transporte de lodo por tubería (bombeo).**

Las bombas deben adaptarse al fango deshidratado las mismas que pueden variar según el grado de deshidratación del fango y las características de este, pudiendo así encontrar bombas con tolva pequeña, grande, o con tornillo de transporte previo (Arquímedes), sistema rompe bóvedas etc.

2.1.1.1. Principio de funcionamiento.

Se trata de un sistema de bombeo hidráulico en donde el principio es sencillo: “La presión ejercida sobre la superficie de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones”, por ello dentro de este sistema se contará con una bomba que se encarga de convertir la energía de una fuente en movimiento (motor) en energía cinética y luego en energía mecánica (presión), la bomba se encarga de aportar energía al fango bombeado, el cual puede ser manejado bajo dos aspectos: caudal y presión dependiendo de las necesidades de la instalación, el fango ingresa por un sistema de succión (tolvas) y luego va a ser comprimido dentro de una cámara hermética para finalmente ser transportado por tuberías a su destino final, dentro de este sistema también se considera la presencia de controladores como son las válvulas que nos permitan regular caudal y presión indistintamente según la necesidad y en si los sistemas de control eléctrico.

2.1.1.2. Tipos de bombas.

Dentro de la industria existen una multitud de bombas pero para este sistema se mencionarán las que pueden ser útiles en la transportación del fango.

Bombas de tolva abierta (*Imagen 2.2*).- Las bombas forman parte del grupo de bombas volumétricas rotativas. La característica principal de estas bombas es la disposición y la forma especial de los dos elementos de transporte, así como del movimiento que de ello resulta. El tornillo helicoidal simple con sección circular gira con un movimiento oscilante: el rotor, los mismos que se caracterizan por sus superficies de alta calidad ya

que son sujetos a modernos procedimientos de mecanizado, pulido y recubrimiento para disminuir la fricción y la corrosión.

El estator es el segundo elemento de transporte, es fijo y está equipado con un tornillo interior de las mismas medidas geométricas, pero con el doble de vueltas. Las vueltas giran 180 grados entre sí y presentan el doble de pendiente.

Debido a las diferencias de vueltas y de pendiente de los elementos de transporte se crean cavidades que se abren y se cierran alternativamente en una secuencia sin interrupciones mientras gira el rotor. De esta forma, el medio se transporta de forma continuada del lado de aspiración al lado de presión. Debido a la forma geométrica y el contacto continuo de ambos elementos de transporte se forman líneas de sellado que garantizan un cierre absoluto entre el lado de aspiración y de presión en cualquier posición del rotor, incluso cuando está parado. Así la bomba obtiene una alta capacidad de aspiración y la generación de alta presión es prácticamente independiente de la velocidad. La dirección de transporte se puede invertir cambiando el sentido de giro.



Imagen 2.2: Bomba de tolva abierta (Principio de funcionamiento).

Este tipo de bombas se utilizan para sustancias espesas con poca o ninguna fluidez propia. El grupo **T** (*Imagen 2.3*) dispone de una tolva de alimentación y dispositivos para una alimentación segura del producto. Se utiliza para transportar productos viscosos o semisólidos en casi todos los sectores de la industria. Manejan un caudal que oscila entre 50 l/h – 500 m³/h y una presión de hasta 36 bares.



Imagen 2.3: Bomba de tolva abierta.

•Serie BTQ (*Imagen 2.4*).

Características:

- ✓ Para el transporte de productos altamente a moderadamente viscosos con escasa fluidez.
- ✓ Tolva de alimentación cuadrada con trampillas de inspección a ambos lados.
- ✓ Caudales: 50 l/h – 100 m³/h.
- ✓ Presiones: hasta 24 bar.

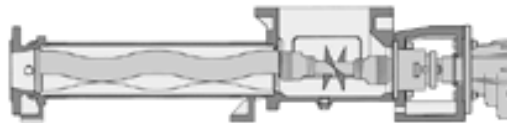


Imagen 2.4: Bomba de tolva abierta Serie BTQ.

•Serie BT (*Imagen 2.5*).

Características:

- ✓ Para transporte de productos altamente viscosos con escasa fluidez.
- ✓ Tolva de alimentación rectangular, longitud adaptable a las condiciones de servicio.
- ✓ Llenado óptimo de los elementos de bombeo gracias a la compresión cilíndrica/cónica.
- ✓ Caudales: 100 l/h – 300 m³/h.
- ✓ Presiones: hasta 36 bar.



Imagen 2.5: Bomba de tolva abierta Serie BTQ.

•Serie BTH (*Imagen 2.6*)

Características:

- ✓ Para el transporte de productos altamente viscosos o semisólidos, incluso sensibles al cizallamiento, con tendencia a la formación de bóvedas.
- ✓ Hélice hueca con accionamiento separado, de desplazamiento céntrico y en los bordes.
- ✓ Adaptación de la velocidad de la hélice mediante accionamiento propio.
- ✓ Tornillo de transporte con pendiente maximizada y estirada.
- ✓ Tolva de alimentación con rectangular con paredes verticales, longitud adaptable a las condiciones de trabajo.
- ✓ Caudales: 0,5 m³/h – 130 m³/h
- ✓ Presiones: hasta 36 bar.

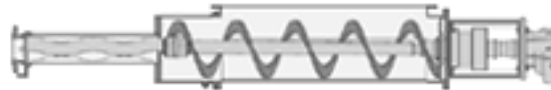


Imagen 2.6: Bomba de tolva abierta Serie BTQ.

Bombas para manejo de sólidos (Imagen 2.7).- Las bombas de desplazamiento positivo son capaces de transportar un amplio espectro de materiales, incluso medios no newtonianos.

En general, las bombas para manejo de sólidos son especialmente adecuadas para transportar cualquier medio por una tubería cerrada. Este tipo de bombas se aplican en bombeo de lodos deshidratados de depuración, carga de residuos en incineradores, aplicaciones mineras y mucho más para caudales hasta 103 m³/h y una presión de 16 bares.

La bomba tiene un accionamiento hidráulico, formada por cuatro componentes principales:

1. La bomba propiamente dicha, con el accionamiento y los cilindros de las válvulas.
2. La central hidráulica.
3. El alimentador de tornillo, que se encarga de llenar los cilindros de la bomba.

4. El panel de control con PLC, que permite la integración de la bomba en procesos complejos y en sistemas de control.



Imagen 2.7: Bomba para manejo de sólidos.

PCM Moineau - Bombas GAVO (Barcelona – España).- Los fangos deshidratados procedentes del filtro banda son recogidos en un transportador de tornillo sin eje y enviados a la bomba de tornillo como se indica en la imagen, la misma que a su vez sería impulsado a un silo de fangos si se lo requiere.

- **Bomba Gavo GTA. (Imagen 2.8)**

Características:

- ✓ Bombeo de fangos espesos hasta 85% de humedad.
- ✓ Presión máxima 12 bares.
- ✓ Longitud máxima de tolva 1.500 mm.



Imagen 2.8: Bomba GAVO tipo GTA.

- **Bomba Gavo GCA. (Imagen 2.9).**

Características:

- ✓ Bombeo de fangos hasta 20% de humedad.
- ✓ Caudal máximo 50 m³/h.
- ✓ Presión máxima 24 bares.
- ✓ Longitud máxima de tolva 3.000 mm.

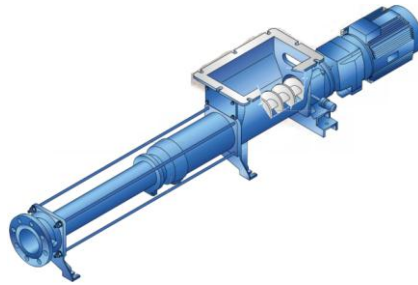


Imagen 2.9: Bomba tipo GAVO GCA.

2.1.1.3. Elementos de un sistema de transporte por tubería.

Un sistema de transporte de lodos por tubería se diferencia de los demás únicamente por la bomba que se aplica, el resto del sistema es similar a cualquier otro.

En la *imagen 2.10* se puede apreciar en forma general una bomba para fango y como se indica en las flechas, la succión y descarga se conectan a tuberías encargadas de transportar dicho lodo a su destino.

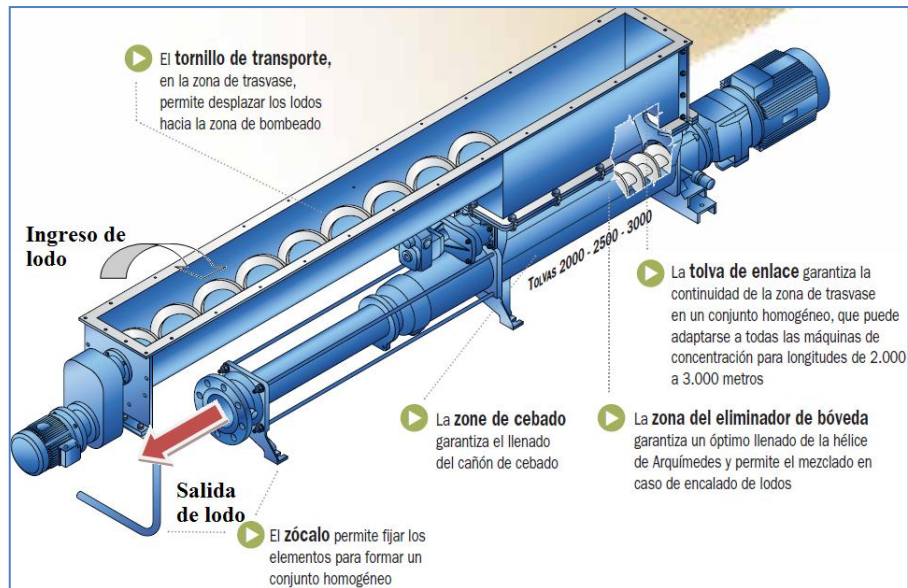


Imagen 2.10: Elementos de una bomba para lodos.

2.1.1.4. Ventajas de un sistema de transporte por tubería.

Las ventajas más significativas que presenta el sistema de transporte del fango por tuberías son:

- Simplicidad de la instalación.
- Facilidad para vencer obstáculos naturales o artificiales. El transporte puede ser en dirección horizontal, vertical o inclinada.
- No requiere de gran despliegue de maniobras de instalación ni de operación. El factor operacional es ventajoso, por cuanto es bajo el número de operarios requeridos para hacer funcionar el sistema.
- Proporciona un flujo continuo y fácil implementación de control automático.
- No se produce daño ni se altera el medio ambiente.
- Permite la elección de la vía más corta entre dos puntos.
- Elimina la influencia de factores climáticos como lluvia, sol, etc.
- Puede alcanzar ritmos de transporte imposibles de realizar con otro tipo de sistema.

- El sistema se adapta con facilidad al grado de deshidratación del fango y las características de este.
- Se ajusta al caudal de bombeo.
- Operaciones completamente automáticas de alimentación y descarga.

2.1.1.5. Aplicaciones de un sistema de transporte por tubería.

- Transporte de lodos deshidratados industriales y municipales, procedentes de centrífugas, filtros prensa, de banda y de vacío.
- Alimentación, de lodos deshidratados o desecados, residuos peligrosos, disolventes y residuos químicos, a Equipos de Secado y/o Incineradores.

2.1.2. Mecanismo de transporte de lodo utilizando bandas transportadoras.

El transportador de banda (*imagen 2.11*) es adecuado para el envío de grandes tonelajes de material en aplicaciones que otros transportadores no los podrían hacer o sería demasiado costosa su aplicación. La capacidad de transporte puede ser de varios miles de toneladas por hora y las distancia desde algunos hasta varios miles de metros. La trayectoria de la banda puede ser en forma horizontal, inclinada o una combinación de estas dos ya sea en forma ascendente o descendente. El grado de inclinación de transportador por bandas se ve limitado por el material a ser transportado, es decir cuando este último empieza a resbalar por la superficie de la banda.



Imagen 2.11: Transportador por banda.

Los materiales que pueden ser trasladados con este mecanismo pueden ser: minerales, vegetales, combustibles, fertilizantes, materiales empleados en la construcción, entre otros, con la condición de que la temperatura de trabajo no sea tan alta como para quemar la superficie cauchosa de la banda.

Desde el punto de vista ambiental, este sistema se puede volver muy amistoso con el medio ambiente ya que al cubrir las cintas transportadoras se puede evitar por completo la emisión de polvos y desechos que puedan desprenderse. Esto es muy importante sobre todo si el transporte se realiza en lugares públicos.

2.1.2.1. Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento de una banda transportadora es de lo más elemental. El material es cargado sobre una cinta continua la cual transporta dicho material del punto A al punto B (*imagen 2.12*).

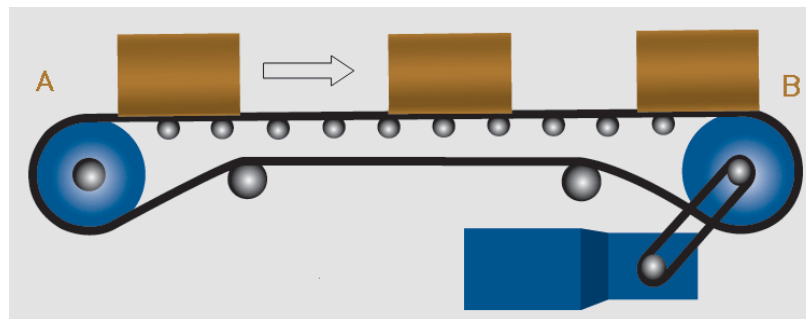


Imagen 2.12: Principio de funcionamiento de un transportador por banda.

La carga y descarga de una banda transportadora es de forma sencilla. La carga se puede realizar en cualquier punto de ella, siendo desde una tolva, desde otra cinta, canales, etc. La descarga comúnmente se realiza en partes elevadas y con cambio de dirección pero también se la puede hacer en cualquier otro punto por medio de otros mecanismos de descarga.

La capacidad de un transportador por cinta depende del ancho de la cinta, de la velocidad y de las características del material a ser transportado.

2.1.2.2. Tipos de Transportadores de banda.

En la industria existen una cantidad indeterminada de materiales que es necesario transportar de un lugar a otro. De acuerdo al material que baya a ser transportado, se toma la decisión del transportador que se ha de utilizar. Los transportadores por banda se clasifican den dos grupos.

Transportador de banda plano.- Se utiliza mayormente para transportar paquetes o materiales a granel por trayectos establecidos y a velocidad requerida (*Imagen 2.13*).



Imagen 2.13: Transportador de banda plano.

Transportador de banda en canal.- Este tipo se utiliza generalmente para el transporte de materiales a granel como: carbón, cemento, vidrio, minerales, arena ya sea húmeda o seca (*imagen 2.14*).



Imagen 2.14: Transportador de banda en canal.

2.1.2.3. Elementos de un transportador de banda.

Un transportador de bandas, puede tener una longitud desde algunos metros hasta varios kilómetros, y de acuerdo a esto los elementos constitutivos de un transportador de este

tipo pueden ser pocos o muchos. En general un transportador por bandas consta de las siguientes partes (*imagen 2.15*):

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Estructura. | 11. Rodillo de retorno. |
| 2. Cinta transportadora. | 12. Rodillo de carga autoalineante. |
| 3. Grupo motriz. | 13. Rodillo de retorno autoalineante. |
| 4. Tambor motriz. | 14. Transición. |
| 5. Tambor de cola. | 15. Tolva de carga. |
| 6. Tambor de desvío. | 16. Cargador. |
| 7. Contrapeso. | 17. Tolva de descarga. |
| 8. Tambor de abrace. | 18. Rascador. |
| 9. Tambor de carga. | 19. Rascador de carga. |
| 10. Rodillo de impacto. | |

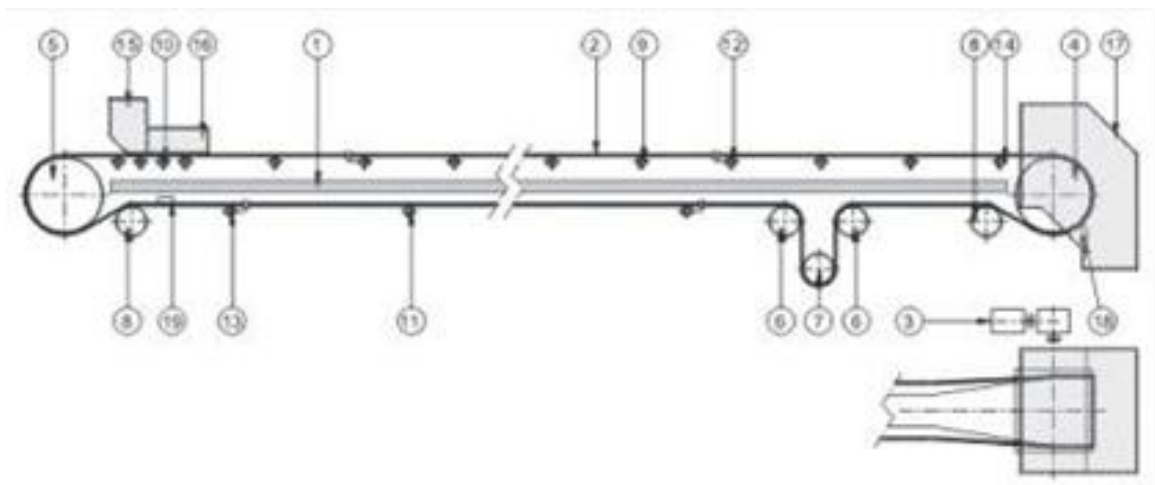


Imagen 2.15: Partes constitutivas de un transportador por banda.

A continuación se detalla los elementos principales de los enumerados anteriormente.

Estructura.- La estructura (*imagen 2.16*) del transportador es el esqueleto cuyo trabajo es el de soportar las cargas del material transportado, tambores, rodillos, y todos los elementos que van montados en ella. Son construidos generalmente de acero en perfil U o también por tubo estructural cuadrado o circular soportados por patas del mismo perfil o tubo.



Imagen 2.16: Estructura de un transportador por banda.

Cinta transportadora (Imagen 2.17).- La función principal de la banda es soportar directamente el material a transportar y llevarlo desde el punto de carga hasta el de descarga, es por esta razón que es considerada el elemento principal del transportador y por ende el costo de esta es muy elevado. Está construido en dos partes: el tejido central y los recubrimientos. El tejido central está fabricado de los siguientes materiales según el cuadro 2.1:

Cuadro No. 2.1

Materiales de fabricación del tejido central de las bandas.

Nombre Común	Designación Abreviada
Algodón	B
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	P
Cables De Acero	St

Fuente: SANTILLAN MESTANZA, Juan Carlos, Criterios para el diseño de una cinta transportadora, Monografias.com

Los recubrimientos son fabricados principalmente de goma por la facilidad de unir los extremos, consta de dos partes, la superior y la inferior, cuyos espesores dependen de la longitud y ancho de la banda y de la aplicación de la misma.

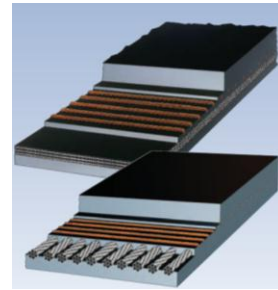
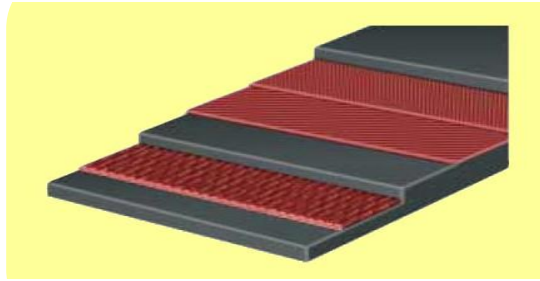


Imagen 2.17: Capas de una cinta transportadora.

Grupo Motriz.- El grupo motriz (*Imagen 2.18*) es el conjunto que le da la fuerza al transportador. Generalmente está constituido de un motor y un reductor de velocidad. Para cintas transportadoras de gran capacidad y servicio pesado, es necesario e indispensable que el par motor sea de crecimiento progresivo ya que de lo contrario, pueden ocasionarse graves perjuicios a la cinta y en el peor de los casos una rotura de la misma. Para este fin se utilizan los embragues que pueden ser hidráulicos o dinámicos (por medio de electromagnetismo).

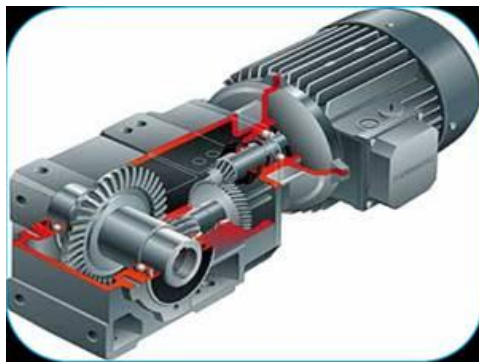


Imagen 2.18: Grupo motriz de un transportador por banda.

Tambor motriz.- Es el encargado en transmitir la fuerza desde el grupo motriz hasta la cinta. La superficie de estos tambores debe ser de un material que pueda arrastrar a la cinta, generalmente goma. Suelen ser de un diámetro un poco mayor para asegurar una mayor superficie de agarre y por ende disminuir el resbalamiento (*imagen 2.19*).

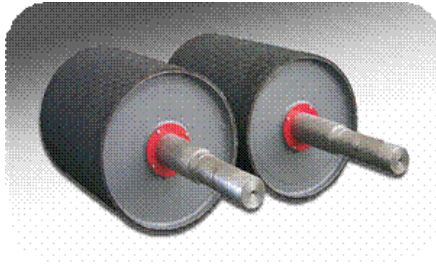


Imagen 2.19: Tambor motriz de un transportador por banda.

Tambor de cola.- Es el punto en donde la banda empieza su camino de retorno, suele ser del mismo diámetro que el tambor motriz y este gira libremente.

Cabe destacar que para la selección tanto del tambor motriz como el de cola se tomarán en cuenta factores como: potencia, velocidad, ancho de banda, entre otros.

Tambor de desvío y contrapeso._ Los tambores de desvío trabajan en conjunto con el de contrapeso. El de contrapeso cuelga de los de desvío para lograr tensionar a la cinta y que esta tenga la suficiente tracción para transportar la carga. En algunos casos en los que la distancia de transporte es corta (de algunos metros) se suele prescindir de estos tambores y el tambor de cola toma esta función, alargando la distancia entre centros de tambores motriz y de cola.

Tambor de abrace o envolvente._ Está encargado en aumentar la superficie de agarre entre el tambor motriz y la cinta transportadora por medio del aumento del ángulo de contacto entre los elementos mencionados.

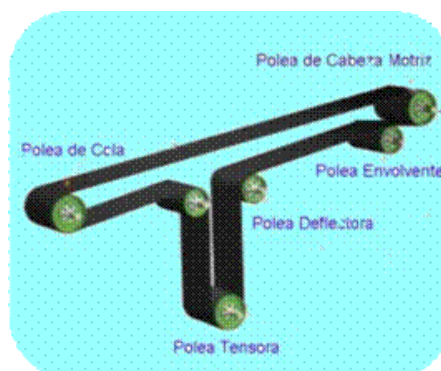


Imagen 2.20: Elementos de tensado de la banda.

Rascador.- Son utilizados especialmente cuando el material a transportar es de consistencia pegajosa. Estos ayudan a descargar lo que por gravedad no se pueda hacer. Este elemento se coloca en la carga y descarga del transportador. El más común de los rascadores es el formado por una placa con un ángulo en la parte de limpieza, suele ser de plástico, goma o metal y en algunos casos va acompañado de un chorro de agua a presión para aumentar la eficiencia de este (*imagen 2.21*).

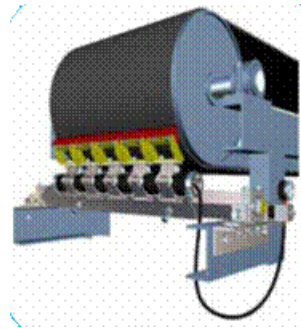


Imagen 2.21: Rascador de transportador por banda.

2.1.2.4. Ventajas de un transportador por banda.

Las ventajas que tiene la cinta transportadora son:

- Permiten el transporte de materiales a gran distancia ya que puede ser armado por paneles.
- Se adaptan al terreno.
- Tienen una gran capacidad de transporte.
- Permiten transportar una variedad grande de materiales.
- Es posible la carga y la descarga en cualquier punto del trazado.
- Se puede desplazar.
- No altera el producto transportado.

2.1.2.5. Aplicaciones de transportador por banda.

Las bandas transportadoras tienen su aplicabilidad en muchas industrias entre las cuales se destacan:

Industria Extractiva.- Que pueden ser minas subterráneas y a cielo abierto y también en canteras. Estos transportadores se encargan en evacuar el material tanto pedregoso como el material a explotar. (*Imagen 2.22*)



Imagen 2.22: Transportador de banda en la industria extractiva.

2.1.3.Mecanismo de transporte de lodo por tornillo sin fin.

Los transportadores por tornillo (*Imagen 2.23*) son muy utilizados debido a la versatilidad de materiales que puede transportar, esto es desde partículas de cualquier tipo hasta elementos pastosos como es el caso de nuestra necesidad.

Al no ser el aire el medio de impulsar en este tipo de transportador, no se da el peligro de que los elementos transportados se puedan contaminar con polvo o vapores del medio ambiente, especialmente si lo transportado es para fines alimenticios o farmacéuticos. De igual manera es imposible que partículas del material transportado se puedan escapar del interior del conducto de transporte.



Imagen 2.23: Transportador por tornillo.

2.1.3.1. Principio de funcionamiento.

La espiral rotatoria que está centralizada dentro del tubo de transporte, mueve lentamente el material sin estropearlo (*Imagen 2.24*). Su excepcional acción también elimina el riesgo de disgregar el producto mezclado. Además el mecanismo de transporte provoca una constante mezcla del material, esto ayuda especialmente si el este es previamente mezclado con algún otro elemento.

La espiral o tornillo es la única pieza en movimiento, lo que implica un bajo costo de instalación y repuestos pero produce un alto rendimiento al no tener muchos puntos de fricción. Para la limpieza basta con desmontar la coraza que cubre a la espiral haciendo una parada más corta.

En si el funcionamiento del sistema es muy simple, el motor gira y al estar anclado al tornillo, hace que este gire también logrando arrastrar al material desde la tolva de alimentación hasta la tolva de descarga. Es muy importante definir al sentido de giro del motor (en sentido contrario al sentido de la espira) ya que de hacerlo en sentido erróneo, puede dañar al tornillo. En la descarga existe un desfogue para que por allí caiga el material transportado.

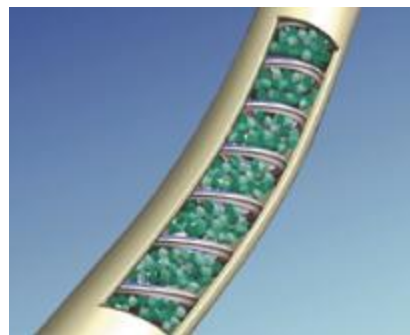


Imagen 2.24: Funcionamiento de un transportador de tornillo.

2.1.3.2. Tipos de transportador de tornillo.

El principio de funcionamiento de todos los transportadores de tornillo es el mismo, lo que varía es el elemento transportador de acuerdo a la aplicación que se vaya a dar. Los transportadores por tornillo se clasifican de acuerdo a su elemento transportador en:

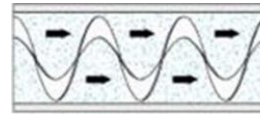
De espiral redonda (imagen 2.25 a).- Empuja algunos de los sólidos hacia fuera entre la espiral y el tubo, lo que reduce la fricción y reduce la carga en el motor de accionamiento. Su cuidada acción giratoria dispersa el producto por el tubo, evitando la separación de las mezclas, y facilitando el proceso de mezclado. Las espirales redondas proporcionan la mejor combinación de eficacia, resistencia y durabilidad del transporte y mezclado.

De espiral plana (imagen 2.25 b).- Fabricada de alambre rectangular, dirige más fuerza positiva hacia delante en la dirección del flujo y aumenta ligeramente la capacidad. Es particularmente adecuado para material fino, aireado o muy fino que requieren una mayor superficie para ayudarles en su movimiento con menor repliegue. Las aplicaciones serían el polvo de talco, polvo de extintores, ayudantes de filtración.

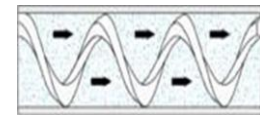
De espiral de perfil achaflanado (Imagen 2.25 c).- Está diseñado para transportar materiales difíciles como óxido de hierro, pigmentos y otros productos cohesivos, aglutinados o apelmazados. Gracias a la alta tolerancia entre el tubo y la espiral, la longitud y capacidad de transporte quedan limitadas. Este perfil es semirrígido así que no permite las curvaturas. Sin embargo, pueden lograrse ángulos de transporte agudos.



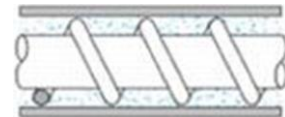
a.



b.



c.



d.

Imagen 2.25: Tipos de espiral de un transportador de tornillo

De espiral con núcleo central (imagen 2.25 d).- Este tipo de espiral se utiliza especialmente para materiales muy ligeros que fluyen fácilmente, para transportadores inclinados de más de 60° y para evitar inundaciones es decir cuando hay sobrealimentación de ciertos sólidos en transportadores cortos u horizontales.

2.1.3.3. Elementos de un transportador de tornillo.

Como se mencionó, el principio de funcionamiento de un transportador de tornillo es muy simple lo que conlleva un número pequeño de elementos (imagen 2.26), entre los cuales se encuentran:

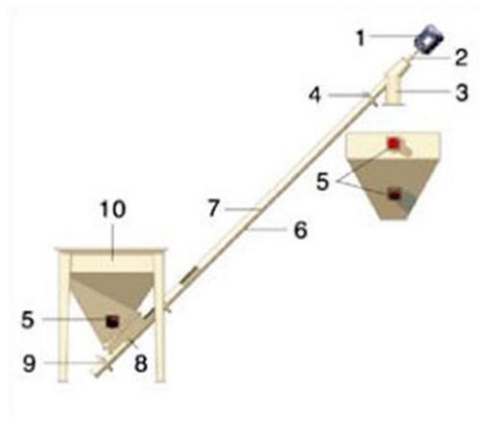


Imagen 2.26: Elementos constitutivos de un transportador de tornillo.

1.- Motoreductor: Es el conjunto encargado en dar el movimiento de giro al tornillo para que pueda ser transportado el material. De acuerdo a especificaciones puede ser de una sola velocidad o puede ser de velocidad variable.

2.- Elemento de ensamble entre motoreductor y tornillo.- Suele ser construido de acero suave o acero inoxidable, es el encargado en unir al motoreductor con el tornillo para que se produzca el movimiento en este último.

3.- Conjunto de salida.- Normalmente es una Y a 45 ° de acero inoxidable, es donde se descarga el material transportado y es de un diámetro mayor al del tornillo.

4.- Acople hermético.- Es la junta entre el tubo externo y el conjunto de salida.

5.- Control de nivel.- Están ubicados en la tolva de descarga, uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Estos sensores pueden como no incluirse en el sistema. Se utilizan solo cuando el proceso es automatizado y es el encargado en identificar si la tolva está llena o vacía.

6.- Tubo externo.- Es el conducto por el cual se transporta el material, suele estar construido en un material flexible como PVC u otro similar.

7.- Espiral flexible.- Es el elemento que se encarga en transportar el material, es fabricado en acero para muelles o acero inoxidable.

8.- Conjunto de entrada.- Construido del mismo material del conjunto de salida, es el extremo donde inicia el transporte del material.

9.- Estrangulador.- La función de este elemento es regular la cantidad de material que ingresará al tubo externo.

10.- Tolva de alimentación.- En esta ingresa el material proveniente de otro transportador o mecanismos de carga, está construido de acero inoxidable o de otro material de acuerdo a las características de lo que se baya a transportar.

Al ser el tubo exterior y la espiral o tornillo de un material flexible, se puede realizar un desplazamiento en diferentes ángulos de acuerdo a la necesidad (*Imagen 2.27*).

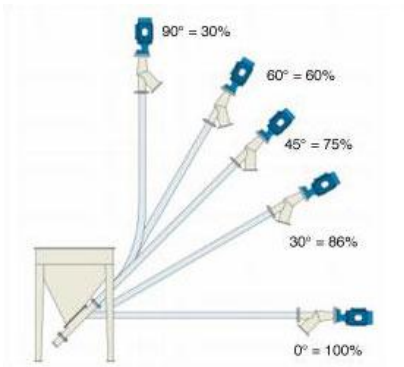


Imagen 2.27: Trayectorias de un transportador de tornillo.

2.1.3.4. Ventajas de un transportador por tornillo.

Los transportadores de tornillo tienen algunas ventajas, entre las cuales se destacan:

Funcionamiento sin generación de polvo.- El sistema de transporte por tornillo está totalmente sellado durante su funcionamiento y debido a que el aire no se utiliza como un medio de transporte, no hay riesgo de contaminación por polvo o humedad de la atmósfera, un factor importante cuando se utiliza en aplicaciones para alimentos o farmacéuticas. Además la presencia de polvo puede ocasionar no sólo contaminación en el aire de otros productos, sino también puede representar una amenaza para el entorno de trabajo.

Cuidadosa manipulación del producto.- La espiral rotatoria que está centralizada dentro del tubo de transporte, mueve lentamente el material sin estropearlo. Su excepcional acción también elimina el riesgo de disgregar el producto mezclado.

Mezclado constante.- La acción de transporte garantiza un mezclado constante del material. Esto es especialmente importante cuando se alimenta un producto premezclado a una máquina de empaquetado y para hacer pastillas.

Simplicidad en el diseño.- La simplicidad de funcionamiento es un elemento clave en los transportadores de sinfín flexible. La única pieza móvil es la espiral accionada por un motor que gira dentro de un tubo sellado para mover los materiales a lo largo del mismo. De esta manera se elimina la necesidad de un equipo de funcionamiento adicional como filtros o cojinetes dando como resultado un sistema con bajos costes de instalación y alto rendimiento y eficacia.

Fácil de limpiar.- La simplicidad de los sistemas de transporte por tornillo hace que el funcionamiento sea limpio y simple. Puede invertirse la marcha del motor eléctrico para vaciar el transportador de material residual que después podrá eliminarse con chorro de agua o una solución de limpieza. En caso necesario, puede extraerse la espiral

rápida del tubo, y los conectores de aflojamiento rápido opcionales permiten una desmantelación y montaje rápidos para reducir el tiempo de parada.

Bajo mantenimiento.- Se garantiza un funcionamiento sin problemas, ya que la única pieza de este transportador es su resistente espiral interna.

2.1.3.5. Aplicaciones de un transportador de tornillo.

Los transportadores por tornillo tienen una aplicabilidad amplia, desde materiales secos, líquidos y pastosos, es por esto que la mayoría de industrias tiene instalado por lo menos un sistema de estos en su producción. Los transportadores por tornillo están aplicados en:

Industria Alimentaria.- Los elementos transportados tienen una manipulación higiénica y por ende no habrá peligro de contaminación. (*Imagen 2.28*)



Imagen 2.28: Transportador de tornillo en la industria alimentaria.

Industria Farmacéutica.- Precisión, higiene y alimentación consistente son características de este transportador que lo hace apto para la industria farmacéutica. (*Imagen 2.29*)



Imagen 2.29: Transportador de tornillo en la industria farmacéutica.

Industria del Plástico.- La manipulación de sólidos, la mezcla de materiales sólidos y la alimentación eficaz realizada por este sistema es lo que se necesita en la industria del plástico. (*Imagen 2.30*)



Imagen 2.30: Transportador de tornillo en la industria del plástico.

Industria de la Cerámica.- Algunos de los materiales empleados en esta industria son peligrosos. La dosificación precisa de los transportadores por tornillo permiten que el hombre no tenga contacto con estos elementos y así cuida su salud. (*Imagen 2.31*)



Imagen 2.31: Transportador de tornillo en la industria de la cerámica.

Industria del Agua.- Debido a la dosificación exacta, este sistema se aplica en la preparación de cal hidratada y preparación de polímeros aplicados en la potabilización de agua. Además este sistema es muy utilizado para la transportación de lodos deshidratados que también se producen en la potabilización de agua. (*Imagen 2.32*)



Imagen 2.32: Transportador de tornillo en la industria del agua (Dosificador de Cal).

2.2. Mecanismos de almacenamiento de lodos.

El primer paso ya está dado, tenemos como transportar al lodo deshidratado. Ahora se debe determinar el lugar en donde se almacenarán los lodos deshidratados hasta que el camión designado para evacuarlos llegue a la planta.

Pero como ya se comentó en la introducción, el lodo que se obtiene del proceso de deshidratación tiene alrededor del 80% de humedad, lo que obliga a implementar un secador de lodos post deshidratación para llegar a obtener una humedad de máximo 70% para cumplir con las normas que se piden para depositar los lodos en el relleno sanitario.

2.2.1.Sistemas de secado de lodo.

Se puede emplear muchos tipos de secadores de lodo para poder obtener el 70% de humedad que es lo que deseamos. De los tipos de secadores, se darán a conocer las dos alternativas que se han creído más viables para la aplicación y características de la PTAP.

2.2.1.1. Hornos de Secado.

A continuación se darán a conocer dos opciones de hornos de secado para lodos, estas opciones se están aplicando actualmente en plantas de tratamiento de fangos y se ha creído conveniente tomarlos como ejemplo para este proyecto.

2.2.1.1.1. Horno con sinfín.

El horno de secado es apto para secar lodos con un contenido de humedad de hasta un 85%, basándose en la combinación de un proceso mecánico con uno térmico. Esta es una forma de secado que para el uso que se requiere es aplicable. El horno (*Imagen 2.33*) se encuentra montado sobre una estructura que lo soporta haciendo fácil su transporte y emplazamiento en el lugar de producción del residuo.



Imagen 2.33: Horno de Secado.

Este tipo de horno de secado está constituido por las siguientes partes:

Sistema mecánico y de transmisión.- El avance del lodo en el interior del equipo se realiza mediante mecanismos reductores que transmiten el movimiento a las cajas de transmisión produciendo el giro de los sinfines. Desde ellas parten las transmisiones especialmente diseñadas para absorber las tensiones axiales y radiales que pueden sufrir.

Las velocidades de giro de los sinfines se pueden variar según la fase del recorrido en la que se encuentre el residuo y la calidad del producto entrante posibilitando así un mejor secado.

Horno.- Es la parte central del módulo de secado, donde se produce el avance del lodo a través de las canaletas por medio de sinfines. El secado del lodo se produce tanto por convección con los gases calientes que atraviesan el horno, como por conducción debido al calentamiento de los elementos del mismo. Dentro del módulo, el residuo es sometido a tres fases de tratamiento, coincidiendo con su avance a lo largo del interior del secador. Dichas fases son: pre secado, secado y estabilización. Durante las dos primeras fases el residuo es cuando más humedad pierde, mientras que en la tercera, aun perdiendo humedad, se añaden otros efectos como la reducción de granulometría del material.

Sistema de aporte térmico (Imagen 2.34).- Las necesidades de esta instalación son satisfechas por quemadores de gas natural o se podría utilizar combustibles líquidos. Los quemadores utilizados son de tipo lineal y llama corta. De esta manera se obtienen

temperaturas homogéneas en todo el ancho de la máquina y reducción de la cámara de combustión.

Este tipo de mecheros permite la inyección de gases calientes como aire de dilución, obteniendo por consiguiente una reducción del consumo de combustible. La central de secado puede trabajar con otros sistemas de aporte térmico como pueden ser gases de escape de motores de cogeneración, gases calientes de caldera, etc.



Imagen 2.34: Sistema de aporte térmico.

Alimentación de lodos (Imagen 2.35).- La alimentación del lodo dentro del secador se realiza por medio de bomba de desplazamiento positivo que impulsa el material desde un silo hasta la tolva de alimentación situada en la parte superior del secador.

Una vez allí el lodo se distribuye a cada una de las columnas de tratamiento por medio de tornillos sinfines, accionados por un motoreductor.



Imagen 2.35: Alimentación de lodos.

Extracción del material (Imagen 2.36).- Una vez finalizado el circuito de secado el material es extraído de cada columna de tratamiento por medio de tornillos sinfines

independientes. El lodo seco se recoge en el centro para sacarlo a la zona de stockage situada en el exterior por medio de otro tornillo sinfín.



Imagen 2.36: Extracción del material.

Sistema de Control (Imagen 2.37).- La central posee igualmente elementos de control y de seguridad de tal manera que el funcionamiento es totalmente automático, activándose alarmas y paradas en caso de alguna anomalía.



Imagen 2.37: Sistema de control.

2.2.1.1.2. Horno con cintas transportadoras.

En el secado por horno, el agua contenida en el lodo se elimina mediante evaporación, consiguiéndose sequedades en torno al 90%. La temperatura requerida para conseguir la evaporación del agua contenida en el lodo es una forma de clasificar las técnicas de secado térmico. Así pues, se puede hablar de:

- Secado a alta temperatura.- En hornos especiales, con auto combustión del lodo a 800°C de temperatura.
- Secado a media temperatura.- La temperatura de trabajo es de 120 a 150 °C y el calor se aporta quemando gas o gas-oil.
- Secado a baja temperatura.- En este caso la temperatura límite es de 80 °C y el calor necesario puede aportarse con cualquier fuente de energía calorífica con una temperatura superior a los 85 °C.

El secado térmico de los lodos es la última etapa del proceso de separación del agua de los lodos tras el espesado y deshidratación mecánica.

De las temperaturas mencionadas, la más opcional es la de baja temperatura. Este se basa en el secado del producto a baja temperatura (entre 65 y 80°C) en un túnel continuo y cerrado (*Imagen 2.38*) donde el calor se transmite por convección directamente desde un foco caliente que atraviesa el producto y retiene la humedad intracelular.

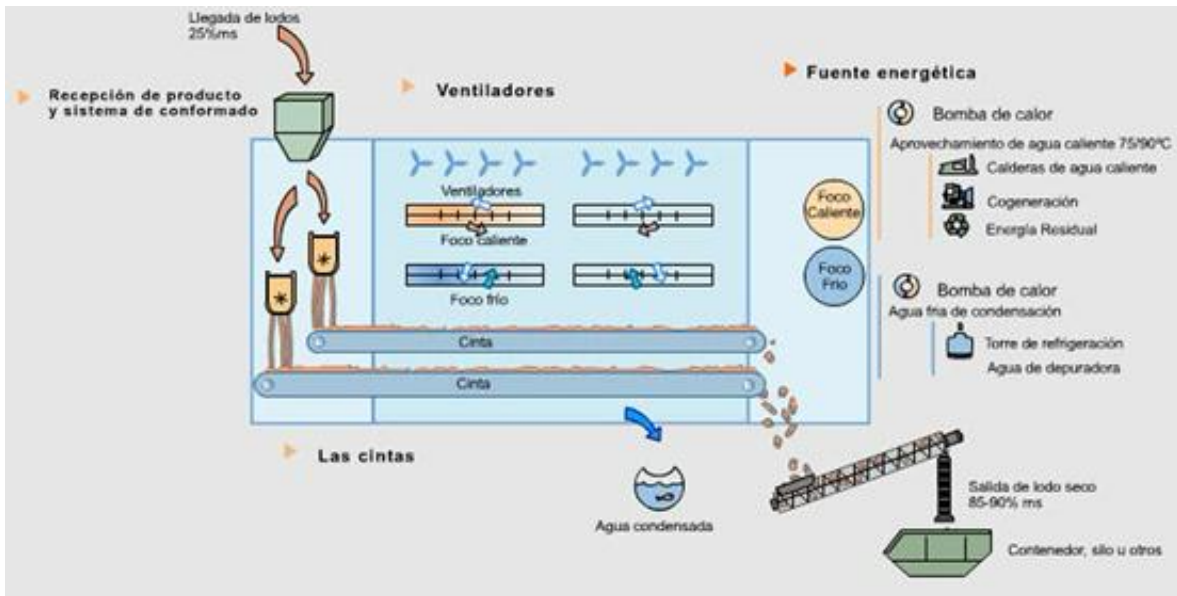


Imagen 2.38: Túnel de secado.

El lodo que proviene del proceso de deshidratación debe depositarse en una pequeña tolva de recogida a la cabecera del túnel de secado. De esta tolva pasa por el sistema de conformado el cual hace que el lodo tenga una consistencia granular y de baja densidad. El producto es distribuido uniformemente en todo el ancho de la cinta de secado para facilitar el paso del aire caliente el cual circula en forma perpendicular a la cinta, extrayendo así la humedad existente en el material.

El sistema de secado se basa en dos focos de energía, uno caliente que calienta el aire de secado y otro frío que hace que la humedad recogida del producto se condense.

La descarga del lodo ya con una sequedad mayor al 25% se descarga en otra tolva de almacenamiento de lodo “seco” el cual ya puede ser trasladado a su destino. En el gráfico 2.1 se puede apreciar, en porcentajes, la disminución del peso con respecto a la cantidad de materia seca (MS) y humedad contenidos en el producto.

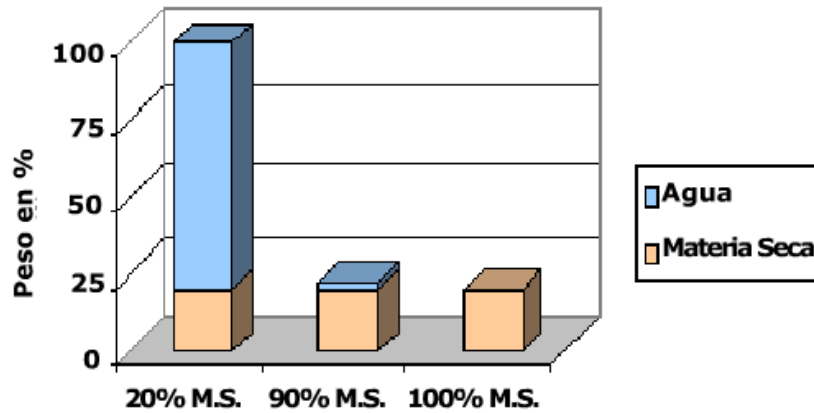


Gráfico 2.1: Reducción del peso del lodo con el secado.

2.2.1.1.3. Invernaderos de secado.

En nuestros tiempos, donde el calentamiento global es un verdadero problema, no es lógico que se aporte para este inconveniente. Es por esto que se ha visto una opción donde se utilice energía alternativa, gratuita e inacabable como es la energía solar.

Dicha energía aplicada en invernaderos de secado (*Imagen 2.39*) de lodos es una solución para el futuro en cuanto al tratamiento en los puntos de depuración. Un medio sencillo y económico para secar lodos en sus puntos de depuración y facilitar su eliminación. Un instrumento eficaz que se integra perfectamente en las estrategias de desarrollo sostenible y retos medioambientales.



Imagen 2.39: Invernadero de secado solar.

Las principales ventajas del invernadero con respecto a otros tipos de sistemas de secado es una baja inversión para implementarlo, bajo costo de producción y como se dijo, la utilización de una energía alterna.

Con este sistema se puede recibir lodos de 80% de humedad y secarlos hasta obtener sequedad de 70%. Esto se obtiene mediante el proceso que se detalla a continuación.

El lodo deshidratado es bombeado directamente hacia el secador desde el edificio de prensado y es enviado a la planta de secado a través de los denominados “geiser” de lodo (Imagen 2.40).



Imagen 2.40: Geiser de lodo.

En lugar de ser bombeado, el lodo puede ser transportado por tornillo helicoidal y ser depositado dentro del invernadero (Imagen 2.41) para luego ser esparcido en toda la superficie.



Imagen 2.41: Ingreso de lodo por tornillo helicoidal.

Un Topo Eléctrico (Imagen 2.42) extiende el lodo por toda la superficie de secado. Todo el proceso de carga funciona de forma completamente automática y no precisa de ningún tipo de intervención por parte del operador. Se puede implementar un mecanismo distinto al del topo eléctrico para extender el lodo (Imagen 2.43).



Imagen 2.42: Topo eléctrico.



Imagen 2.43: Volteador.

El secado solar consiste en poner en contacto, bajo un invernadero, un aire regularmente renovado y un fango distribuido sobre una losa de hormigón y removido mecánicamente. Entre la entrada y la salida del invernadero, el aire se carga de vapor de agua, a costa del fango que se seca. Un sistema de ventilación asegura la renovación del aire con el fin de evacuar el vapor de agua procedente del fango.

La cantidad de agua evaporada depende a la vez de las características del aire (temperatura, humedad), y de las del fango (temperatura, humedad, propiedades mecánicas).

El continuo movimiento (volteo) de los lodos hace que este pierda humedad. A lo largo del proceso, la humedad contenida en el fango es captada por el aire del invernadero, siendo evacuada después al exterior por ventilación.

La descarga (*Imagen 2.44*) se hace cuando el invernadero tenga su carga completa. Para ello, se utiliza un cargador de dimensiones compatibles con las zonas de maniobra bajo el invernadero, que permite la carga de los fangos.



Imagen 2.44: Desalojo de lodos del invernadero.

2.2.2.Sistemas de almacenamiento de lodos.

En estas instancias se entiende que el lodo tiene las condiciones aceptables (humedad menor al 70%) como para ser depositado en el relleno sanitario. Este lodo debe ser almacenado para que el automotor designado para el traslado del material no tenga contratiempos. Los principales sistemas de almacenamiento para este material son los silos y las tolvas.

2.2.2.1. Almacenamiento en silos.

Los silos (*Imagen 2.45*) son tipologías estructurales construidas con el propósito de almacenar material granular o pulverulento, u otra sustancia líquida, y forman parte de operaciones de plantas industriales.

Además los silos son contenedores de distintas formas que pueden tener una capacidad de unos pocos metros cúbicos o de unos centenares, y que pueden ser abiertos o herméticamente cerrados



Imagen 2.45: Almacenamiento en Silo.

2.2.2.1.1. Principio de funcionamiento.

Los silos (*Imagen 2.46*) tienen aberturas de alimentación, generalmente cerca del extremo superior y, bocas de descarga en la base o a un lado. En los silos cerrados las aberturas están herméticamente selladas, pero a menudo se sitúa una válvula de compensación de presión en lo alto para facilitar el vaciado.

Las superficies interiores deben ser lo más lisas posibles, por lo cual se cubren con cemento vidriado, resinas sintéticas o una mezcla cuyo componente principal es el vidrio soluble. El objetivo de estos recubrimientos es facilitar el flujo del producto dentro del silo y protegerlo contra materiales corrosivos. Cuando el material almacenado posee poca movilidad se pueden acondicionar tolvas, bien para llenar o descargar el silo, las cuales poseen una inclinación de aproximadamente 28° y a las que pueden adaptarse variantes de diseño como la vibración o el mezclado, para aumentar la velocidad del flujo.

El nivel del llenado del silo es importante al momento de realizar los cálculos del diseño.

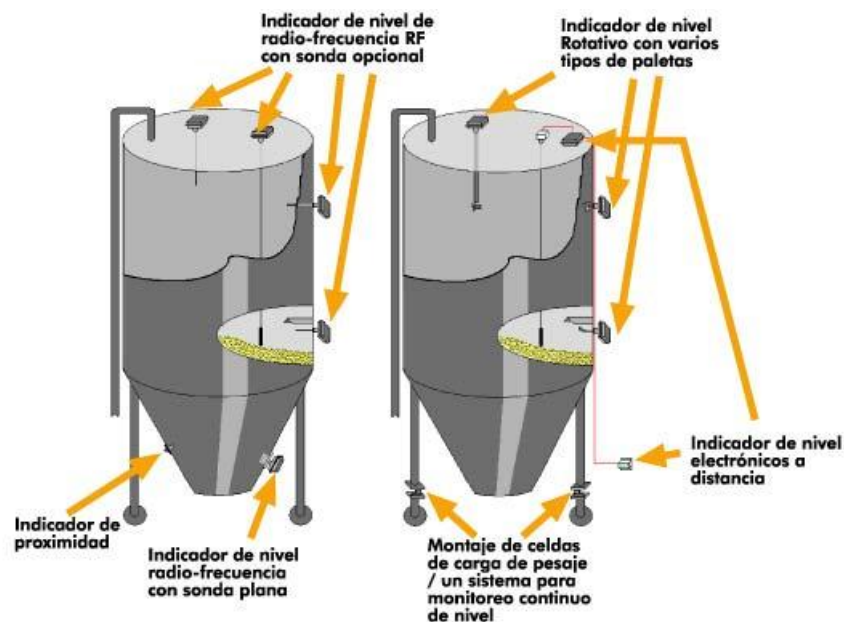


Imagen 2.45: Elementos de control existentes en un silo.

2.2.2.1.2. Tipos de Silos.

Existen varios criterios para clasificar los silos; según su geometría, se pueden establecer silos de planta rectangular o cuadrada y silos circulares. A su vez pueden ser aislados o formar conjuntos conectados, los cuales se denominan silos multicelulares.

Silos de torres.- Es una estructura de generalmente 4 a 8 m de diámetro y 10 a 25 m de altura. Puede construirse de materiales tales como vigas de madera, hormigón, vigas de

hormigón, y chapa galvanizada ondulada. Estos materiales tienen diferencias en su precio, durabilidad y la hermeticidad resultante.

Los silos de torre que solo guardan ensilaje generalmente se descargan desde su parte superior. Esta tarea era originalmente hecha a mano con rastrillos, pero actualmente se realiza más a menudo con descargadores mecánicos. Algunas veces se utilizan cargadores para recoger desde las partes inferiores pero hay problemas para hacer reparaciones y con el ensilaje que se incrusta en las paredes de la estructura.



Imagen 2.45: Silo de Torre.

Los silos de torres también se les puede descargar por la parte inferior, este tipo de silos pueden llevar distintos complementos como barandilla superior, plataforma completa en zona de palanca de descarga, vibradores eléctricos, etc. como se muestra en la imagen 2.46.

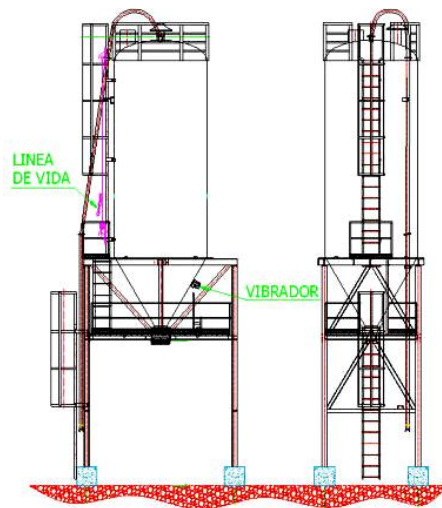


Imagen 2.46: Esquema de un silo de torre.



Silos de búnker (Imagen 2.47).- Son trincheras hechas generalmente de hormigón que se llenan y comprimen con tractores y máquinas de carga. Su costo es bajo y son convenientes para operaciones muy grandes. La trinchera rellena se recubre con una carpa para sellarlo herméticamente. Estos silos generalmente se descargan usando tractores y cargadores.



Imagen 2.47: Silo de Bunker.

Silos de bolsa.- Son bolsas plásticas de gran tamaño, generalmente 2 a 2½ m. de diámetro, y de un largo que varía dependiendo de la cantidad del material a almacenar. Se compactan usando una máquina hecha para ese fin, y ambos finales se sellan. Las bolsas se descargan usando un tractor y cargador, o un cargador con palanca. La bolsa se descarta por secciones mientras se destroza.

Los silos de bolsa (Imagen 2.48) necesitan poca inversión de capital y se pueden usar como una medida temporal cuando las condiciones de cosecha o crecimiento demandan más espacio, aunque algunas granjas los usan cada año. Se puede usar en cualquier periodo. La ecuación que describe solo se compone de una suma de dos superficies una de cilindro y otra de casquete esférico.



Imagen 2.48: Silo de Bolsa.

2.2.2.2. Almacenamiento en tolvas.

Se denomina tolva (*Imagen 2.49*) a un dispositivo destinado a depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados. En muchos casos, se monta sobre un chasis que permite el transporte.

Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior.

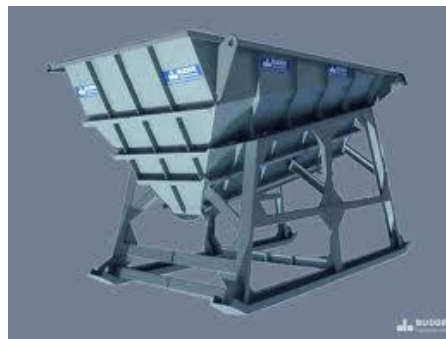


Imagen 2.49: Almacenamiento en tolva.

Principio de funcionamiento._ este tipo de depósitos de acumulación de lodos son fabricados en forma cilíndrica con carácter estándar, bajo demanda pueden ser construidos en forma trapezoidal.

El material de construcción estándar es en acero al carbono, no obstante bajo demanda se puede construir en cualquier otro material, los lodos son almacenados por la parte superior de la tolva ya sea por sistema de bombeo, transportados por tornillos sin fin (tipo Arquímedes), bandas transportadoras o por cangilones, y descargados mediante diferentes sistemas mecánicos como compuerta, pistones, basculas, etc, los mismos que luego serán transportados al relleno sanitario

2.2.2.2.1. Tipos de Tolvas.

Tolvas Basculas (*Imagen 2.50*).- Son básculas que operan a la salida de una tolva. El material a medir es alimentado hacia la báscula por medio de un transportador.

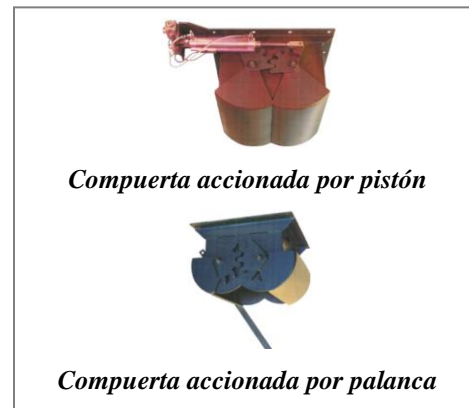


Imagen 2.50: Tolva de almacenamiento de basculas.

Tolvas de compuerta (Imagen 2.51).- Las tolvas de compuerta son todas soldadas en acero grueso y pesado con refuerzos de ángulo. Las compuertas están balanceadas para abrirse y cerrarse fácilmente y son reemplazables. Cualquier modelo de tolvas de compuerta puede ser adaptado fácilmente a operaciones eléctricas, cilindros neumáticos o hidráulicos proveen operación simple y control remoto en situaciones de distancia. Las dos compuertas se abren y se cierran juntas en el centro con un solo movimiento de la palanca de control o pistón.



Imagen 2.51: Tolvas de Compuerta.



Tolvas Porcionadoras.- Son tolvas en acero inoxidable, con bordes redondeados y sistema de dosificado mediante guillotina (Imagen 2.52) comandada automáticamente mediante motoreductor y fotocélula.

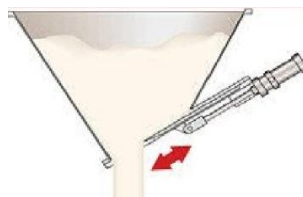


Imagen 2.52: Dosificado con Guillotina.

En la descarga tiene un sistema de corte a estrella triangular (*Imagen 5.53*). Apta para pasta dura y blanda.

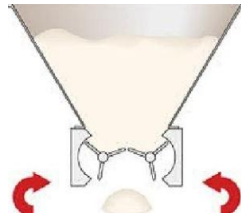


Imagen 2.53: Accionamiento de descarga con estrella.

Sistema de dosificado mediante cuchillas automáticas y cilindros en acero inoxidable con "catador" (*Imagen 5.54*), para mejorar el descenso de masas duras.

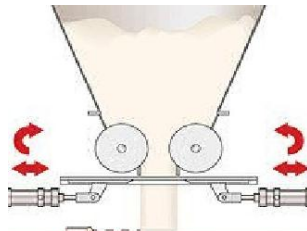


Imagen 2.54: Accionamiento de descarga con cilindros.

2.2.2.3. Ventajas de Silos y Tolvas.

- Una ventaja del sistema es que el ensilaje tiende a empacarse bien gracias a su propio peso, con excepción de algunos metros de la parte superior.
- Al utilizar este sistema como medio de almacenamiento nos permite disminuir el espacio físico a utilizar por ello la existencia de silos que pueden almacenar unos metros cúbicos hasta cientos dependiendo de la necesidad planteada.
- El material almacenado se encuentra en la mayoría de ocasiones herméticamente aislado para evitar que cambie las características del mismo.
- Con los diferentes sistemas de descarga se facilita la misma y se optimizando de esta manera la mano de obra.
- Una de las ventajas más relevantes es que presenta menor contaminación y menor segregación.

2.2.2.4. Desventajas de silos y tolvas.

- El material ensilado si se ha almacenado con humedad tiene a cambiar las características lo que podría provocar daños en el interior de este sistema.
- En este sistema al estar conformado por elementos electromecánicos y de control por ende presenta mayor inversión
- El mantenimiento de este sistema también es elevado.

2.2.2.5. Áreas de aplicación de silos y tolvas.

Para el simple almacenamiento de productos finos o pulverulentos, como son polvos de filtro, harina de crudo, cemento o polvo de carbón y otros aditivos, se utilizan tipos de silo y tolvas muy variadas (*Imagen 2.55*), adaptados a las características específicas del material. Estos equipos van provistos, si fuera necesario, con los correspondientes dispositivos de protección y medios neumáticos o mecánicos de descarga.

Se utilizan para el almacenamiento o conservación de una extensa gama de productos, bien sea granos, harinas, forraje o líquidos. El almacenamiento de granos en silos es una práctica muy frecuente y su normatividad apunta a las condiciones técnicas de los silos, para garantizar su resistencia, gracias a la presión interna de la carga y a la generada en muchos casos por la fermentación del producto.



Imagen 2.55: Almacenamiento de Sólidos.

2.2.2.6. Peligros existentes en silos y tolvas.

Los riesgos propios del almacenamiento en silos pueden sintetizarse de la siguiente manera:

Incendios y explosiones.- Este riesgo suele presentarse en el ensilado de polvos. Una explosión de polvo es el resultado de una rápida combustión de partículas combustibles puestas en suspensión, con capacidad para propagarse. Sus efectos son mecánicos (aumento de presión), térmicos (aumento de temperatura) y de producción de humos asfixiantes (consumo de oxígeno).

Para que se produzca una explosión, además de requerir unas características determinadas de las partículas en suspensión y una determinada concentración de oxígeno, es necesaria una fuente de ignición, la cual puede tener un origen diverso:

- Calor procedente de chispas mecánicas y de fricción.
- Equipos electrónicos
- Electricidad estática
- Herramientas alimentadas por baterías
- Llamas abiertas y chispas.

Accidentes mecánicos y atrapamientos.- El trabajo cerca de tornillos sin fin, elevadores, mezcladores y otras piezas mecánicas pueden atrapar a los trabajadores, por lo que debe prestarse total atención al llenado y vaciado de silos así como a las demás medidas de seguridad diseñadas para prevenir tales accidentes.

Durante el ensilado de granos no debe permitirse que los trabajadores entren en el silo sin tener asegurado un medio de salida, ya que existe el peligro que queden enterrados entre el material moviente.

2.2.2.7. Precauciones.

Las siguientes medidas preventivas apuntan a reducir los dos grandes riesgos mencionados anteriormente:

Incendios y explosiones.-

- Controlar las nubes de polvo, especialmente cerca de posibles fuentes de ignición, observando una limpieza completa del área, evitando levantar polvo (prefiera la aspiración) y acudiendo a métodos como separadores magnético para su control.
- Controlar las fuentes de ignición (calor, equipos electrónicos, energía estática, herramientas, llamas abiertas y chispas, etc).
- Procurar un silo lleno permanentemente. Un silo vacío es más propenso a sufrir una explosión que un silo lleno, por las razones explicadas anteriormente.
- No fumar dentro de las instalaciones.
- Evitar la caída de objetos o materiales que puedan generar chispas.
- Seguir los procedimientos de seguridad de las máquinas.
- Prohibir en el área operaciones en caliente (soldadura, corte, pulido, etc.). Estas operaciones deben realizarse de acuerdo a un protocolo previamente revisado y aprobado.
- Utilizar equipos eléctricos seguros.
- Aterrizarse todos los contenedores metálicos donde exista flujo de partículas, líquidos o electricidad para evitar la acumulación de cargas estáticas.

Accidentes mecánicos y atrapamientos.-

- No deben usarse joyería, cabello suelto, ropa amplia o con bolsillos que faciliten el atrapamiento.
- Deben existir protocolos (*Imagen 2.56*) para la realización de operaciones riesgosas como el mantenimiento de piezas mecánicas o la alimentación manual de silos o tolvas.
- Estas áreas de trabajo deben ser de acceso restringido.



Imagen 2.56: Plan de Mantenimiento.

2.3. MECANISMOS DE DESALOJO DE LODO.

Cuando el lodo está ya en condiciones de ser llevado hacia el relleno sanitario, se dispondrá de una volqueta que realice esta función. La forma de cargar la volqueta es mediante cualquiera de los sistemas de transporte descritos en el numeral 2.1. También se puede cargar mediante la ayuda de una máquina como se indica en la imagen 2.57.



Imagen 2.57: Desalojo de lodo.

El mecanismo que se elija será de acuerdo a varias variables como costos, área, facilidad de trabajo del sistema, entre otras.

2.4. ELECCIÓN DE LOS SISTEMAS A UTILIZAR EN EL PROCESO FINAL DE DESHIDRATACIÓN DE LODOS.

2.4.1. Sistema de transporte.

Una vez finalizado el proceso de deshidratación de lodos en el filtro banda es necesario extraer este lodo hacia la parte exterior de la edificación donde se encuentra el sistema.

Como ya se realizó una revisión anterior dentro de este mismo capítulo en la sección 2.1 existen básicamente tres formas de transportar el lodo deshidratado que son: tuberías, tornillos sin fin y bandas transportadoras, cada uno de estos sistemas tienen sus ventajas y desventajas que los caracterizan. En este caso al contar con una banda transportadora ya instalada en el lugar, se mantendrá este sistema de transporte del lodo deshidratado como se indica en las fotografías 2.1.



a) lodo deshidratado



b) banda transportadora

Fotografías 2.1. Transporte de lodo deshidratado.

2.4.2. Sistema de almacenamiento.

En la sección 2.2.2 estudiamos dos sistemas de almacenamiento en Silos y en Tolvas, para realizar una mejor comparación se ha agregado al *invernadero* como un sistema de almacenamiento, en la matriz 2.1 se ha comparado los tres sistemas con factores externos con la finalidad de elegir el mejor sistema que mayores ventajas nos proporcione. De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis el *Invernadero* con un 53,8% es ventajoso para el almacenamiento, cabe recalcar que en cuanto a la disponibilidad de espacio físico como se observa en el estudio presenta una desventaja en cuanto a las otras opciones, pero en nuestro caso la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sustag dispone de espacio físico con lo que nos permite realizar la infraestructura deseada.

MATRIZ DE COMPARACION DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO										
	Perdida de humedad	Contaminación Ambiental	Costo de infraestructura	Área de implementación	Impacto visual	Elementos tecnológicos	Costo de mantenimiento	Nivel de preparación para operación	Suma	Porcentaje
Silos	0	1	0	1	0	0	0	1	3	23,1%
Tolvas	0	1	0	1	0	0	0	1	3	23,1%
Invernaderos	1	1	1	0	1	1	1	1	7	53,8%
<i>Observación</i>	0	<i>Desventaja</i>					TOTAL		13	100,0%
	1	<i>Ventaja</i>								

Matriz 2.1: Comparación de los sistemas de almacenamiento.



Invernaderos para almacenamiento

2.4.3.Sistema de secado.

El lodo deshidratado que ha sido transportado tiene un nuevo procedimiento al no cumplir con la **Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos**, la cual indica que: “Los Desechos Semisólidos._ Es aquel desecho que en su composición contiene un 30% de sólidos y un 70% de líquidos.” Ante esta norma es necesario elegir el sistema de secado que mayor ventajas nos brinde, en la sección 2.2.1 se analizaron ya algunos mecanismos como son los hornos de secado, los hornos con cintas transportadoras y los invernaderos solares.

En cuanto a las dos primeras opciones según la matriz de comparación 2.2 observamos que tiene un 18,2% de ventajas lo que indica que son sistemas inadecuados en este proyecto, el invernadero tiene mayor ventaja, con el 63,6% es el sistema de secado que mayor factibilidad presenta, gracias a la energía solar y a los efectos de transferencia de calor se logra el objetivo planteado.

Es un sistema sencillo y económico para secar lodos en sus puntos de depuración y facilitar su eliminación. Un instrumento eficaz que se integra perfectamente en las estrategias de desarrollo sostenible y retos medioambientales.



Invernadero de secado

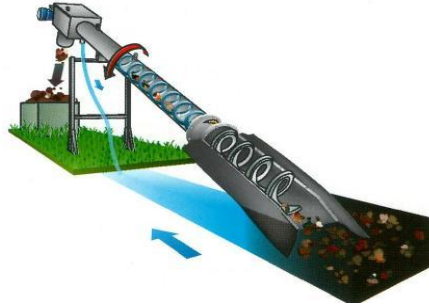
MATRIZ DE COMPARACION DE LOS SISTEMAS DE SECADO										
	Tiempo de secado	Contaminación por emisión de gases	Costo del secado	Elementos mecánicos	Costo de Mantenimiento	Costo de implementación	Impacto visual	Nivel de preparación para operación	Suma	Porcentaje
Hornos	1	0	0	0	0	0	0	1	2	18,2%
Silos y tolvas con mecanismos de secado	1	0	0	0	0	0	0	1	2	18,2%
Invernaderos solares	0	1	1	1	1	1	1	1	7	63,6%
<i>Observación</i>	0	<i>Desventaja</i>					TOTAL	11	100,0%	
	1	<i>Ventaja</i>								

Matriz 2.2: Comparación de los sistemas de almacenamiento.

2.4.4. Sistema de evacuación de lodo al volquete.

Una vez que el lodo deshidratado ha alcanzado la humedad deseada durante un periodo determinado se procede a la evacuación, es importante determinar un sistema que sea flexible y nos brinde las mayores ventajas.

Para la elección de este sistema en la sección 2.1 se estudiaron tres sistemas que nos permiten transportar el lodo como son: las bombas, bandas transportadoras y tornillos sin fin, de igual manera que los sistemas anteriores se realizó un estudio comparativo de los tres sistemas con factores externos que se creen convenientes este estudio se refleja en la matriz de comparación 2.3, como resultado se obtuvo que el sistema de transporte por tornillo sin fin presenta una ventaja del 63,6% con respecto a las bombas y a las bandas transportadoras de esta manera se decidió implementar el sistema con la finalidad de evacuar el lodo hacia un volquete que se encargara de transportar el mismo al relleno sanitario.



Tornillo sin fin de transporte

MATRIZ DE COMPARACION DE LOS SISTEMA DE EVACUACION DEL INVERNADERO AL VOLQUETE										
	Contaminación Ambiental (polvo)	Costo de implementación	Elementos Tecnológicos	Tiempo de evacuación	Costo de mantenimiento	Nivel de preparación para operación	Costo de funcionamiento	Disponibilidad en el mercado local	Suma	Porcentaje
Bombas	1	0	0	1	0	0	0	0	2	18,2%
Bandas transportadoras	0	0	0	1	0	0	0	1	2	18,2%
Tornillo sin fin	1	1	1	0	1	1	1	1	7	63,6%
<i>Observación</i>	<i>0</i>	<i>Desventaja</i>					TOTAL	11	100,0%	
	<i>1</i>	<i>Ventaja</i>								

Matriz de comparación 2.3

2.4.5. Elección entre Alternativas.

De acuerdo con los cuadros comparativos 2.1, 2.2 y 2.3, se llega a la conclusión de que para el proyecto en estudio, las alternativas más viables son:

1. Para el sistema de almacenamiento y secado se instalará un invernadero solar de secado, en donde se dará un proceso de secado para llegar a obtener las características deseadas y necesarias para poder ser evacuado y depositado en el relleno sanitario.
2. Por último, para el desalojo de los lodos hacia el volquete se implementará un transportador de tornillo el que se encargará de expulsar todo el lodo para ser llevado a su disposición final.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECANICOS.

El presente capítulo está destinado al diseño de los sistemas de almacenamiento y desalajo de lodos deshidratados, además del sistema de secado que se ha creído necesario.

A continuación se redactarán un poco más a fondo los sistemas elegidos para el proyecto.

3.1. Diseño del invernadero como Estructura de Almacenamiento.

Un invernadero es una construcción de vidrio o plástico. Aprovecha el efecto producido por la [radiación solar](#), producida por el sol que, al atravesar un [vidrio](#) u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro; estos, a su vez, emiten [radiación infrarroja](#), con una [longitud de onda](#) mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar los vidrios a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento. Las emisiones del sol hacia la tierra son en onda corta mientras que de la tierra al exterior son en onda larga. La radiación visible puede traspasar el vidrio mientras que una parte de la infrarroja no lo puede hacer (*Imagen 3.1*).

El cristal o plástico usado para un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro del invernadero, que calienta el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección.

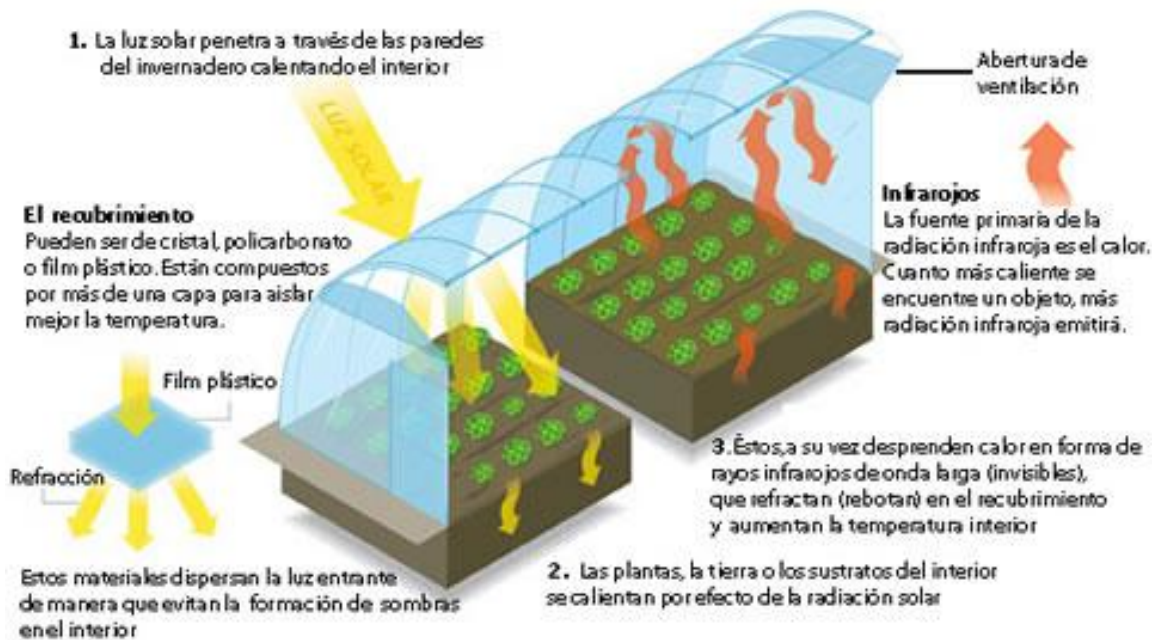


Imagen 3.1: Funcionamiento de un invernadero.

Los aspectos más básicos del diseño del invernadero son:

Primero, aislar termodinámicamente el sistema para detener la convección y la conducción térmica y de esta forma llegar a equilibrar la temperatura del interior con la temperatura ambiente.

En segundo lugar, proporcionar una transparencia controlada a dos tipos de radiaciones, por una parte la banda de emisión de radiación solar (280 nm hasta 2500 nm longitud de onda) y la banda de emisión de radiación terrestre (que va desde los 5000 nm hasta los 35000 nm), con el propósito de controlar la temperatura dentro del invernadero. La cubierta de un invernadero debe ser más transparente a la radiación solar entrante y menos a la radiación termal, de esta forma se eleva la temperatura del ambiente.

3.1.1. Tipos de invernaderos.

Según su conformación estructural pueden existir varios tipos de invernaderos.

3.1.1.1. Invernadero Túnel o semicírculo.

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica (*Imagen 3.2*). El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.



Imagen 3.2: Invernadero túnel o semicírculo.

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

3.1.1.1.1. Ventajas:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

3.1.1.1.2. Desventajas:

- Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
- Alto costo.

3.1.1.2. Invernadero Capilla.

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas (*Imagen 3.3*).

El **invernadero tipo capilla** son las estructuras con mayor antigüedad en el diseño de invernaderos y se han utilizado por mucho años ya que su diseño permite un adecuado aprovechamiento de las condiciones climáticas excelente para el cuidado de los **cultivos**.

La pendiente del techo es variable según la radiación y la pluviometría, al igual que las dimensiones del ancho y el largo, dependiendo de las características del lodo.

La ventilación del invernadero tipo capilla no ofrece ningún tipo de dificultades, permitiendo el libre paso del viento. Estos invernaderos **presentan varias ventajas** que los hacen bastante deseados. Su construcción es de mediana a baja complejidad, lográndose en tiempos limitados.



Imagen 3.3: Invernadero tipo Capilla.

3.1.1.2.1. Ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbrera está comprendida entre 3,25 y 4 metros. Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.

La ventilación es por ventanas frontales y laterales.

3.1.1.3. Invernadero de doble capilla.

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales (*Imagen 3.4*).

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

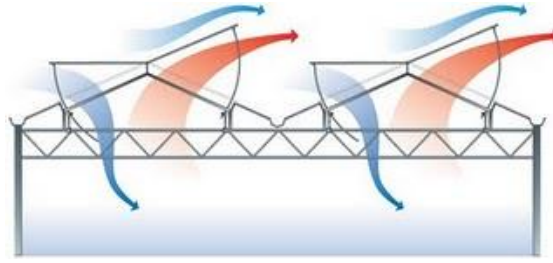


Imagen 3.4: Invernadero de doble capilla.

3.1.1.4. Invernaderos de Cristal o tipo Venlo.

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3,2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1,65 m y anchura que varía desde 0,75 m hasta 1,6 m (*Imagen 3.5*).

La separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3m. En sentido transversal está separado 3,2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6,4 m si se construye algún tipo de viga en celosía.



Imagen 3.5: Invernadero de cristal o venlo.

3.1.1.4.1. Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.
- El mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales rígidos).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.

3.1.1.4.2. Desventajas:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado coste.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

En la siguiente tabla se comparan las alternativas de invernaderos para elegir la mejor opción.

	Capacidad	Eficiencia	Estética	Costo de Infraestructura	Costo de Montaje	Costo de Mantenimiento	Suma	Porcentaje
Túnel.	1	0	0	0	1	1	3	21.4%
Capilla Simple.	1	1	1	0	1	1	5	35.8%
Capilla Doble.	1	1	1	0	0	0	3	21.4%
Cristal.	1	1	1	0	0	0	3	21.4%
Observación	0	<i>Desventaja</i>				TOTAL	14	100%
	1	<i>Ventaja</i>						

Matriz 3.1: Comparación de los tipos de invernadero.

(Fuente: El Autor)

3.1.2. Diseño del Invernadero tipo Capilla Doble.

Antes de iniciar con el diseño del invernadero, aclaremos algunos conceptos.

Primeramente, se puede decir que una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada, esta función puede ser: salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como sucede en los distintos tipos de edificios, o contener un empuje, como en los muros de contención, tanques o silos. La estructura debe cumplir con la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio.

3.1.2.1. Uso de Armaduras.

Cuando un claro es demasiado grande para el uso económico de vigas o vigas armadas, generalmente se emplean armaduras.

Las armaduras se emplean para soportar techos de edificios, en claros desde 12 y 15 metros hasta 90 o 120 metros.

Las armaduras funcionan como vigas y que resisten cargas que producen flexión de la estructura en conjunto, así como corte, pero que resisten la flexión por medio de las cuerdas, y el corte por medio del sistema alma. En la imagen 3.6 se puede ver una estructura con cada uno de sus elementos.

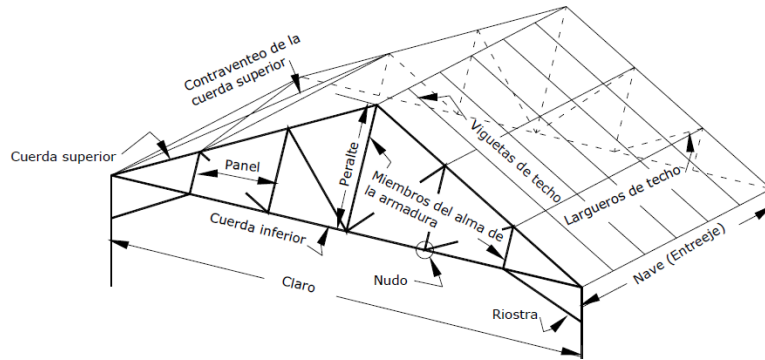


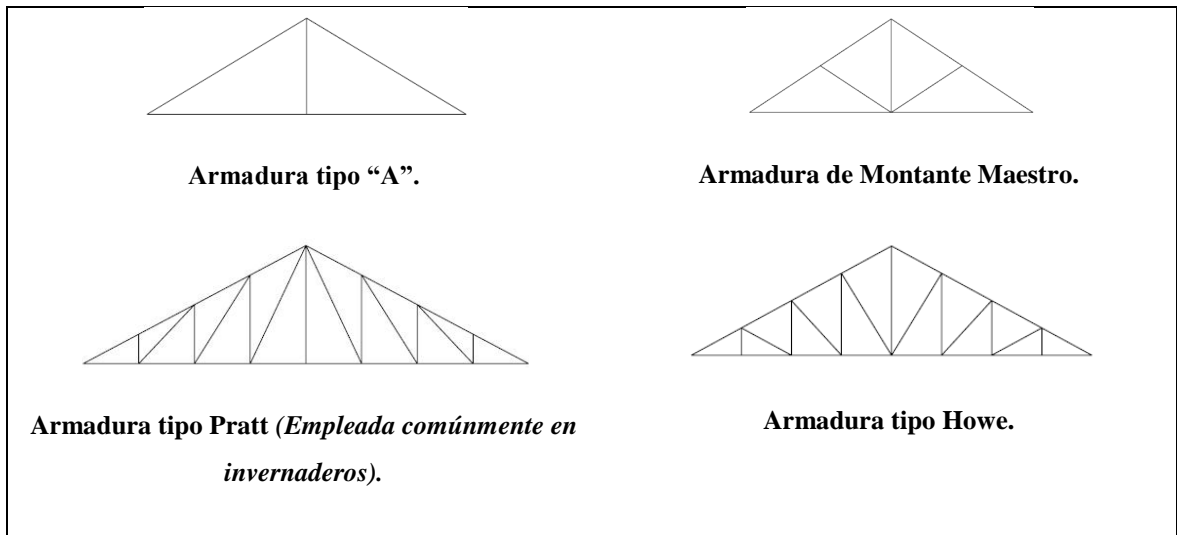
Imagen 3.6: Elementos de una armadura.

3.1.2.2. Tipos de Armaduras para techo.

Las armaduras se clasifican según la forma en que se combinan los diferentes sistemas de triangulación y frecuentemente toman el nombre del primer ingeniero que ha empleado ese tipo particular de Armadura.

Las cuerdas superiores e inferiores pueden ser paralelas o inclinadas, la armadura puede tener claro simple o continua y los miembros de los extremos pueden ser verticales o inclinados.

En el siguiente cuadro se muestran algunos tipos de estructuras para techos.



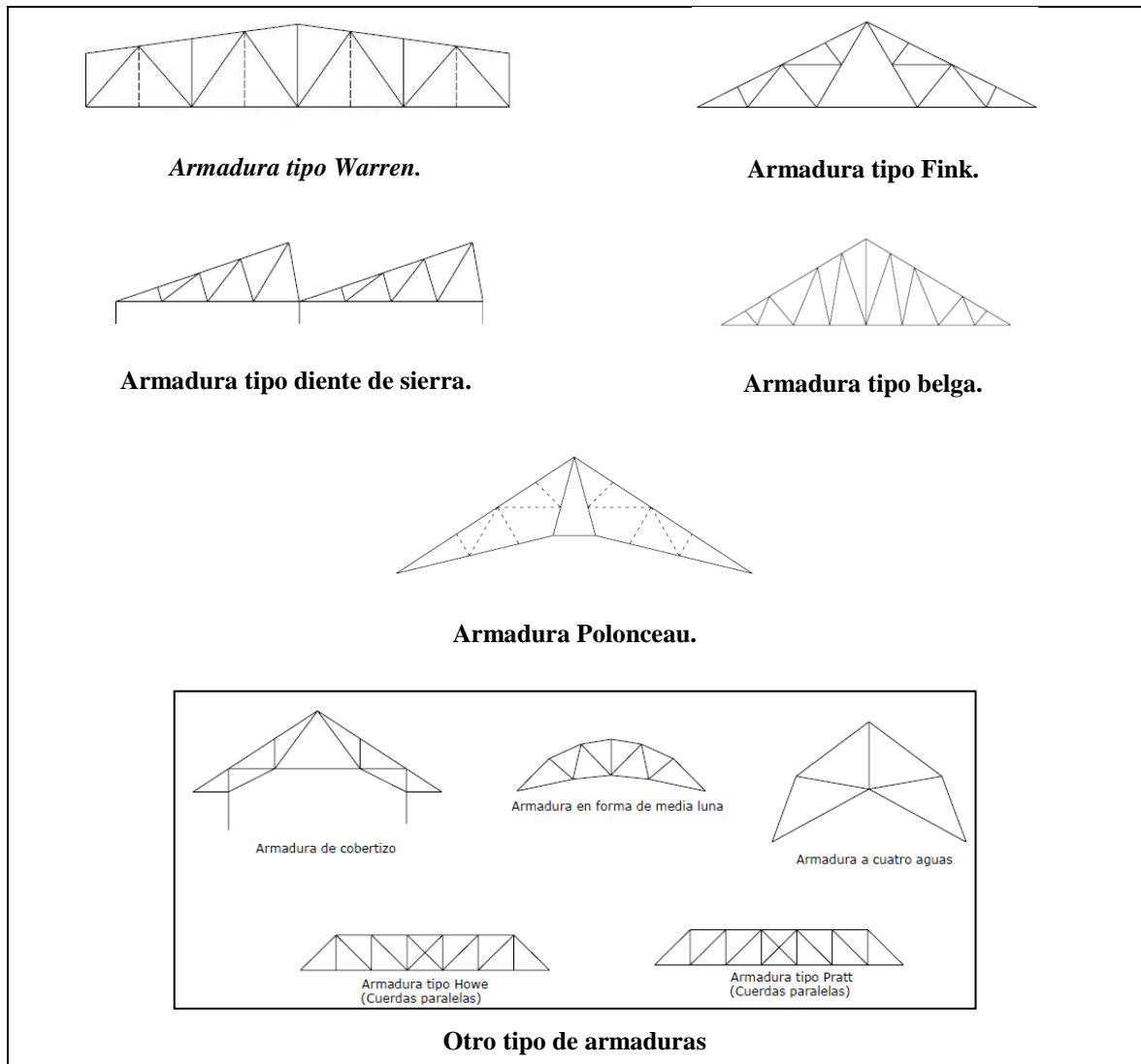


Imagen 3.7: Tipos de armaduras para techos.

De las armaduras, la de tipo Pratt es la más utilizada para la construcción de invernaderos. Es por esta razón que se optará por esta alternativa para el diseño del proyecto.

3.1.2.3. Diseño de armaduras.

Una armadura se diseña de tal modo que las fuerzas en sus miembros sean capaces de mantener en equilibrio a las fuerzas externas. El equilibrio consiste en fuerzas cuyos efectos combinados no producen movimiento ni altera el estado de reposo, todos los

problemas relativos de armaduras para techo tienen como dato fundamental la condición de equilibrio.

3.1.2.3.1. Cargas en armaduras para techos.

Cargas muertas.- Para determinar los esfuerzos en los miembros de las armaduras, se estiman primeramente las cargas que deberán soportar las armaduras. En general serán cargas muertas y cargas vivas.

Las cargas muertas incluyen el peso de todos los materiales de construcción soportados por la armadura y las cargas vivas incluyen las cargas de viento.

Las cargas muertas se consideran como: cubierta del techo, largueros, viguetas de techo y contraventeos, cargas suspendidas y el peso propio de la armadura.

Las cargas muertas son fuerzas verticales hacia abajo, y por esto, las reacciones o fuerzas soportantes de la armadura son también verticales para esas cargas.

Estimación de cargas en armaduras.- Después de que se determina el tipo de armadura y el tipo de construcción del techo, el siguiente paso es estimar las cargas que será necesario soportar con la armadura. Este es un paso importante y si bien los valores no se pueden determinar exactamente, si se pueden determinar con razonable aproximación. La manera más usual de proceder es determinar el número de pies cuadrados de superficie de techo tributaria para un nudo y multiplicar este número por la carga por pie cuadrado.

Estas cargas son carga muerta, carga de nieve y carga de viento, puesto que la carga muerta y la carga de nieve actúan verticalmente, pueden ser también combinadas. Otro método que se puede usar es considerar simultáneamente la carga muerta y una carga vertical equivalente a la carga de nieve y viento.

En este caso sólo se requiere un diagrama de fuerzas. Aunque no sea tan preciso, pero los resultados que se ha obtenido son satisfactorios para las armaduras comunes.

3.1.2.3.2. Reacciones en Armaduras.

Reacciones - Fuerzas soportantes.- Una armadura es una estructura sujeta a fuerzas externas y los esfuerzos en los miembros de la armadura dependen de estas fuerzas. Las fuerzas externas son las cargas: muerta, de nieve, viento y las reacciones o fuerzas que soportan la armadura.

Para cargas verticales, las reacciones son verticales. Para las cargas de viento, las direcciones de las reacciones no son verticales, pero se determinan por la inclinación del techo y la construcción de las conexiones en los apoyos.

Reacciones por cargas verticales en armaduras cargadas simétricamente.- Como para cargas verticales, las reacciones son verticales, la determinación de las reacciones es muy simple. El sistema de fuerzas no es otra cosa que un sistema de fuerzas paralelas en equilibrio.

Si la armadura tiene cargas verticales y está cargada en forma simétrica lo cual es una condición muy común, las reacciones serán verticales e iguales y cada reacciones es en magnitud igual a la mitad de la suma de las cargas.

3.1.2.3.3. Dimensiones de la estructura.

Las dimensiones surgen como respuesta a las necesidades de espacio/volumen, esta quedara definida según las siguientes magnitudes:

- **Ancho o Luz (L).**- Amplitud necesaria capaz de cubrir el ancho máximo presupuestado en el diseño.

- **Altura útil (H).**- También llamada altura de columna, equivale a la altura disponible para la instalación de equipos, accesorios al invernadero etc.
- **Pendiente (α).**- Angulo de la variante con respecto a la horizontal que pasa por los extremos de la columna. Deberá representar la inclinación necesaria que impida el efecto pleno del viento sobre las vertientes, evacue convenientemente la lluvia y evacue la nieve si fuera el caso.
- **Longitud (Z).**- Extensión, capaz de cubrir la longitud máxima presupuestada en el diseño.
- **Longitud de la Vertiente (Q).**-

$$Q = \frac{L}{2 \times \cos \alpha}$$

- **Altura de techo (F).**-

$$F = Q \times \sin \alpha$$

- **Separación entre marcos (S).**- Se recomienda que la separación este comprendida entre 4 y 6 metros, por consiguiente para un número de marcos (N_M) debe cumplir la siguiente relación:

$$Y = \frac{Z}{N_M - 1} \quad \text{Donde } \Leftrightarrow N_M = \text{Numero de marcos}$$

$$4 \leq Y \leq 6$$

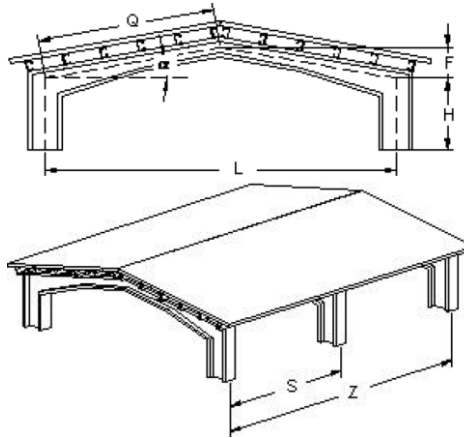


Imagen 3.8 Dimensiones de un invernadero.

3.1.3. Cálculo de la estructura del invernadero.

Condiciones Climáticas Locales:

En el sector de Sustag, en donde se supone construir el invernadero cuenta con un clima bastante fuerte y variante, por lo que se considerará para el diseño del mismo las siguientes condiciones:

- *Dirección y velocidad del viento:*
- *Variación en la temperatura:*
- *Humedad relativa:*
- *Irradiación solar:*
- *Precipitación pluvial:*

Selección del tipo y distribución de la estructura:

Se hizo una comparación entre los perfiles estructurales más representativos que son utilizados para la construcción de invernaderos (tipo túnel, domo, diente de sierra, diente de sierra combinado, capilla, parral y geodésico), se seleccionó el perfil capilla de dos aguas.

La estructura constara de un módulo base con dimensiones de 8,0 m de ancho por 23,0 m de largo y una altura de 4,95 m en el eje de simetría, su principal característica será la facilidad de extender la superficie dentro del invernadero.

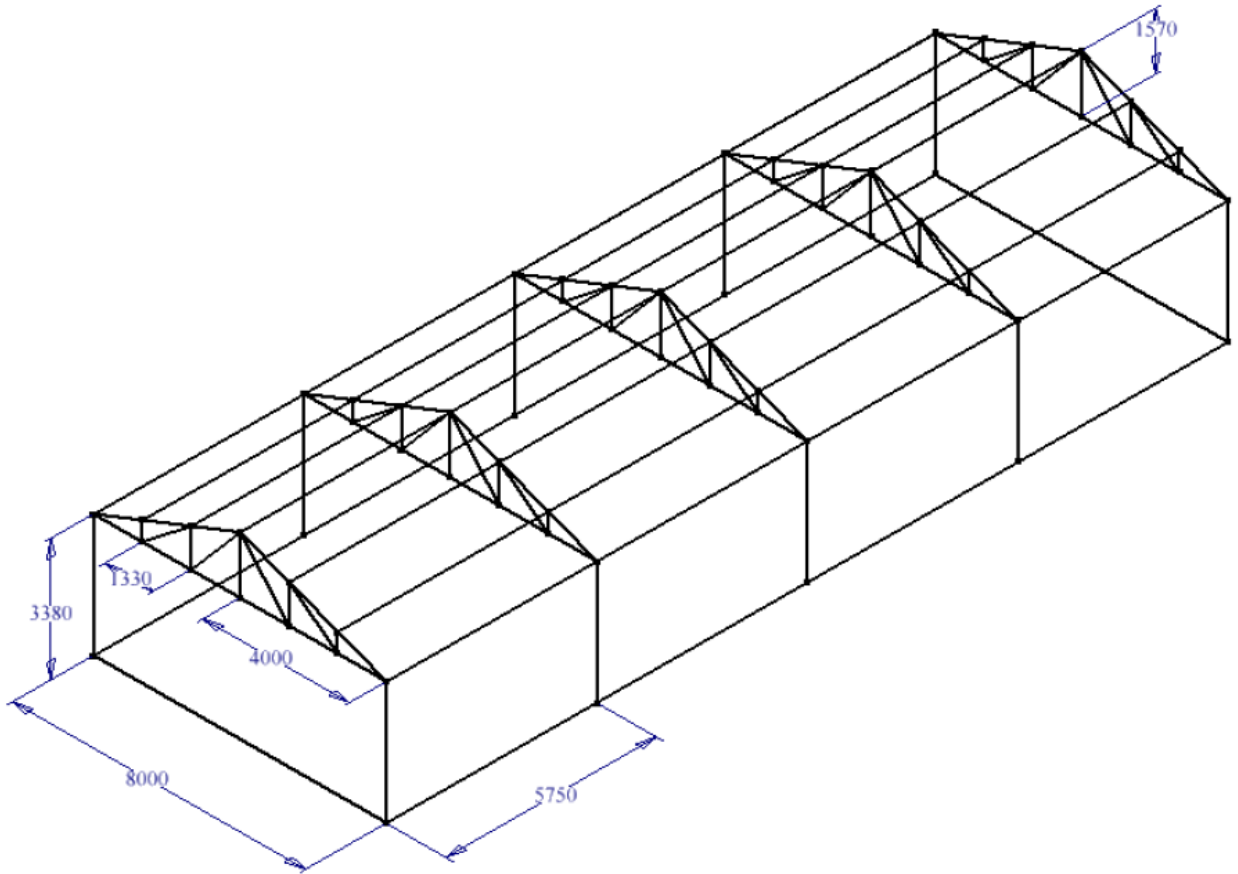


Imagen 3.9 Dimensiones de la estructural del Invernadero.

Cargas de diseño:

Los tipos de cargas que se consideran en este diseño son:

- **Cargas muertas.-** Las cuales incluyen el peso de la estructura de acero, cubierta del techo, instalaciones mecánicas y eléctricas.

- **Cargas vivas.-** Las cuales incluyen todas las cargas temporales.
- **Cargas meteorológicas.-** Las cuales incluyen viento, granizo.

Combinación de cargas:

- Carga muerta + carga de granizo. (*Carga completa en el peor de los casos*).
- Carga muerta + carga de viento.
- Carga muerta + carga de viento + ½ carga de granizo.
- Carga muerta + carga de granizo + ½ carga de viento.

Cargas Vivas Y Meteorológicas:

El cálculo de las cargas vivas y meteorológicas se realiza basado en norma. Para el caso de los invernaderos la “National Greenhouse Manufacturers Association” (NGMA) establecida en Estados Unidos de Norteamérica ha dispuesto normas establecidas para el cálculo de cargas de diseño aplicadas, esta norma a su vez está basada en la norma ANSI A58.1-1982

a) Cálculo de las cargas de viento.

Determinación de la velocidad del viento.- Sir Francis Beaufort (1809) estableció un cuadro comparativo el mismo que lo dividió en una escala de 0 a 12, con variaciones en la velocidad del viento, este al ejercer una acción, provoca diferentes efectos en la tierra, este cuadro nos permite determinar la velocidad del viento en lugares donde no se cuenta con elementos de medición.

Número de Beaufort	Velocidad del viento Km/h	Denominación del viento	Efectos en tierra
--------------------	---------------------------	-------------------------	-------------------

0	0 a 1	Calma	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	Ventolina	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	Flojito (Brisa muy débil)	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
3	12 a 19	Flojo (Brisa débil)	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	Bonancible (Brisa moderada)	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	Fresquito (Brisa fresca)	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada
6	39 a 49	Fresco (Brisa fuerte)	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	Frescachón (Viento fuerte)	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	62 a 74	Temporal (Viento duro)	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	75 a 88	Temporal fuerte (Muy duro)	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	Temporal duro (Temporal)	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103 a 117	Temporal muy duro (Borrasca)	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	118 y más	Temporal huracanado (Huracán)	Destrucción total

Cuadro 3.1: Cuadro de la velocidad del viento según Sir Francis Beaufort.

(Fuente: es.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort)

En la zona de Sustag se estableció que los vientos de mayor incidencia se presentan en los meses de Julio a Septiembre, en los días de agosto se ha observado que la presencia del viento es más fuerte y prolongado, debido a que las ramas de los arboles de mayor volumen se mueven y en algunos casos dificulta mantener abierto un paraguas, según estas características se estableció dentro de la escala de Sir Francis Beaufort que se encuentra entre 6 y 7 la velocidad del viento en esta zona, para efectos de cálculos

hemos establecido una media entre estos valores, la velocidad del viento v a utilizar en el análisis es de **50 km/h**.

El ángulo de inclinación del techo α para el diseño de invernaderos es recomendado entre 20 y 30 grados según análisis realizados en este tipo de estructuras, cuando los ángulos son menores a 20 se genera un problema en la evacuación del agua lluvia, mientras que cuando superan su límite de inclinación el mayor inconveniente se presenta con el viento que tiende a realizar un efecto de succión hacia afuera, normal a la superficie del techo, en el caso del invernadero para el secado del lodo se ha seleccionado un ángulo de **22 grados** este ángulo a su vez no permite que la estructura sea más alta con relación a la edificación donde se realiza el proceso de deshidratación del fangos.

$$\alpha = 22^\circ$$

Las presiones del viento sobre las estructuras q se pueden calcular aproximadamente como:

$$q = 0,00256v^2 \left[\frac{lb}{pie^2} \right]$$

$$q = 0,0000473v^2 [kPa]$$

donde:

v es la velocidad del viento en millas/h o km/h. Esta ecuación se puede deducir fácilmente como $q = \frac{1}{2}m \times v$; donde la densidad de masa del aire es aproximadamente 0,00238 lb o s^2/pie^4 , por lo tanto la presión del viento será:

$$q = 0,0000473v^2 [kPa]$$

$$q = 0,0000473 \left(50 \frac{km}{h} \right)^2 = 0,1182 [kPa]$$

$$q = 12,2 \frac{kg}{m^2}$$

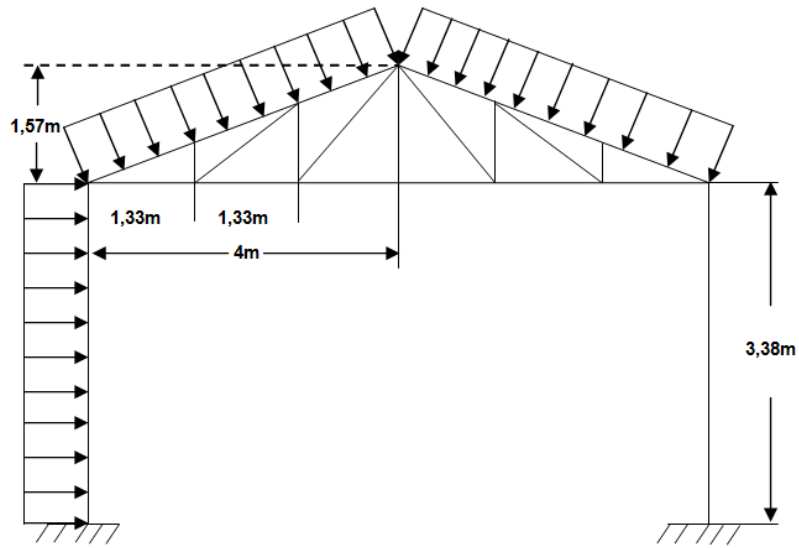


Imagen 3.10: Dimensionamiento de la estructura y análisis de las cargas de viento.

Una vez determinado la presión del viento calculamos la presión sobre la columna de barlovento Pv_c y tenemos que:

$$Pv_c = \frac{H_0}{2} \times l_1 \times q$$

donde:

H_0 es la altura de la columna del invernadero.

l_1 es la separación de estructura a estructura, la misma que tiene una dimensión de 5,75m

q es la presión del viento en la estructura, remplazando obtenemos:

$$Pv_c = \frac{3,38m}{2} \times 5,75m \times 12,2 \frac{kg}{m^2}$$

$$Pv_c = 118,5[kg]$$

Ahora es necesario analizar el viento sobre los largueros inclinados, el mismo que aplica en las puntas, para ello es necesario determinar la longitud en pendiente l_3 de la armadura:

$$l_3 = \sqrt{1,57^2 + 4^2}$$

$$l_3 = 4,29[m]$$

Para continuar con el análisis en el techo se determina el esfuerzo unitario generado por el viento sobre el techo, por lo que se multiplica la presión del viento ejercida en la estructura q con la longitud transversal comprendida entre armadura y armadura l_1 :

$$f_{unt} = q \times l_1$$

$$f_{unt} = 12,2 \text{ kg/m}^2 \times 5,75[m]$$

$$f_{unt} = 70,15 \text{ kg/m}$$

Bien teniendo este esfuerzo unitario se procede a determinar las fuerzas ejercidas en cada nodo de la armadura, en este punto se hace tres consideraciones:

- Debido a que el viento puede soplar desde cualquier dirección del invernadero, la estructura es simétrica, por ello el análisis del viento se efectúa en una sola dirección.
- Al ser el ángulo de inclinación menor a 30° las fuerzas consideradas en los nudos son multiplicadas por un factor $f_\theta = 1,25$ que recomienda la norma.
- La norma recomienda que al ser simétrico la longitud del larguero l_3 se la divida en seis, debido al número de nodos que lo compone, y que se lo analice en los dos primeros nudos por su simetría.

$$d_0 = \frac{l_3}{6}$$

$$d_0 = \frac{4,29[m]}{6} = 0,715[m]$$

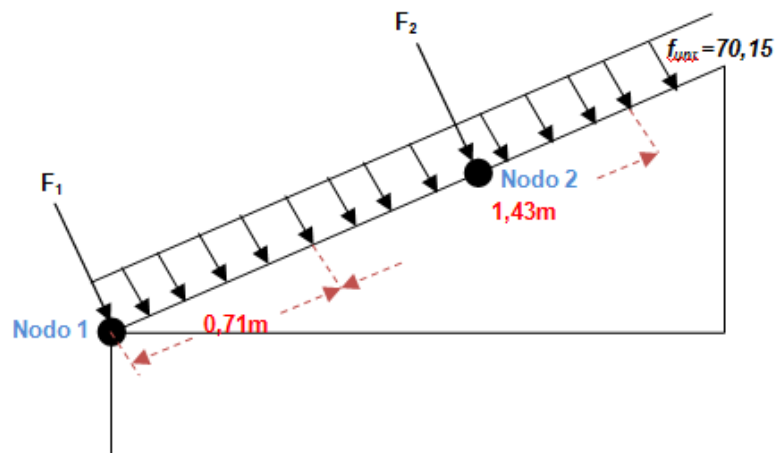


Imagen 3.11: Esquema de los esfuerzos y las fuerzas en los nodos de la armadura.

Al finalizar el análisis de los nodos se determinará las fuerzas F_1 y F_2 respectivamente las mismas que tienen sus componentes en el eje X y en el eje Y con lo que tiene las cargas puntuales en cada nodo y se procede:

– **Nodo 1**

$$F_1 = f_{unt} \times f_0 \times d_0$$

$$F_1 = 70,15 \left[\frac{kg}{m} \right] \times 1,25 \times 0,715[m]$$

$$F_1 = 62,30[kg]$$

$$F_{1x} = F_1 \times \sin 22 = 23,33[kg]$$

$$F_{1y} = F_1 \times \cos 22 = \mathbf{57,76[kg]}$$

— **Nodo 2**

$$F_2 = f_{unt} \times f_0 \times 2d_0$$

$$F_2 = 70,15 \left[\frac{kg}{m} \right] \times 1,25 \times 2 \times 0,715[m]$$

$$F_2 = 125,48[kg]$$

$$F_{2x} = F_2 \times \sin 22 = 47,00[kg]$$

$$F_{2y} = F_2 \times \cos 22 = \mathbf{116,34[kg]}$$

Con la fuerza máxima obtenida determinamos la carga del viento F_{AV} sobre el techo originada por esta fuerza, para ello se debe determinar un área la cual sea representativa, en análisis estructural se la conoce como área tributaria A_t y se obtiene:

$$A_t = 2 \times d_0 \times l_1$$

$$A_t = 2 \times 0,715[m] \times 5,75[m]$$

$$A_t = 8,22[m^2]$$

— Carga actuante de viento sobre el techo:

$$F_{AV} = \frac{F_{2y_{max}}}{A_t}$$

$$F_{AV} = \frac{116,34[kg]}{8,22[m^2]}$$

$$F_{AV} = 14,15 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

Analizar la estructura con las fuerzas generadas por el viento determinadas anteriormente para cada nodo.

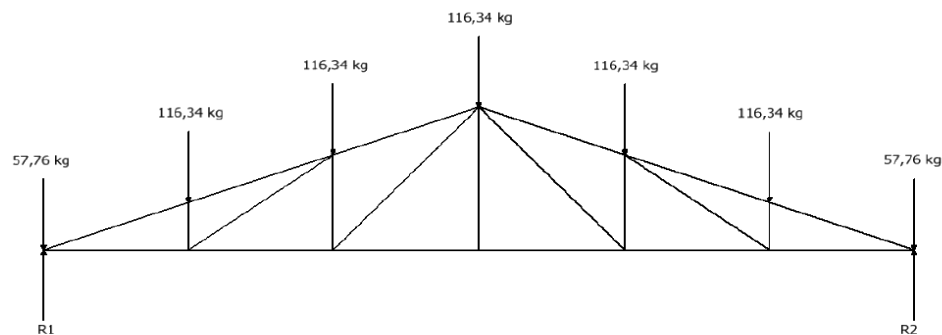


Imagen 3.12: Esquema de las fuerzas en la estructura

Cálculo de las resistencias R1 y R2:

$$R1 = R2 = \frac{F_{2y} \times 6}{2}$$

$$R1 = R2 = \frac{116,34[kg] \times 6}{2}$$

$$R1 = R2 = 349,02 [kg]$$

Cálculo de fuerzas internas de la armadura.- Para este cálculo se divide a la estructura por su eje de simetría y se determina las fuerzas actuantes en cada elemento de la estructura, analizando estáticamente cada nodo por lo tanto se tiene:

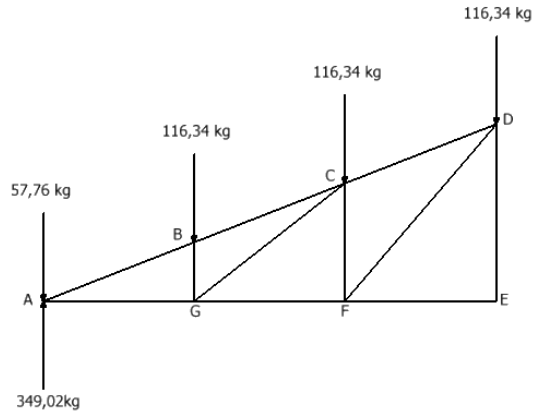
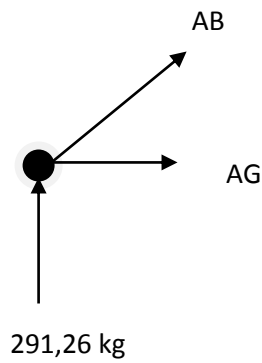


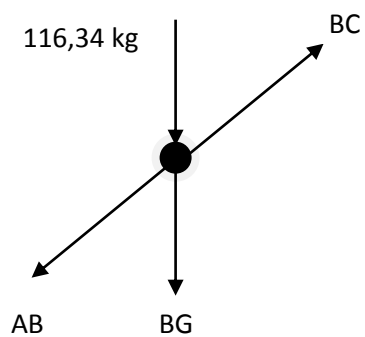
Imagen 3.13: Esquema de fuerzas y denominación de nodos.

– **Nodo “A”**



$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ AB \times \cos 22 + AG &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ AB \times \sin 22 + 291,26 &= 0 \\ AB &= -777,51[kg] \\ AG &= 720,89[kg] \end{aligned}$$

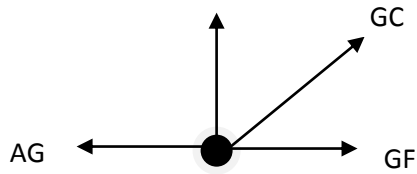
– **Nodo “B”**



$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ BC \times \cos 22 - AB \cos 22 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ BC \times \sin 22 - AB \times \sin 22 - 116,34 - BG &= 0 \\ BC &= -777,51[kg] \\ BG &= -116,34[kg] \end{aligned}$$

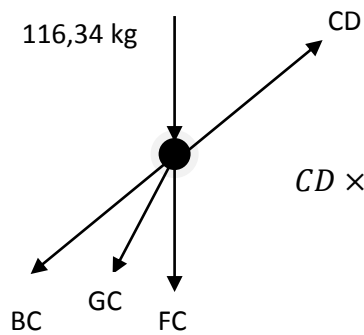
– **Nodo “G”**

GB



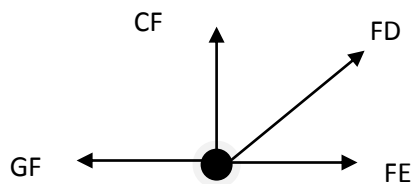
$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ GC \times \cos 38 - AG + GF &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ GC \times \sin 38 + GB &= 0 \\ GF &= 571,98[kg] \\ GC &= 188,96[kg] \end{aligned}$$

_ Nodo "C"



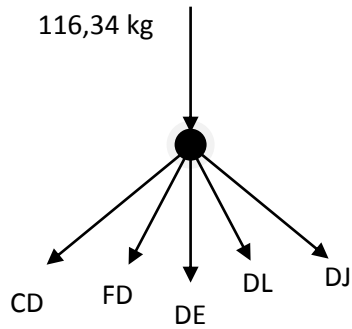
$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ CD \times \cos 22 - BC \cos 22 - GC \sin 52 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ CD \times \sin 22 - BC \times \sin 22 - GC \cos 52 - 116,34 - FC &= 0 \\ CD &= -617,25[kg] \\ FC &= -172,64[kg] \end{aligned}$$

_ Nodo "F"



$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ FD \times \cos 50 - GF + FE &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ CF + FD \sin 50 &= 0 \\ FE &= 449,18[kg] \\ FD &= 283,25[kg] \end{aligned}$$

_ Nodo "D"



$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ -CD \times \cos 22 - FD \sin 40 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ -116,34 - DE - 2CD \sin 22 - 2FD \cos 40 &= 0 \\ DE &= -87,85[kg] \end{aligned}$$

b) Cálculo de las cargas de granizo.

Debido a que en la zona de análisis solo se dispone de dos estaciones se ha considerado al análisis con la presencia de granizo, lo mismo no sucede en los países que dispones de las cuatro estaciones ya que el análisis se lo realiza con la presencia de nieve, se debe determinar la presión que ejerce el granizo (G) sobre el techo del invernadero por ello se plantea:

$$G = \varphi e_{granizo} \times h_{granizo}$$

donde:

$\varphi e_{granizo}$ densidad del granizo; 1000kg/m^3

$h_{granizo}$ es la altura del granizo acumulado sobre el techo, para este valor se considera una altura de 15mm y se determina:

$$G = 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \times 0.015[m]$$

$$G = 15 \left[\frac{Kg}{m^2} \right]$$

Con la carga de granizo se halla la fuerza actuante g sobre la estructura para ello a la presión G se la multiplica por el área tributaria A_t :

$$g = G \times A_t$$

$$g = 15 \left[\frac{Kg}{m^2} \right] \times 8,22[m^2]$$

$$g = 123,3[Kg]$$

De la misma manera que el análisis con las fuerzas provocadas por el viento se analiza con la nueva fuerza determinada ocasionada por la presencia de granizo y se esquematiza de la siguiente forma:

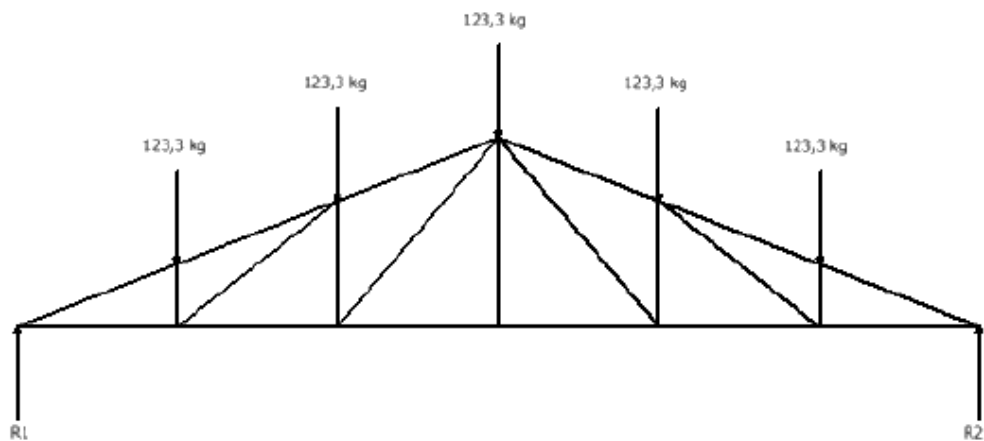


Imagen 3.14: Esquema de las fuerzas generadas por el granizo sobre la estructura.

Cálculo de las resistencias $R1$ y $R2$ respectivamente:

$$R1 = R2 = \frac{F_{2y} \times 5}{2}$$

$$R1 = R2 = \frac{123,3 \times 5}{2}$$

$$R1 = R2 = 308,25 \text{ kg}$$

Calculo de fuerzas internas de la armadura con el método de análisis estático de nodos igual al análisis anteriormente indicado:

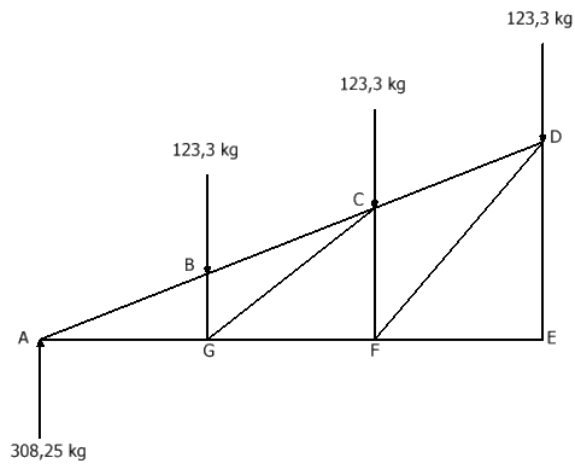
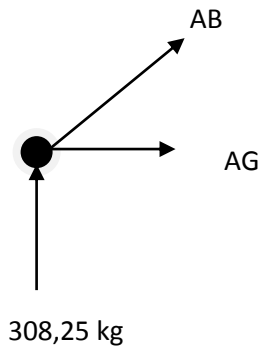


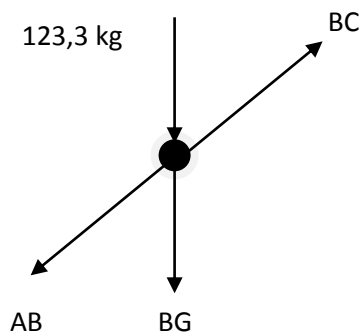
Imagen 3.15: Esquema de fuerzas y reacciones en la armadura con presencia de granizo.

Nodo "A"

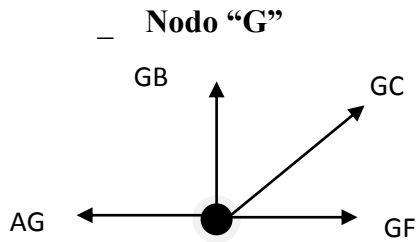


$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ AB \times \cos 22 + AG &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ AB \times \sin 22 + 308,25 &= 0 \\ AB &= -822,86[kg] \\ AG &= 762,94[kg] \end{aligned}$$

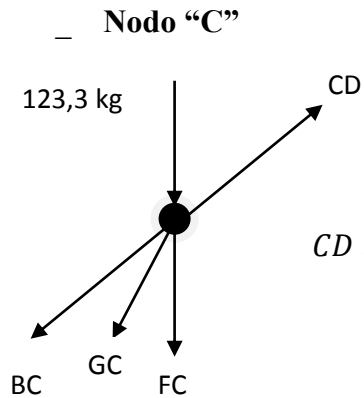
Nodo "B"



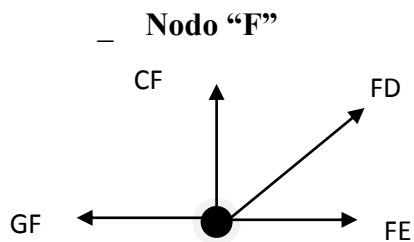
$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ BC \times \cos 22 - AB \cos 22 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ BC \times \sin 22 - AB \times \sin 22 - 123,3 - BG &= 0 \\ BC &= -822,86[kg] \\ BG &= -123,3[kg] \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ GC \times \cos 38 - AG + GF &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ GC \times \sin 38 + GB &= 0 \\ GF &= 605,12[kg] \\ GC &= 200,27[kg] \end{aligned}$$

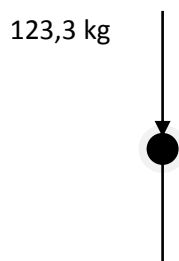


$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ CD \times \cos 22 - BC \cos 22 - GC \sin 52 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ CD \times \sin 22 - BC \times \sin 22 - GC \cos 52 - 123,3 - FC &= 0 \\ CD &= -652,65[kg] \\ FC &= -182,83[kg] \end{aligned}$$

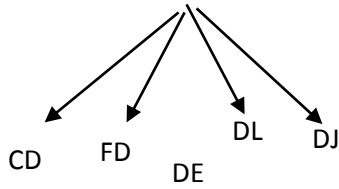


$$\begin{aligned} \sum f_x &= 0 \\ FD \times \cos 50 - GF + FE &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ CF + FD \sin 50 &= 0 \\ FE &= 451,71[kg] \\ FD &= 238,66[kg] \end{aligned}$$

Nodo "D"



$$\sum f_x = 0$$



$$-CD \times \cos 22 - FD \sin 40 = 0$$

$$\sum f_y = 0$$

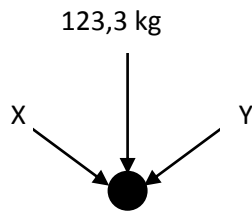
$$-123,3 - DE - 2CD \sin 22 - 2FD \cos 40 = 0$$

$$DE = 0,02[kg]$$

c) Cálculo de las cargas muertas.

Diseño del larguero.- el larguero es el elemento que se encuentra entre estructura y estructura donde va a descansar el techo del invernadero, para este análisis se determina la mayor fuerza entre las cargas de viento y de granizo, en este análisis la carga de granizo es la de mayor magnitud, la misma que es analizada en el nodo B de la estructura y se determina las nuevas componentes:

Diagrama nodo B



$$X = 123,3 \times \cos 68 = 46,18$$

$$Y = 123,3 \times \sin 68 = 114,32$$

Fuerza Max (w): 114,32 [Kg]

Con la fuerza maxima uniforme w se determina un momento flexionante M :

$$M = \frac{w \times l_1}{8}$$

donde:

l_1 longitud entre armadura y armadura 575cm.

$$M = \frac{114,32[kg] \times 575[cm]}{8}$$

$$M = 8216,75[kg \times cm]$$

Con este momento flexionante se halla un modulo de seccion requerido S (cm^3).

$$S = \frac{M}{f}$$

donde:

f : Esfuerzo unitario permisible del acero en la sección transversal $1406 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$

$$S = \frac{8216,75[kg \times cm]}{1406 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 5,84[cm^3]$$

Con el modulo de sección S determinado se busca un perfil en el catalogo de la DIPAC (*Anexo 3.1*) que cumpla este requerimiento.

DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm ²	I	W	I	I	W	I	x
						cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89

*Tabla 3.1: Tabla de perfil CANAL U.
Fuente: Catálogo DIPAC.*

Como resultado se obtiene un perfil **CANAL U 60x30x3** con las siguientes características:

$$S = 5,85cm^3$$

Peso del perfil (P_u) = 2,59 [kg/m]

Sección del perfil = 3,30 cm²

Inercia x-x = 17,5 cm⁴

Cálculo de la carga ejercida por el larguero sobre el techo P_{lar} :

$$P_{lar} = \frac{P_u \times l_1}{A_t}$$
$$P_{lar} = \frac{2,59 \left[\frac{kg}{m} \right] \times 5,75 [m]}{8,22 [m^2]} = 1,81 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

Análisis de las cargas muertas involucradas en el sistema:

Techo.- se ha considerado un techo de Policarbonato transparente de 6mm el mismo que tiene dimensiones de 2m de ancho por 3m de largo, sus propiedades técnicas indica que genera una carga de 6kg/m².

Larguero.- este elemento fue determinado en el paso anterior lo cual le acredita una carga de 1,81 kg/m².

Armadura tipo Pratt.- para determinar esta carga depende exclusivamente de la experiencia del diseñador en este caso se ha establecido una carga recomendada para claros menores a 10m de 8,59 kg/m² con la ayuda de estructuras ya construidas.

Instalaciones eléctricas.- para determinar esta carga se analiza la iluminación del invernadero, este estará equipado con lámparas florecientes entre 6 a 10 unidades distribuidas uniformemente, depende también de la experiencia del diseñador, en este análisis se recomienda una carga de 5kg/m².

Una vez determinadas todas las cargas P que van a estar influyendo en este análisis se procede a la suma:

$$P_{total} = P_{techo} + P_{lar} + P_{Armadura} + P_{inst.electricas}$$

$$P_{total} = 6 + 1,81 + 8,59 + 5 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$P_{total} = 21,4 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

Para realizar el análisis con las cargas muertas involucradas se determina las fuerzas que actúan en cada nodo, por lo tanto se divide para el área tributaria con el propósito de hallar la fuerza puntual C_M :

$$C_M = P_{Total} \times A_t$$

$$C_M = 21,4 \times 8,22 = 175,91[kg]$$

Se procede a analizar la estructura utilizando el mismo método que los análisis anteriores obteniendo:

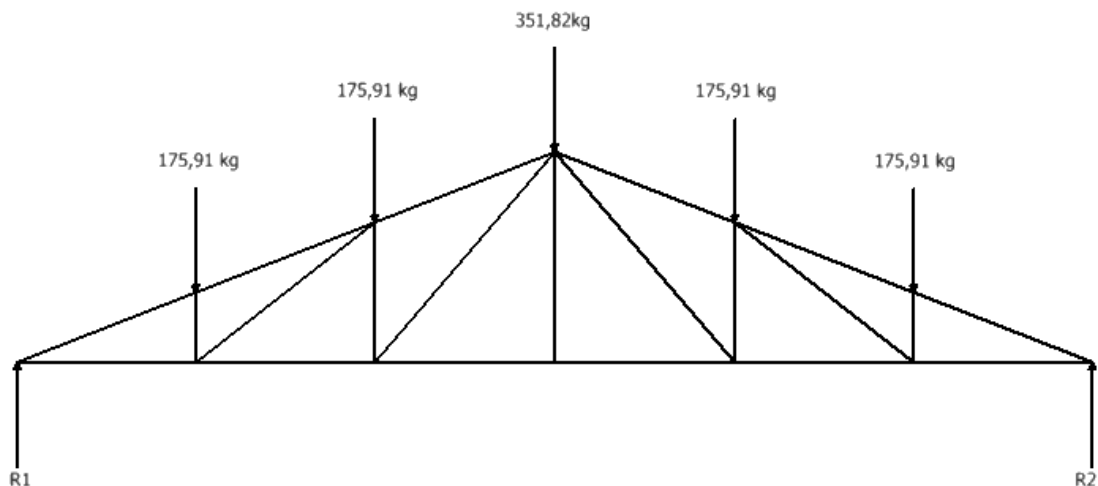


Imagen 3.16: Esquema de las fuerzas permanentes en la estructura

Cálculo de las resistencias R1 y R2 respectivamente:

$$R1 = R2 = \frac{C_M \times 5}{2}$$

$$R1 = R2 = \frac{175,91 \times 6}{2}$$

$$R1 = R2 = 527,73 \text{ kg}$$

— Cálculo de las fuerzas internas de la armadura por el método analítico en cada nodo.

—

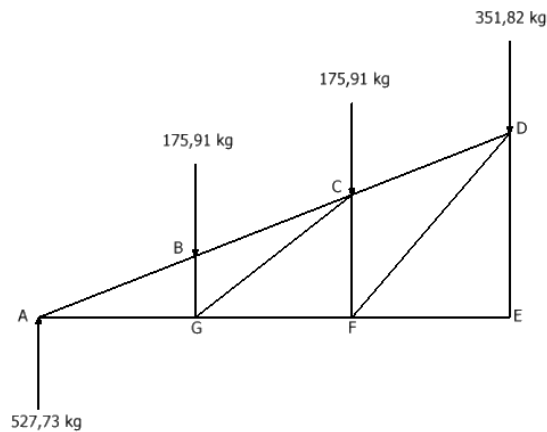
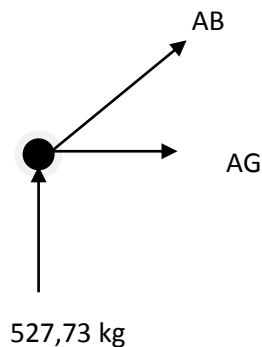


Imagen 3.17: Esquema de las fuerzas y reacciones en cada nodo.

— **Nodo "A"**



$$\sum f_x = 0$$

$$AB \times \cos 22 + AG = 0$$

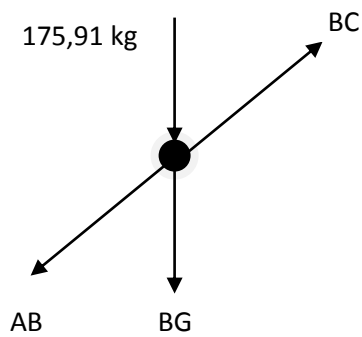
$$\sum f_y = 0$$

$$AB \times \sin 22 + 527,73 = 0$$

$$AB = -1408,76[\text{kg}]$$

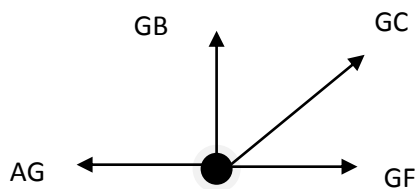
$$AG = 1306,18[\text{kg}]$$

– **Nodo “B”**



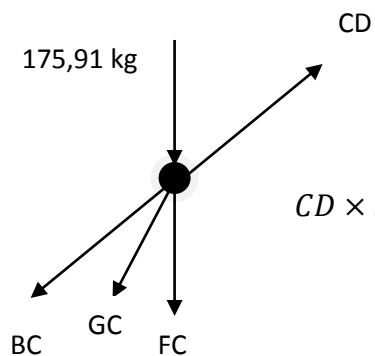
$$\begin{aligned}\sum f_x &= 0 \\ BC \times \cos 22 - AB \cos 22 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ BC \times \sin 22 - AB \times \sin 22 - 175,91 - BG &= 0 \\ BC &= -1408,76[kg] \\ BG &= -175,91[kg]\end{aligned}$$

– **Nodo “G”**



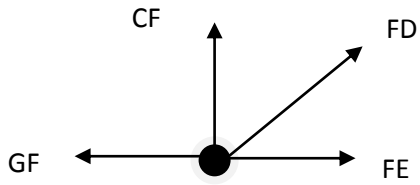
$$\begin{aligned}\sum f_x &= 0 \\ GC \times \cos 38 - AG + GF &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ GC \times \sin 38 + GB &= 0 \\ GF &= 1081,03[kg] \\ GC &= 285,72[kg]\end{aligned}$$

– **Nodo “C”**



$$\begin{aligned}\sum f_x &= 0 \\ CD \times \cos 22 - BC \cos 22 - GC \sin 52 &= 0 \\ \sum f_y &= 0 \\ CD \times \sin 22 - BC \times \sin 22 - GC \cos 52 - 175,91 - FC &= 0 \\ CD &= -1165,93[kg] \\ FC &= -260,85[kg]\end{aligned}$$

– **Nodo “F”**



$$\sum f_x = 0$$

$$FD \times \cos 50 - GF + FE = 0$$

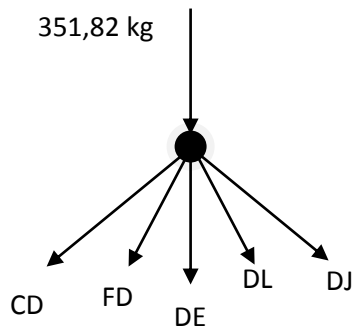
$$\sum f_y = 0$$

$$CF + FD \sin 50 = 0$$

$$FE = 862,16[kg]$$

$$FD = 340,5[kg]$$

– **Nodo “D”**



$$\sum f_x = 0$$

$$-CD \times \cos 22 - FD \sin 40 = 0$$

$$\sum f_y = 0$$

$$-351,82 - DE - 2CD \sin 22 - 2FD \cos 40 = 0$$

$$DE = 0,03[kg]$$

Imagen 3.18: Esquema de la nominación de los nodos y elementos involucrados en la estructura del invernadero.

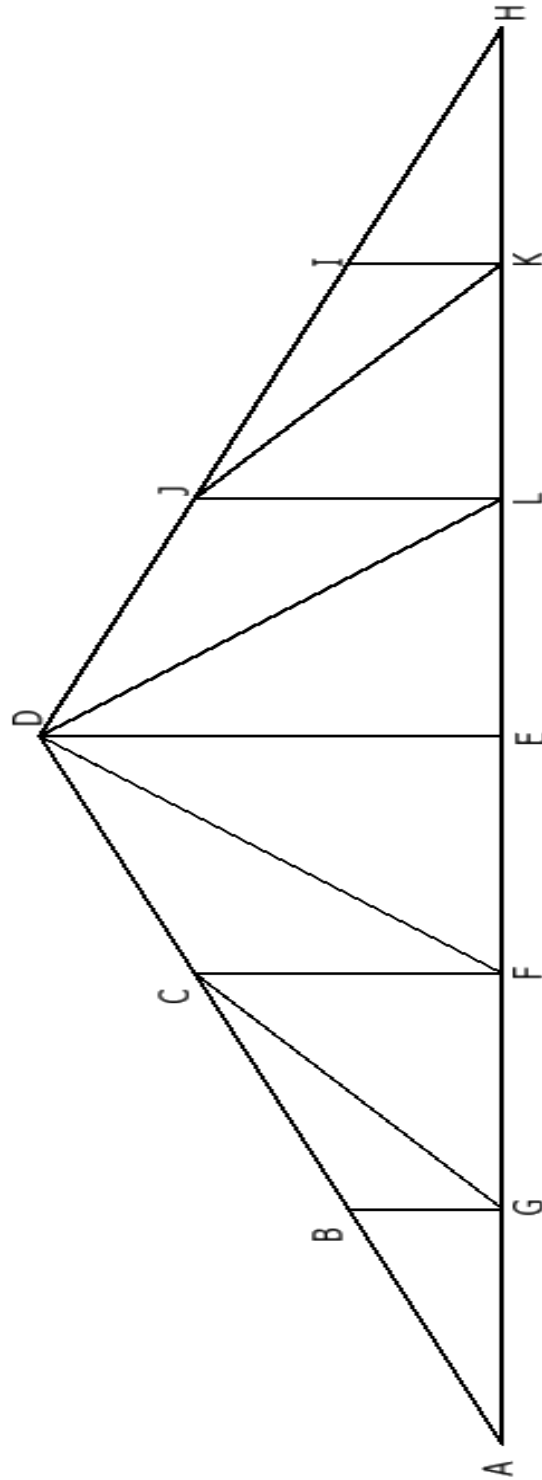


TABLA DE ESFUERZOS MAXIMOS									
<i>Miembro</i>	Esfuerzos de diseño debido a:				Combinación de esfuerzos				Esfuerzo de diseño
	<i>Carga Muerta (DL)</i>	<i>Carga de Granizo (SL)</i>	<i>1/2 media carga de granizo</i>	<i>Carga de viento (WL)</i>	<i>DL+SL</i>	<i>DL+WL</i>	<i>(DL+1/2SL)</i>	<i>(DL+1/2SL+WL)3/4</i>	
A-B	-1408,76	-822,86	-411,43	-777,51	-2231,62	-2186,27	-1820,19	-1948,28	-2231,62
B-C	-1408,76	-822,86	-411,43	-777,51	-2231,62	-2186,27	-1820,19	-1948,28	-2231,62
C-D	-1165,93	-652,65	-326,33	-617,25	-1818,58	-1783,18	-1492,26	-1582,13	-1818,58
D-E	0,03	0,02	0,01	-87,85	0,05	-87,82	0,04	-65,86	0,05
A-G	1306,18	762,94	381,47	720,89	2069,12	2027,07	1687,65	1806,41	2069,12
G-F	1081,03	605,12	302,56	571,98	1686,15	1653,01	1383,59	1466,68	1686,15
F-E	862,16	451,71	225,86	449,18	1313,87	1311,34	1088,02	1152,90	1313,87
B-G	-175,91	-123,30	-61,65	-116,34	-299,21	-292,25	-237,56	-265,43	-299,21
C-F	-260,85	-182,83	-91,42	-172,64	-443,68	-433,49	-352,27	-393,68	-443,68
D-F	340,50	238,66	119,33	283,25	579,16	623,75	459,83	557,31	579,16
C-G	285,72	200,27	100,14	188,96	485,99	474,68	385,86	431,11	485,99
H-I	-1408,76	-822,86	-411,43	-777,51	-2231,62	-2186,27	-1820,19	-1948,28	-2231,62
I-J	-1408,76	-822,86	-411,43	-777,51	-2231,62	-2186,27	-1820,19	-1948,28	-2231,62
J-D	-1165,93	-652,65	-326,33	-617,25	-1818,58	-1783,18	-1492,26	-1582,13	-1818,58
H-K	1306,18	762,94	381,47	720,89	2069,12	2027,07	1687,65	1806,41	2069,12
K-L	1081,03	605,12	302,56	571,98	1686,15	1653,01	1383,59	1466,68	1686,15
L-E	862,16	451,71	225,86	449,18	1313,87	1311,34	1088,02	1152,90	1313,87
I-K	-175,91	-123,30	-61,65	-116,34	-299,21	-292,25	-237,56	-265,43	-299,21
J-L	-260,85	-182,83	-91,42	-172,64	-443,68	-433,49	-352,27	-393,68	-443,68
J-K	285,72	200,27	100,14	188,96	485,99	474,68	385,86	431,11	485,99
D-L	340,50	238,66	119,33	283,25	579,16	623,75	459,83	557,31	579,16

*Tabla 3.2: Esfuerzos de diseño y de esfuerzos combinados.
(Fuente: El Autor)*

Diseño de los miembros sujetos a tensión.- Estos miembros son analizados con la norma de la AISC la misma que dice:

El esfuerzo permisible a tensión F_a se limita a:

$$F_a = 0,6F_y$$

donde:

$$F_y = 2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \text{ Esfuerzo de fluencia para el acero st-36}$$

$$F_a = 0,6 \times 2530 \frac{kg}{cm^2}$$

$$F_a = 1518 \frac{kg}{cm^2}$$

Se parte de la fórmula de esfuerzos, siendo esta la división de la fuerza aplicada (P) al elemento sobre un área (A) determinada:

$$F_a = \frac{P}{A}$$

En este caso se pretende determinar el Área que puede soportar la fuerza, de la fórmula de esfuerzos se despeja el área quedando:

$$A = \frac{P}{F_a}$$

Con la nueva área determinada se busca un perfil que tenga un área mayor o igual a la calculada, el tipo de perfil lo dispone el calculador dependiendo del elemento y la función que el mismo cumple. Para este análisis se determinaron los perfiles del catálogo de la DIPAC.

Con el nuevo elemento asignado se analiza con la finalidad de determinar si el mismo está en capacidad de resistir la fuerza aplicada, para cumplir esta condición la AISC dice:

$$\frac{kxl}{r} < 240; \text{cumple}$$

donde:

r es el radio mínimo de giro, el mismo que está en función de la Inercia I y del área del perfil elegido y se tiene:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Mientras tanto k depende del tipo de junta que está unido el elemento (**Tabla 3.5**), en el caso del invernadero son elementos que están doblemente articulados por ello k es 1

DISEÑO DE MIEMBROS A TENSION										
Miembro		Esfuerzo de diseño (kg)	Área (cm ²)	Perfil Seleccionado	Área perfil (cm ²)	Inercia (cm ⁴)	r	Long. (cm)	k x l/r	Condiciones
Principales	A-G	2069,12	1,36	C60x30x2	2,26	12,50	3,03	133	43,92	Cumple
	G-F	1686,15	1,11	C60x30x2	2,26	12,50	3,03	133	43,92	Cumple
	F-E	1313,87	0,87	C60x30x2	2,26	12,50	3,03	133	43,92	Cumple
Secundarios	D-F	579,16	0,38	L25x25x2	0,73	0,57	1,22	206	168,54	Cumple
	C-G	485,49	0,32	L25x25x2	0,73	0,57	1,22	170	139,08	Cumple

Tabla 3.3: Tabla de diseño de los elementos sometidos a tensión.

(Fuente: El Autor)

Diseño de los miembros sujetos a compresión.- es necesario hacer un proceso interactivo en el diseño, en este análisis se va a seguir la norma de la AISC y recomienda los siguientes pasos:

1. Determinar las cargas $P_{diseño}$ y elementos sujetos a compresión.
2. Determinar la longitud efectiva de la columna kxL
3. Hágase una selección tentativa de la sección y determine el perfil.
4. Calcular kxL/r para la sección seleccionada, compare con el coeficiente de esbeltez C_c y use la fórmula adecuada para determinar F_a .
5. Calcular la carga permisible.

$$[P_a = A \times F_a] \geq P_{diseño}$$

6. Revise la sección hasta que P_a esté razonablemente cerca y sea ligeramente mayor que la $P_{diseño}$, se obtiene la sección más ligera cuando $P_a = P_{diseño}$ (no necesariamente la más económica).

Una vez conocido los pasos se determina las variables, al ser un proceso interactivo se va a utilizar una hoja de cálculo para facilitar la selección de los perfiles óptimos.

Siguiendo los pasos se tiene que:

$$si \frac{kxL}{r} \leq C_c \text{ se aplica } F_a = \frac{F_y}{1,92} \left[1 - \frac{0,5 \times (KL/r)^2}{C_c^2} \right]$$

ó

$$si \frac{kxL}{r} \geq C_c \text{ se aplica } F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \times (KL/r)^2}$$

donde:

$k = 1$; doblemente articulado, también se le considera como un valor conservador.

C_c para un acero A-36 el coeficiente de esbeltez es de 126,1

E modulo de elasticidad del acero A 36 es de 2039432,4 kg/cm².

L longitud del elemento cm.

r radio mínimo de giro cm es:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I inercia del perfil seleccionado cm^4

A área del nuevo perfil cm^2 .

$$F_y = 2530 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \text{ para el acero estructural A 36}$$

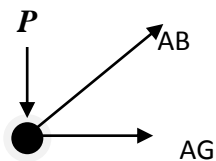
DISEÑO DE MIEMBROS A COMPRESION											
Miembro		Esfuerzo de diseño (kg)	Longitud (cm)	Área (cm ²)	Inercia (cm ⁴)	r	k x l/r	Fa	Pa	Perfil Seleccionado	Condiciones
Principales	A-B	2231,62	143,3	2,26	12,50	2,35	60,93	1318,59	2980	C60x30x2	Cumple
	B-C	2231,62	143,3	2,26	12,50	2,35	60,93	1318,59	2980	C60x30x2	Cumple
	C-D	1818,58	143,3	2,26	12,50	2,35	60,93	1318,59	2980	C60x30x2	Cumple
Secundarios	D-E	0,05	157,5	0,73	0,57	0,88	178,24	1317,71	962	L25x25x2	Cumple
	B-G	299,21	52,5	0,73	0,57	0,88	59,41	1318,60	963	L25x25x2	Cumple
	C-F	443,68	105	0,73	0,57	0,88	118,83	1318,26	962	L25x25x2	Cumple

*Tabla 3.4: Análisis de los miembros sujetos a compresión del invernadero
(Fuente: El Autor)*

Diseño de las columnas de la estructura.- es el elemento estructural vertical empleado para sostener la carga de la edificación, es fundamental la adecuada selección de su tamaño, forma, espaciamiento y composición, esto influyen de manera directa en su capacidad de carga.

Determinar la fuerza aplicada en la columna significa que se debe hacer un análisis al nodo 1 utilizando la fuerza de diseño del elemento AB la misma que tiene una magnitud de 2231,62 kg, también existe una fuerza emitida por el viento la misma que provoca un momento en la columna, análisis:

Nodo 1



$$P = \sin 22 \times AB$$

$$P = \sin 22 \times 2231,62[kg]$$

$$P = 835,98kg$$

Con la nueva fuerza determinada para la columna se inicia el análisis de los efectos ejercidos en la columna (compresión – flexión), según la AISC cuando se trata de columnas con este tipo de combinación tiene que cumplir con las dos siguientes igualdades:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

y

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \times f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e}\right) \times F_b} \leq 1$$

donde:

fa esfuerzo admisible para compresión

fb esfuerzo admisible para flexión

Fa esfuerzo admisible del material a compresión

Fb esfuerzo admisible del material a flexión

$$Fb = 0,6Fy = 1518 \frac{kg}{cm^2}$$

Fe' esfuerzo crítico de Euler

Cm factor de modificación

Para cumplir con estas condiciones, primero se determina *k*, este es un factor de diseño para columnas con diversas condiciones en los extremos y también se realiza el esquema de la columna.

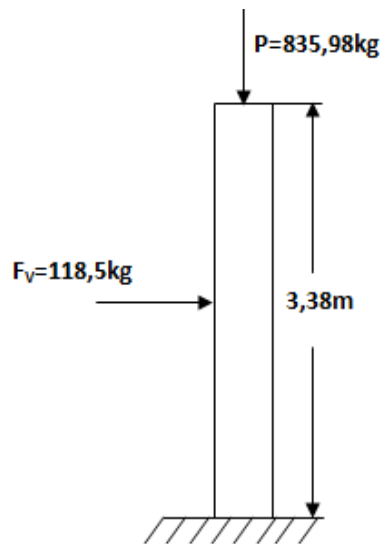


Imagen 3.19: Esquema de la columna en la estructura.





	(a)	(n)	(e)	(σ)	(e)	(n)
<i>K</i> teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
<i>K</i> de diseño que se recomienda	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
Condiciones en los extremos		Rotación fija				Traslación fija
		Rotación libre				Traslación fija
		Rotación fija				Traslación libre
		Rotación libre				Traslación libre

Tabla 3.5: Valores de *k*, teóricos y de diseño, para columnas con diversas condiciones en los extremos

(Fuente: Diseño de Acero Estructural de Joseph E. Bowles, pág. 299)

De acuerdo al esquema de la columna se determina un valor *k* de diseño de 1,2.

La deformación de la columna es variante según las magnitudes de carga, cuando estas cargas son bajas se acortan la columna, al aumentar la magnitud cesa el acortamiento y aparece la deflexión lateral. Existe una carga límite que supera estos dos tipos de configuraciones y se conoce como carga crítica ($P_{critica}$).

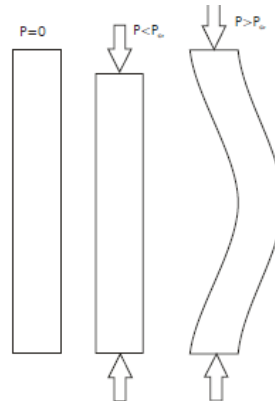


Imagen 3.20: Esquema de la carga crítica con $P=0$; $P < P_{cr}$; $P > P_{cr}$; respectivamente.

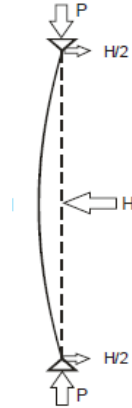


Imagen 3.21: Esquema de la columna.

Cuando la fuerza vertical P va aumentando y el valor de H disminuye, la deflexión se va a comportar como indica la figura, el valor de P_{cr} es la carga necesaria para mantener la columna deformada sin empuje lateral H . Para valores mayores a la carga crítica aumenta la deflexión hasta que falla por pandeo, limitando la capacidad de la columna.

Los factores que influyen en la carga crítica son: la longitud de la columna, las condiciones de los extremos ya antes analizados, y la sección transversal de la columna. Estos factores se conjugan en la relación de esbeltez o coeficiente de esbeltez, el cual es el parámetro que mide la resistencia de la columna. De esta forma para aumentar la resistencia de la columna se debe buscar la sección que tenga el radio de giro más grande posible, o una longitud que sea menor, ya que de ambas forma reduce la esbeltez y aumenta el esfuerzo crítico, partiendo de este análisis determinamos:

Ensayamos con un tubo estructural cuadrado del catalogo de la Dipac de 60x3 (*Anexo 3.2*); el mismo que se sugiere por el ancho del perfil de la viga.

De donde se obtiene:

- Inercia (I) =35,06cm²
- Área del perfil (A)=6,61 cm²
- Peso (w)=5,42 kg/m

- $F_y = 2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$ para el acero estructural A 36
- Y el modulo de elasticidad del acero A 36 (E).

$$E = 2039432,4 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Se determina la relación $\frac{k \times l}{r}$ para luego comparar con la relación de esbeltez C_C y con ello se determina que formula se aplica según la AISC:

Donde:

k ya se determino anteriormente, depende de los extremos de la columna. 1,2

l longitud de la columna en cm 338

r radio mínimo de giro, dado por el perfil 2,34 cm

C_C se puede calcular pero el manual de la AISC ya da los valores para cada acero en este caso es de 126,1 para el A36.

Remplazando y comparando:

$$\frac{1,2 \times 338[cm]}{2,34[cm]} = 170,42$$

$$170,42 > 126,1$$

La norma indica que para valores kl/r mayores que C_C se usa la formula de Euler, con un factor de seguridad de 1,92 (23/12), la expresión del esfuerzo admisible es:

$$F_{cr} \text{ o } F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \left(\frac{kl}{r} \right)^2}$$

$$F_a = \frac{12 \times \pi^2 \times 2039432,4 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{23 \times \left(\frac{1,2 \times 338[cm]}{2,34[cm]} \right)^2}$$

$$F_a = 349,54 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Teniendo el esfuerzo crítico se determina la máxima carga a la que estaría aplicada la columna previo a la deformación:

$$F_{cr} = \frac{P}{A}$$

Despejado P:

$$P = F_{cr} \times A$$

$$P = 349,54 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \times 6,61[cm^2]$$

$$P_{critica} = 2310,47[kg]$$

$$fa = \frac{P}{A}$$

$$fa = \frac{835,98kg}{6,61cm^2}$$

$$fa = 126,47 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Una vez determinada la columna y verificando a compresión se procede a analizar a flexión para cumplir con los requerimientos y se tiene que:

$$fb = \frac{M}{Sx} \rightarrow M = \frac{P \times l}{8}$$

M momento generado en la columna

Sx modulo de sección de la columna elegida

$$fb = \frac{P \times l}{8 \times Sx}$$

$$fb = \frac{118,5kg \times 338cm}{8 \times 11,69cm^3}$$

$$fb = 428,28 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Ahora se debe calcular el esfuerzo crítico de Euler.

$$F_e = \frac{12 \times \pi^2 \times E}{23 \left(\frac{kl}{r} \right)^2}$$

En la flexión se ha considerado un k de 0,8 y reemplazando la ecuación se obtiene:

$$F_e = \frac{12 \times \pi^2 \times 2039432,4 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{23 \times \left(\frac{0,8 \times 338[cm]}{2,34[cm]} \right)^2}$$

$$F_e = 786,46 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Se determina el factor de modificación Cm, este factor depende del caso de la columna la AISC para este caso dice que:

$$Cm = 1 - 0,3 \frac{fa}{F_e}$$

$$Cm = 1 - 0,3 \frac{126,47}{786,46}$$

$$Cm = 0,951$$

Bien se procede a reemplazar en las ecuaciones de condición y se tiene que:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} \leq 1$$

$$\frac{126,47}{349,54} + \frac{428,28}{1518} = 0,643 \leq 1$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m \times f_b}{\left(1 - \frac{f_a}{F_e}\right) \times F_b} \leq 1$$

$$\frac{126,47}{349,54} + \frac{0,951 \times 428,28}{\left(1 - \frac{126,47}{786,46}\right) \times 1518} = \mathbf{0,681} \leq \mathbf{1}$$

Cumple las ecuaciones de la combinación de fuerzas para la columna.

Calculo de la base de la columna.- cuando la columna de acero termina sobre cualquier tipo de mampostería, es necesario una placa de base a fin de distribuir la alta intensidad del esfuerzo en el acero a un valor que pueda ser soportado con seguridad por la mampostería, esta placa debe ser liza para efectuar la transferencia de carga por asiento directo.

La dimensión de la placa depende de la presión unitaria permisible de contacto de la cimentación, el espesor depende de la presión de contacto de la placa base, se procede su análisis.

Fuerza total aplicada sobre la base $P_{t.}$ es la suma de la fuerza de compresión aplicada en este punto con la fuerza generada por el peso de la columna $P_{columna}$ y se tiene:

$$P_t = P_{critica} + P_{columna}$$

donde:

$$P_{columna} = w_{columna} \times l$$

w peso de la columna, indicado por el catalogo con el perfil de columna elegido 5,42 kg/m.

$$P_{columna} = 5,42 \frac{kg}{m} \times 3,38m$$

$$P_{columna} = 18,31[kg]$$

Remplazando;

$$P_t = 760,80kg + 18,31kg$$

$$P_t = 779,11kg$$

Con la fuerza determinada se halla el área requerida

$$A_{rea\ requerida} = \frac{P_t}{F_y}$$

$$A_{rea\ requerida} = \frac{779,11[kg]}{2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}$$

$$A_{rea\ requerida} = 0,31[cm^2]$$

El área calculada no abastece el área de las columnas (*Área de la columna $36cm^2$*), es necesario imponerse una nueva dimensión para las placas, se sugieren placas de Acero ST36 de B = 150 y C = 150 mm.

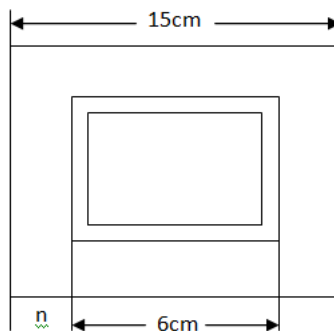


Imagen 3.22: Esquema de la placa y la columna.

Área de la nueva placa sugerida:

$$A_{rea\ diseñada} = 15[cm] \times 15[cm]$$

$$A_{rea\ diseñada} = 225[cm^2]$$

Con el área determinada es necesario calcula el nuevo esfuerzo al que la placa va a estar sometida:

$$F_{placa} = \frac{P_t}{A_{diseño}}$$

$$F_{placa} = \frac{779,11[kg]}{225[cm^2]}$$

$$F_{placa} = 3,46 \frac{kg}{cm^2}$$

Es necesario determinar el espesor de la placa (t) la misma que está determinada por la siguiente ecuación:

$$t = \sqrt{\frac{3F_p n^2}{F_b}}$$

donde:

F_b esfuerzo admisible a flexión.

$$F_b = 0,6 \times F_y$$

$$F_b = 0,6 \times 2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$F_b = 1518 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

n es la longitud de la franja libre entre la columna y la placa como se indica en el esquema anterior.

$$n = \frac{B - l_{columna}}{2}$$

$$n = \frac{15 - 6}{2}$$

$$n = 4,5 [cm]$$

Remplazando tenemos un espesor de placa t :

$$t = \sqrt{\frac{3 * 3,46 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * [4,5cm]^2}{1650 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}}$$

$$t = 0,35cm \approx 4mm$$

Determinación de pernos de anclaje.- se anclara la placa hacia el hormigón con 4 pernos hiltis, los mismos que se encuentran simétricamente distanciados con su eje ($d=12,5cm$), analizando la placa, va a estar expuesta a una fuerza T el mismo que es la resultante de multiplicar el momento en este punto y la distancia d .

$$T = \frac{400,53kg \times m}{0,125m}$$

$$T = 3204,24kg$$

Con la fuerza se determina el área:

$$A = \frac{T}{F_b}$$

$$A = \frac{3204,24kg}{1518 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}$$

$$A = 2,11cm^2$$

Determinar el diámetro de los tornillos:

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$$

Despejando D y considerando que se van anclar con cuatro pernos queda:

$$\sqrt{\frac{A}{\pi}} = D$$

$$D = \sqrt{\frac{2,11\text{cm}^2}{\pi}}$$

$$D = 0,82\text{cm} \approx 9\text{mm}$$

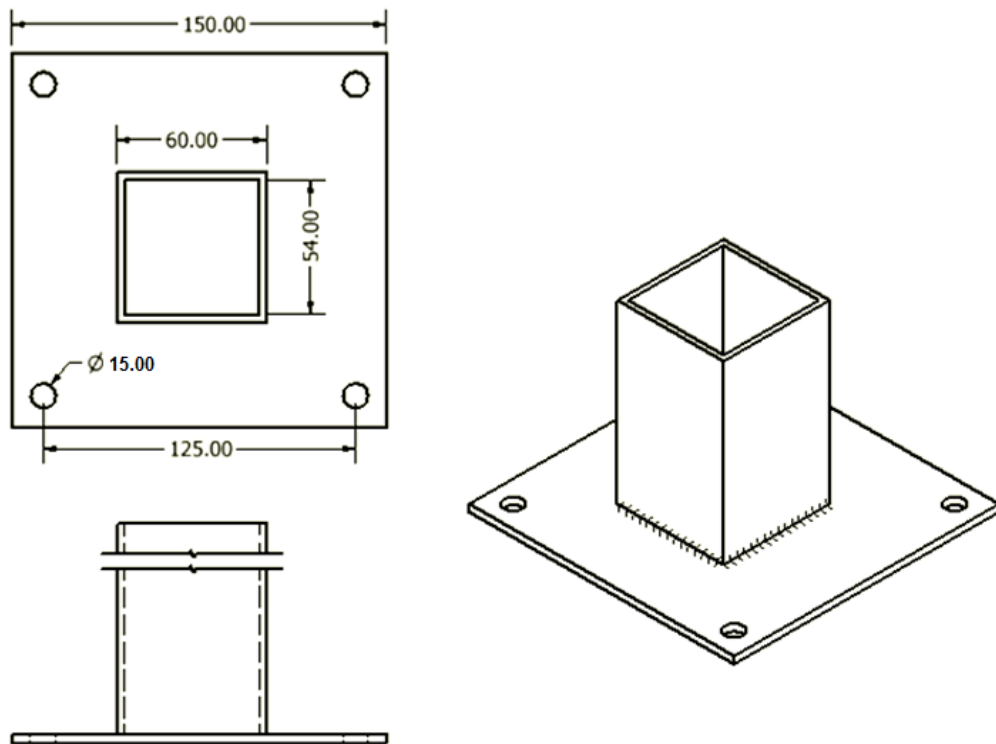


Imagen 3.23: Diagrama del la columna y placa.

3.2. Diseño del invernadero como Secador Solar.

Calculo de la transferencia de calor en el invernadero:

Una vez realizado el dimensionamiento del invernadero se procede a realizar un esquema que nos facilite entender los fenómenos físicos que se generan dentro del mismo debido a la transferencia de calor emitida por el sol.

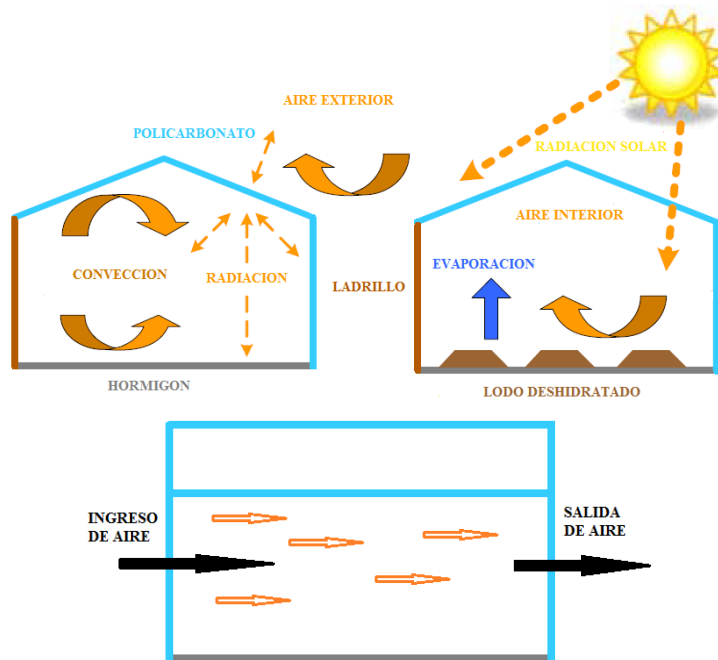


Imagen 3.24: Esquema de los fenómenos presentes en el invernadero.

3.2.1. Determinación de la transferencia de calor por radiación.

El invernadero al ser un recinto cerrado se analizara la transferencia entre la superficie del policarbonato y la superficie del lodo, la velocidad neta de transferencia por radiación $\dot{Q}_{12(rad.)}$ de este tipo de sistema se expresa como:

$$\dot{Q}_{12 rad} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_2 \times \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \times F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \times \epsilon_2}} = [W]^5$$

⁵ YUNUS A. Cengel, "Transferencia De Calor", Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, p 627.

donde:

ϵ_1 Coeficiente de emisividad del policarbonato 0,75 (este coeficiente se encuentra dentro de las características técnicas del policarbonato de 6mm).

ϵ_2 Coeficiente de emisividad del lodo 0,945. (*Anexo 3.3*).

σ Constante de Stefan – Boltzmann $5,6704 \times 10^{-8}$ [W/m² x K⁴].

F_{12} Factor de visión (para determinar este factor consideramos al invernadero como un ducto infinitamente largo) y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{31} = \frac{L_3 + L_1 - L_2}{2L_3}$$

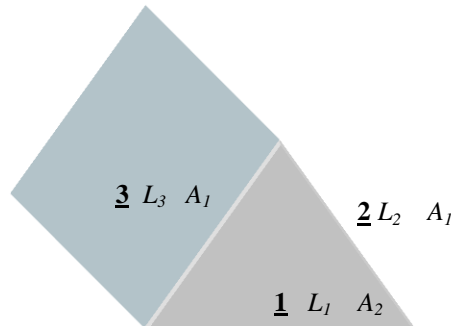


Imagen 3.25: Esquema de las dimensiones para el cálculo de la transferencia.

Por lo tanto tenemos que:

$L_1 = L_2$ es 4,29m (según las dimensiones de la estructura).

L_3 es 7,5 la longitud del lodo a ser extendido dentro del invernadero.

$$F_{31} = \frac{4,29 + 7,5 - 4,29}{2 \times 4,29} = \mathbf{0,87}$$

A_1 es el área del policarbonato donde la radiación solar es mayor.

$$A_1 = 2(4,29 \times 23) = \mathbf{197,34[m^2]}$$

A_2 es el área del lodo deshidratado dentro del invernadero en este caso es.

$$A_2 = 7,5 \times 22,5 = \mathbf{168,75[m^2]}$$

T_1 es el valor de la temperatura ambiente de la zona donde se estudia el proyecto el mismo que varía entre 13 y 23°C, para este análisis se ha tomado una temperatura de 18°C o 291,15°K.

T_2 es la temperatura del lodo dentro del invernadero (según el estudio realizado en otros invernaderos que tienen el mismo propósito se determinó que la temperatura promedio oscila entre 35 a 45°C por lo tanto se ha tomado el valor de 40°C o 313,15°K.

Una vez determinado los valores necesarios remplazamos en la ecuación de la velocidad neta de transferencia por radiación \dot{Q}_{12} .

$$\dot{Q}_{12(rad.)} = \frac{5,6704 \times 10^{-8}(291,15^4 - 313,15^4)}{\frac{1 - 0,75}{168,75 \times 0,75} + \frac{1}{197,34 \times 0,87} + \frac{1 - 0,945}{168,75 \times 0,945}}$$

$$\dot{Q}_{12(rad.)} = \mathbf{-16922.3 [watt]}$$

Nota: un valor negativo para \dot{Q}_i indica que la transferencia de calor es hacia la superficie.

3.2.2. Determinación de la transferencia de calor por convección.

Dentro del invernadero existe la presencia de convección generada entre la superficie interior del techo y la superficie del lodo, este es el mecanismo más complejo de transferencia de calor, a pesar de esto la velocidad de la transferencia de calor por este mecanismo es proporcional a la diferencia de temperaturas y se expresa de manera conveniente por la Ley de Newton de enfriamiento⁶.

$$\dot{Q}_{conv} = h_c \times A_s (T_s - T_f) = [W]$$

donde:

h_c es el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire, $6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

A_s es el área superficial de transferencia de calor, Área policarbonato es igual a:

$$A_s = 197,34 \text{ m}^2$$

T_f es la temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, 18°C .

T_s es la temperatura de la superficie, 40°C .

Remplazando los datos en la ecuación de la velocidad de transferencia por convección tenemos que:

$$\dot{Q}_{conv} = 6 \times 197,34(40 - 18) = \mathbf{26048,9[watt]}$$

Para poder determinar la transferencia de calor total generada por la radiación y la convección sumamos sus resultados y obtenemos que:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Total} &= \dot{Q}_{rad.} + \dot{Q}_{conv} \\ \dot{Q}_{Total} &= \mathbf{16922,3 [w]} + \mathbf{26048,9[w]} \\ \dot{Q}_{Total} &= \mathbf{42971,2 [W]} \end{aligned}$$

⁶ YUNUS A. Cengel, "Transferencia De Calor", Segunda edición, Editorial Mc Graw Hill, p 335.

3.2.3. Determinación del peso de agua a evaporar.

Al encontrarse el lodo deshidratado que se evacua del filtro banda con una humedad comprendida entre el 80 y 90% es necesario evaporar esta humedad para cumplir con la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SOLIDOS NO PELIGROSOS, la misma que indica: “los semisólidos son desechos que en su composición contiene 30% sólidos y 70% de líquidos”. Para efectos de cálculos se toma la humedad más alta que en este caso es de 90%.

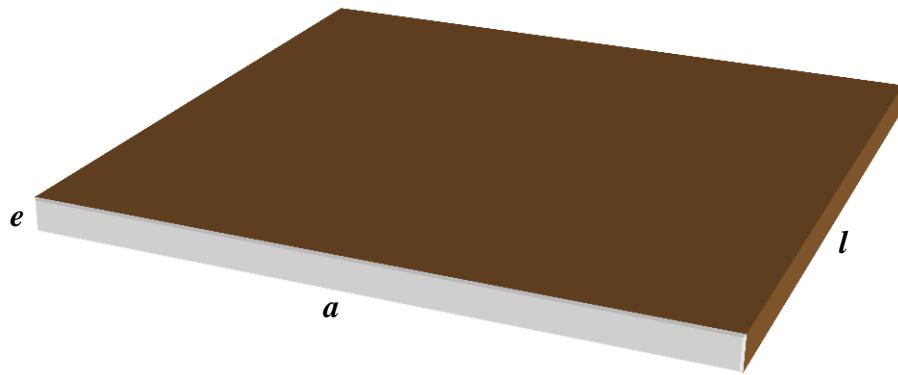


Imagen 3.26: Esquema del lodo deshidratado en el interior del invernadero.

(Fuente: El Autor)

donde:

e es el espesor del lodo a ser evaporado en el invernadero, 0,3 m.

a es la longitud transversal del lodo deshidratado, 7,5 m.

l es la longitud ocupada por el lodo deshidratado a la largo del invernadero, 22,5m.

Ahora determinamos el volumen ocupado por el lodo a secarse V_{sec} dentro del invernadero, entonces aplicamos la formula y tenemos que:

$$\begin{aligned}V_{sec} &= a \times e \times l \\V_{sec} &= 7,5[m] \times 0,3[m] \times 22,5[m] \\V_{sec} &= 50,62 [m^3]\end{aligned}$$

Se dice que el peso del agua a evaporar será la diferencia entre el peso del agua contenida en el lodo que se encuentra al 90% de humedad con el peso del agua contenida en el lodo a un 70% formulamos:

$$W_{H_2O_{evaporar}} = w_1 - w_2$$

donde:

w_1 es el peso del agua en lodo al 90% de humedad.

w_2 es el peso del agua en lodo al 70% de humedad.

Se procede al cálculo de los pesos w_1 y w_2 basándose en la ecuación que determina el porcentaje de humedad en sustancias semisólidas, según el Standard Methods for the Examination of water and Wastewater dice que:.

$$w_1 = \left(\frac{100 + H_{Bo}}{100} \right) \times w$$

$$w_2 = \left(\frac{100 + H_{Bf}}{100} \right) \times w$$

donde:

H_B es el porcentaje de humedad inicial y final de los desechos, 90% y 70% respectivamente.

w es el volumen de lodo con menor cantidad de humedad determinado en el laboratorio multiplicado por su densidad ρ la misma que también se determino obteniendo un valor de **961,15 kg/m³**, para poder calcular este volumen se concluyo en el laboratorio que el lodo puede perder hasta el 85% de su volumen por consiguiente tenemos que:

$$w = (0,15 \times V_{sec}) \times \rho$$

$$w = (0,15 \times 50,62m^3) \times 961,15 \frac{\text{kg}}{m^3}$$

$$w = \mathbf{7298,01 \text{ kg}}$$

Remplazamos en w_1 y w_2 .

$$w_1 = \left(\frac{100 + 90}{100}\right) \times 7298,01 \text{ kg}$$

$$w_1 = \mathbf{13866,2 \text{ kg}}$$

y

$$w_2 = \left(\frac{100 + 70}{100}\right) \times 7298,01 \text{ kg}$$

$$w_2 = \mathbf{12406,6 \text{ kg}}$$

Determinado w_1 y w_2 aplicamos en la fórmula para obtener el peso del agua a extraer entonces tenemos que:

$$W_{H_2O_{evaporar}} = 13866,2 \text{ kg} - 12406,6 \text{ kg}$$

$$W_{H_2O_{evaporar}} = \mathbf{1459 \text{ kg de agua a evaporar}}$$

3.2.4. Determinación de la energía necesaria para evaporar el excedente de agua.

El aire del interior del invernadero al estar en contacto con el lodo absorbe agua del mismo, lo cual poco a poco hace que este se sature, esto nos indica que se debe asegurar que el aire que antes de salir del interior del invernadero tenga la potencia necesaria para absorber hasta el último instante. Las necesidades térmicas para evaporar 1 kg. de agua a partir de una temperatura de 20°C son 20 kcal., sin embargo en la práctica este valor depende de la eficiencia de cada tipo de secador y de la radiación solar, como término medio se puede considerar un consumo de unas 750 kcal/kg. de agua evaporada, cuando la radiación solar es de 1000 W/m², en experimentos realizados con modelos de

invernaderos de secado de lodo se ha determinado que es necesario un $Q = 1420$ kcal/kg de agua evaporada, esto sucede cuando la radiación solar oscila entre 500 a 1000 W/m².

Teniendo en cuenta el peso del agua que se necesita evaporar en base a la humedad inicial y final se dice que la energía necesaria para evaporar será:

$$Q_{evap} = Q \times W_{H_2O_{evaporar}}$$

$$Q_{evap} = 1420 \frac{kcal}{kgH_2O} \times 1459 kgH_2O$$

$$Q_{evap} = 2071780 kcal \Rightarrow \mathbf{2403264,8 [W]}$$

3.2.5. Determinación del tiempo de secado del lodo.

Al momento de secado del lodo el aire pasa por tres etapas, la primera cuando se encuentra en estado atmosférico, una vez que ingresa al invernadero aumenta su capacidad de absorber la humedad con la variación de la temperatura emitida por el sol este es el segundo estado, circula en el interior del recinto hasta llegar a su máxima capacidad de absorción (saturación) considerado como el ultimo estado, al mismo tiempo que disminuye la temperatura, luego de estas tres etapas es evacuado por ventiladores para iniciar nuevamente el ciclo de secado. Considerando este principio se analiza el tiempo de secado del lodo.

La determinación del tiempo de secado del lodo va a depender básicamente de las condiciones climatológicas (temperatura), de la humedad del lodo (inicial y final), de la remoción del aire que se encuentra en contacto con el lodo (flujo másico), para poder determinar de manera exacta los tiempos de secado y las temperaturas ideales se recomienda analizar en un prototipo de secado, e incrementar elementos de medición como: termómetros, un pirómetro Eppley para medir la radiación solar, sensores de humedad y velocidad de aire.

En nuestro caso hemos determinado el tiempo de secado en base al calor necesario para evaporar cierta cantidad de agua con la finalidad de llegar a obtener el 70% de humedad, en el caso de este análisis se tomó en cuenta las horas en las que hay mayor emisión de sol las mismas que fueron entre la 11H00 y las 16H00, por lo tanto se toma como 5 horas diarias de emisión solar.

$$t_{\text{secado}} = \frac{Q_{\text{evap}}}{\# \text{ horas de mayor emisión solar} \times \dot{Q}_{\text{Total}}}$$

$$t_{\text{secado}} = \frac{2403264,8[W]}{5 \times 42971,2 [W]}$$

$$t_{\text{secado}} = 11,18 \text{ dias} \approx 11 \text{ dias}$$

3.2.6. Determinación del flujo másico de aire que está en contacto con el lodo.

En este análisis se pretende determinar cuál es la cantidad de flujo másico \dot{m}_{aire} necesaria para extraer la humedad del lodo mediante la teoría de conservación de masa, para conocer este valor se parte de una hipótesis, el calor de vaporización ganado por el lodo (\dot{Q}_w) es igual al producto del calor cedido por el aire y por la eficiencia del secado η_s por lo tanto formulamos:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_w &= \eta_s \times \dot{Q}_{\text{atm}} \\ \dot{m}_w \times (Cp_w \times \Delta T_w + h_{fg}) &= \eta_s \times \dot{m}_{\text{aire}} \times Cp_{\text{aire}} \times \Delta T_{\text{aire}} \end{aligned}$$

Esta ecuación representa el calor de vaporización ganado por el lodo, despejando \dot{m}_{aire} tenemos:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \frac{\dot{m}_w \times (Cp_w \times \Delta T_w + h_{fg})}{\eta_s \times Cp_{\text{aire}} \times \Delta T_{\text{aire}}}$$

donde:

Cp_w Calor específico del vapor de agua

ΔT_w Cambio de temperatura que experimenta el lodo en la etapa de secado

h_{fg} Entalpia de vaporización del agua

Cp_{aire} Calor específico del aire atmosférico

ΔT_{aire} Cambio de temperatura que experimenta el aire en la etapa de secado.

m_w Es igual a la masa de agua extraída del lodo en un período de tiempo.

La masa de agua extraída del lodo es:

$$m_w = \frac{w}{t_{secado}} (H_{Bo} - H_{Bf})$$

$H_{Bo} - H_{Bf}$ son las humedades del lodo inicial y final respectivamente, remplazando en la ecuación de flujo másico \dot{m}_{aire} se tiene:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{w \times (H_{Bo} - H_{Bf}) \times (Cp_w \times \Delta T_w + h_{fg})}{t_{secado} \times n_s \times Cp_{aire} \times \Delta T_{aire}}$$

Del libro de “Termodinámica de Cengel” revisamos la tabla de calores específicos de gas ideal de varios gases y se determino (**Anexo 3.4**):

PROPIEDADES DEL AIRE SECO Y HUMEDO				
HUMEDAD		$\Delta T(^{\circ}C)$		Calor Especifico Cp
$H_{inicial}$	90	ΔT_w	40	1,87(kJ/kg $^{\circ}C$)
H_{final}	70	ΔT_{aire}	18	1,005(kJ/kg $^{\circ}C$)

Tabla 3.6: Propiedades Termodinámicas del aire seco y húmedo.
(Fuente: El Autor)

Para determinar la entalpia nos dirigimos al diagrama psicrométrico en la dirección (www.emersonclimatemexico.com/mt/mt_cap_13pdf) (**Anexos 3.5**), y determinamos con la temperatura de vaporización igual a 40 $^{\circ}C$, lo que resulta una entalpia de:

$$h_{fg} = 13,9620 \frac{kcal}{kg} \Rightarrow 58,437 \frac{kJ}{kg}$$

Una vez determinados los valores correspondientes a la fórmula del flujo másico se sustituye y se tiene:

$$\dot{m}_{aire} = \frac{7298,01[kg] \times (90 - 70) \times \left(1,87 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right] \times 40[^{\circ}C] + 58,437 \left[\frac{kJ}{kg}\right]\right)}{(11_{días} \times 5_{horas}) \times 0,55 \times 1,005 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right] \times 18[^{\circ}C]}$$

$$\dot{m}_{aire} = 35538,2 \left[\frac{kg}{h}\right]$$

Este valor utilizaremos luego para escoger el ventilador que se encargara de extraer el aire saturado del invernadero.

Para calcular el flujo volumétrico se utilizara el peso específico del aire de la ciudad de Cuenca, la densidad en condiciones estándares es determinado por la Agencia Civil Espacial Ecuatoriana (EXA), la misma que indica un valor de $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Se sabe que el peso específico del aire es el inverso de su densidad, por lo tanto el flujo volumétrico del aire será:

$$q_{Aire} = \dot{m}_{Aire} \times \gamma$$

$$q_{Aire} = 35538,2 \left[\frac{kg}{h}\right] \times \frac{1}{1,2 \frac{kg}{m^3}}$$

$$q_{Aire} = 29615,2 \left[\frac{m^3}{h}\right]$$

3.2.7. Selección de ventiladores para el invernadero.

Al ser evidente que el aire que se encuentra en el interior del invernadero se va a saturar conforme vaya transfiriendo calor hacia el lodo, es necesario implementar un sistema de ventilación forzada, lo que nos asegura que el nuevo aire que ingrese continúe con la extracción de humedad del biosólido, se dice que los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores extractores, en la que

se extrae aire caliente del invernadero, y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior, pero su control es más preciso que el que se logra con la ventilación pasiva.

Para tener una mejor distribución del aire se divide en seis el flujo volumétrico con la finalidad de emplear seis ventiladores los mismos que se encontraran ubicados en la parte lateral del invernadero por lo tanto cada ventilador tendrá que extraer 4935 [m³/h].

Con el catalogo de ventiladores axiales de OTAM (*Anexo 3.6*) se determino seis ventiladores del modelo 315 y 1 HP, cada ventilador tiene un flujo volumétrico de 4935 [m³/h].

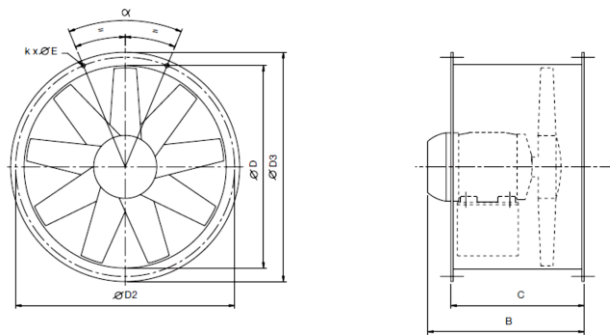


Imagen 3.26: Ventilador axial Modelo 315.

TAMAÑO	CARCASA DEL MOTOR	PESO S/MOTOR (kgf)	B	C	ØD	ØD2	ØD3	k x Ø E	α
315	63	7,5	281	224	315	358	382	8 x Ø 9	45°
	71	7,5	306	224					

Tabla3.7: Dimensiones del ventilador.
(Fuente: Catalogo de ventiladores OTAM)

3.2.8. Determinación de la velocidad del aire de los ventiladores.

Es importante determinar esta velocidad debido a que la velocidad ideal en estos sistemas de secado está en un promedio de 1 y 3 m³/s, por lo tanto el flujo volumétrico por segundo que cada ventilador proporciona es:

$$\dot{v} = 4935 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600seg}$$

$$\dot{v} = 1,37 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

La velocidad del aire caliente que va a circular dentro del invernadero está en función del flujo volumétrico y del área transversal (A_{trans}) que dicho flujo deberá atravesar, tomando en cuenta esta hipótesis formulamos:

$$v_{Aire} = \dot{v} \times A_{trans}$$

$$v_{Aire} = 1,37 \left[\frac{m^3}{s} \right] \times 6 \left(\frac{D^2 \times \pi}{4} \right)$$

$$v_{Aire} = 1,37 \left[\frac{m^3}{s} \right] \times 6 \left(\frac{0,4^2 \times \pi}{4} \right)$$

$$v_{Aire} = 1,03 \left[\frac{m}{s} \right]$$

3.2.9. Determinación del tiempo de permanencia del aire húmedo en el interior del invernadero.

Este punto es indispensable, de ello depende el secado, debido a que el aire que se encuentra en contacto con el lodo absorbe humedad y con relación al tiempo el mismo tiende a saturarse (perder capacidad de absorber humedad del lodo), previo a la saturación, el aire tiene que ser evacuado para permitir el ingreso del nuevo aire seco, este proceso se repetirá hasta adoptar la humedad necesaria.

Para determinar este tiempo se usa el diagrama psicrométrico (*Anexo 3.7*) que nos permite determinar la humedad específica del aire en función de la humedad relativa y las temperaturas de transferencia, en este análisis fue necesario interpolar los valores de la tabla.

Humedad Relativa %		ΔT °C		Humedad específica h_e
Inicial	90	ΔT aire	18	0,0119 kgH ₂ O/kg Aire seco
Final	70	ΔT vapor	40	0,0274 kgH ₂ O/kg Aire seco

Tabla 3.8: Tabla de humedad específica
(Fuente web: Optimización del proceso de secado solar de lodos y cuantificación de metales pesados.)

La ecuación del flujo volumétrico es determinada partiendo de la misma ecuación que define su comportamiento:

$$h_2 - h_1 = \frac{q_{ah}}{q_{Aire}}$$

$$q_{ah} = q_{Aire} \times (h_2 - h_1)$$

$$q_{ah} = 29615,2 \left[\frac{m^3}{h} \right] \times (0,0274 - 0,0119) \frac{kg_{H_2O}}{kg_{Aire\ Seco}}$$

$$q_{ah} = 459,036 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Es necesario determinar el volumen del aire húmedo dentro del invernadero, de acuerdo a la geometría, dimensionamiento del invernadero y restando el volumen del lodo ocupado tenemos que el volumen del aire húmedo es:

$$V_{aire\ humedo} = V_{invernadero} - V_{lodo}$$

$$V_{aire\ humedo} = \left[(8 * 3,38) + \left(\frac{8 * 1,57}{2} \right) * 23 \right] - (23 * 8 * 0,3)$$

$$V_{aire\ humedo} = 711,16 m^3$$

Por lo tanto el tiempo que el aire va a estar dentro del invernadero previo a su saturación será de:

$$t = \frac{V_{Aire_{hum}}}{\dot{q}_{ah}}$$

$$t = \frac{711,16[m^3]}{459,036 \left[\frac{m^3}{h} \right]}$$

$$t = 1,549[h] \approx \mathbf{1,5[h]}$$

3.2.10. Determinación del tiempo de renovación del aire seco al interior del invernadero.

Este tiempo es importante debido a que si la renovación del aire hacia el invernadero es demasiado prolongado este tendiese a enfriarse en su interior, por lo que provocaría un consumo extra de energía para volver a calentar el mismo y llegar a la estabilidad del ciclo de evaporación, para cumplir con este fin se pretende colocar cuatro ventilas en la parte lateral inferior simétricamente contraria a la de los ventiladores de extracción, las mismas que tienen una dimensión de 30cm de ancho y 20 de alto y deberán abrirse todas al mismo instante.

El tiempo de renovación está en función del área de las ventilas y de la velocidad de viento en la zona, la misma que al estar en una zona alta (2900msnm) las velocidades del viento varían de 39 a 61 km/h según Sir Francis Beaufort, de acuerdo a esto se ha tomado la velocidad más baja (39km/h = 10,83m/s) debido a que esta predomina la mayor parte del año, por ello se recomienda disponer de un medidor de velocidad para poder determinar el tiempo exacto de renovación.

Área de las ventilas:

$$A_{Ventilas} = 4\{0,30[m] \times 0,20[m]\}$$

$$A_{Ventilas} = 0,24[m^2]$$

El caudal de renovación va a ser igual a la velocidad del viento en (m/s) por el área transversal por donde van a ingresar entonces tenemos:

$$\dot{q}_{renovación} = v_{viento} \times A_{Ventilas}$$

$$\dot{q}_{renovación} = 10,83 \left[\frac{m}{s} \right] \times 0,24[m^2]$$

$$\dot{q}_{renovación} = 2,59 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

El volumen de renovación va a ser igual al volumen de extracción (volumen del invernadero) 711,16 m³ dividido para el flujo volumétrico de renovación por lo tanto se tiene que:

$$t_{renovación} = \frac{V_{invernadero}}{\dot{q}_{renovación}}$$

$$t_{renovación} = \frac{711,16[m^3]}{2,59 \left[\frac{m^3}{s} \right]}$$

$$t_{renovación} = 274,58[s] = [4, 5min]$$

3.3. Diseño del sistema de distribución, volteo y transporte del lodo deshidratado en el interior del invernadero.

Este es un mecanismo que consta de elementos mecánicos diseñados por el autor, con la finalidad de distribuir, voltear y transportar el lodo que es deshidratado dentro del edificio de fangos, a continuación se analizara cada elemento y el objetivo del mismo.

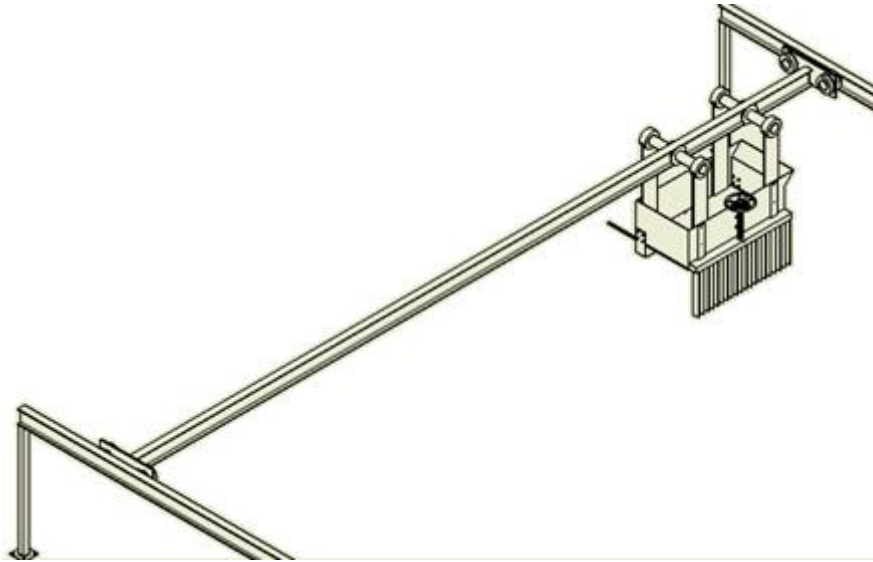


Imagen 3.27: Conjunto del sistema de distribución, volteo y transporte de lodo.

3.3.1. Diseño del Distribuidor.

Este mecanismo se encarga de recibir el lodo deshidratado de la banda transportadora, cumple la función de una tolva de almacenamiento momentáneo con un periodo aproximado de 6 min y con una capacidad de $0,165\text{m}^3$, la tolva consta de una estructura de ángulo de $25 \times 3 \text{ mm}$ y la superficie es de plancha tol inoxidable de 2mm de espesor, la compuerta o base de la tolva es de tol de 4mm inoxidable 304, esta elección se dio debido a que el lodo contiene sulfato de aluminio lo que provoca corrosión en el metal, este material tiene un esfuerzo $f_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$, el lodo que se va a depositar en la tolva se encuentra entre un 80 y 90% de humedad con una densidad promedio ρ de $1423,29\text{kg/m}^3$. Esta tolva dispone de dos movimientos, transversal y longitudinal con respecto al invernadero, la guía de estos movimientos será un perfil IPE de 22m de largo y 7,5m de ancho, las misma que deben tener la capacidad de soportar el peso del mecanismo cuando está en funcionamiento, a mas la tolva dispone de una compuerta que permite el vaciado de la misma.

Dimensiones y cálculo de la fuerza generada por la tolva y el lodo.

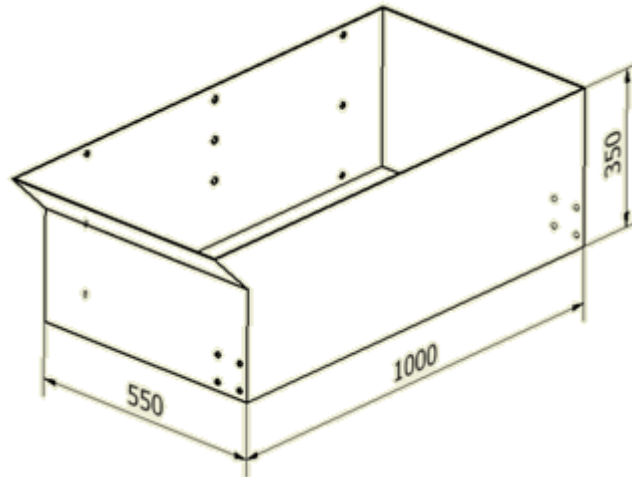


Imagen 3.28: Diseño y dimensiones de la tolva.

- **Determinación de la fuerza generada por el lodo sobre la tolva.**

$$P_l = \rho \times V_t$$

Donde:

P_l fuerza del lodo kg

V_t volumen del lodo m^3

ρ densidad del lodo deshidratado promedio $1423,29kg/m^3$ por lo tanto:

$$P_l = 1423,29 \frac{kg}{m^3} \times 0,165m^3$$

$$P_l = 234,84kg$$

Con esta fuerza es necesario verificar si el tol con el que se construirá la tolva soporta el esfuerzo generado por el lodo, sabiendo que la base de la tolva es de 55cm de ancho (a) por 100cm de largo (l) calculamos el área:

$$A = a \times l$$

$$A = 55cm \times 100cm$$

$$A = 5500\text{cm}^2$$

Esta área es necesaria para determinar el esfuerzo generado por el lodo (f_l) sobre la base de la tolva:

$$f_l = \frac{P_l}{A}$$
$$f_l = \frac{234,84\text{kg}}{5500\text{cm}^2} = 0.043 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Para cumplir la condición que indica que el tol seleccionado es el adecuado se dice que:

$$f_y \geq f_l$$
$$2500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \geq 0.043 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- **Determinar la fuerza generada por la tolva.**

Para determinar esta fuerza es necesario conocer la fuerza generada por cada elemento que constituye la tolva por lo tanto formulamos:

$$P_t = p_e + p_p$$

Donde:

P_t es la fuerza generada por la tolva, kg.

p_e es la fuerza generada por la estructura de la tolva.

p_p es la fuerza generada por el tol de la tolva.

$$p_e = (w_a \times l_a) + (w_c \times l_c)$$

w_a es el peso del ángulo de 25 x 3 mm, en el catalogo de la Dipac este material tiene un peso de 1,06 kg/m .

l es la longitud del material utilizado.

w_c es el peso de la guía de la compuerta base de la tolva este canal será formado de una varilla cuadrada lisa de ½ pulgada la misma que tiene un peso de 0,95 kg/m.

Por lo tanto obtenemos una fuerza de:

$$p_e = \left(1,06 \frac{kg}{m} \times (0,35 \times 4)m\right) + \left(0,95 \frac{kg}{m} \times (0,85 \times 2)m\right)$$

$$p_e = 3,09kg$$

$$p_p = (w_{tol} \times A) + (w_{comp} \times A)$$

w_{tol} es el peso del tol inoxidable que constituye la periferia de la tolva el mismo que se trata de un tol de 2mm de espesor, Dipac indica que el material elegido tiene un peso de 15,70 kg/m².

A es el área del material utilizado.

w_{comp} es el peso de la compuerta o base de la tolva este es un tol de 4mm de espesor la Dipac indica que el peso es de 31,4 kg/m².

Entonces:

$$p_p = \left\{15,70 \frac{kg}{m^2} \times [0,55 \times 0,35 \times 2 + 1 \times 0,35 \times 2]m^2\right\} + \left(31,4 \frac{kg}{m^2} \times (0,55 \times 1)m^2\right)$$

$$p_p = 34,30kg$$

Remplazando en la formula que permite determinar la fuerza genera por la tolva se obtiene que:

$$P_t = 3,09kg + 34,30kg$$

$$P_t = 37,40kg$$

Sumando con la fuerza generada por el lodo se dice que la fuerza de la tolva cargada con el lodo deshidratado es de:

$$P_{tolva\ cargada} = P_l + P_t$$

$$P_{tolva\ cargada} = 234,84kg + 37,40kg$$

$$P_{tolva\ cargada} = 272,24kg$$

3.3.2. Diseño del Sistema de descarga de la tolva.

La tolva dispone de una compuerta inferior, el accionamiento de esta se lo realizara mediante un movimiento lineal proporcionado por un mecanismo piñón cremallera.

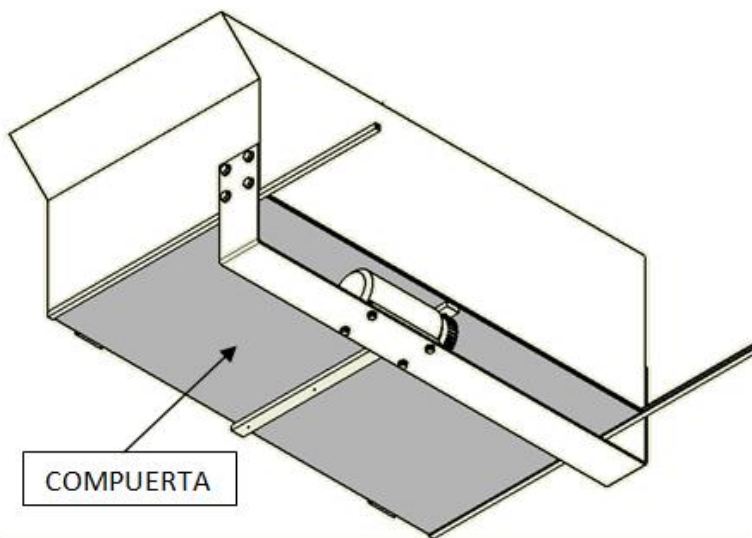


Imagen 3.29: Compuerta de la tolva.

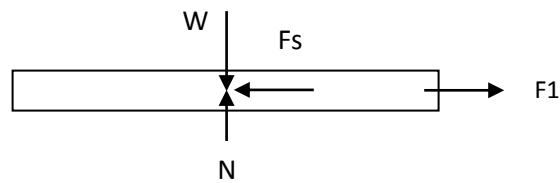
- **Diseño del accionamiento.**⁷

En este sistema va a incluir el peso del lodo y el peso de la placa base, el peso del lodo es de 234,84 kg, con las dimensiones de la compuerta se a determinado que su peso es de 17,26kg, a mas de esto se considero el peso que genera la cremallera el mismo que se sugiere 3 kg para este tipo de sistema, sumando los pesos detallados anteriormente se obtiene un peso total de 255,1kg.

Fuerza necesaria para desplazar la compuerta considerando la fricción del lodo y del acero:

⁷ www.Catarina.udla.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/lbarra_f_f/capitulo6.pdf.

Diagrama de cuerpo libre.



donde:

W es la fuerza del lodo

N es la fuerza normal perpendicular a F_1

F_1 es la fuerza necesaria para abrir la compuerta

F_s fuerza de fricción estática

$$F_s = u_s \times N$$

u_s es el coeficiente de fricción entre el acero y el lodo 0,8

$$\sum F_x = 0$$

$$F_1 - F_s = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

Despejando y sustituyendo:

$$N = W = 255,1kg \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$N = 2502,53[N]$$

$$F_1 = F_s = u_s \times N$$

$$F_1 = 0,8 \times 2502,53[N]$$

$$F_1 = 2002,02[N]$$

La fuerza necesaria para abrir la compuerta es:

$$F_T = F_1$$
$$F_T = 2002,02[N]$$

❖ Determinación del radio del piñón (r)

$$r = \frac{57,296 \times l}{\alpha}$$

donde:

l es la longitud que se va a trasladarse la compuerta 560mm

α es el ángulo que va a dar el piñón en este análisis se ha impuesto un ángulo de 720° prácticamente dos vueltas tendrá que girar el piñón.

$$r = \frac{57,296 \times 560}{720}$$

$$r = 44,56 \text{ por lo tanto } d = 89,12\text{mm}$$

Para continuar con el cálculo es necesario imponerse de acuerdo a la experiencia del diseñador:

z numero de dientes del piñón 20

m modulo 4mm, con esto determinamos las medidas necesarias para la construcción del sistema.

- Diámetro primitivo

$$D_p = M \times Z$$

$$D_p = 4 \times 20$$

$$D_p = 80\text{mm}$$

- Diametral pitch

$$Pd = \frac{Z}{Dp}$$

$$Pd = \frac{20}{80}$$

$$Pd = 0,25$$

- Adendum

$$a = \frac{1}{Pd} = \frac{1}{0,25}$$

$$a = 4mm$$

- Dedendum

$$b = \frac{1,157}{Pd}$$

$$b = 4,62mm$$

- Altura del diente

$$h = 2,166 \times M$$

$$h = 2,166 \times 4$$

$$h = 8,6mm$$

- Diámetro exterior

$$De = Dp + 2M$$

$$De = 80 + 2 \times (4)$$

$$De = 88mm$$

- Paso circular

$$Pc = \pi \times M$$

$$Pc = \pi \times 4$$

$$Pc = 12,56mm$$

- Ancho del diente

$$S = \frac{Pc \times 19}{40}$$

$$S = \frac{12,56 \times 19}{40}$$

$$S = 5,96mm$$

Velocidad de traslación.- la velocidad de giro del piñón N y la velocidad lineal de la cremallera V depende de dos factores: el numero de dientes del piñón Z y el numero de dientes por centímetro de la cremallera n , la velocidad de giro del piñón no debe ser elevada ya que es un sistema con una carrera corta por lo tanto N se recomienda de 4 rpm y n depende del paso del sistema en este caso se determino que n es 0,8.

Por cada vuelta completa del piñón la cremallera se desplazara avanzando tantos dientes como tenga el piñón, por lo tanto se desplazara una distancia de:

$$d = \frac{z}{n}$$

$$d = \frac{20}{0,8} = 25\text{cm}$$

Y la velocidad de desplazamiento será:

$$V = N \times d$$

$$V = 12 \times 25$$

$$V = 300 \text{ cm por minuto}$$

Es decir que se desplazara con una velocidad de 5cm por segundo por lo tanto la compuerta se abre en 11,2 s.

La potencia necesaria para abrir la compuerta es el producto de la fuerza total F_t por el radio exterior del piñón r por lo tanto obtenemos una potencia de:

$$P = F_t \times r$$

$$P = 2002,02[N] \times 0,044[m]$$

$$P = 88,08[N \times m]$$

3.3.3. Diseño del Volteador de lodo.

Este mecanismo tiene la finalidad de extender el lodo que ha sido distribuido y su principal objetivo es el de voltear o remover el lodo con el propósito de que este vaya perdiendo humedad hasta cumplir con la norma que regula los semisólidos, este mecanismo se ha diseñado basándose en el principio de arado de tierra, el mismo que constara de 20 plaquetas inclinadas y equidistantes con una longitud de 0,41m como indica la figura a continuación.

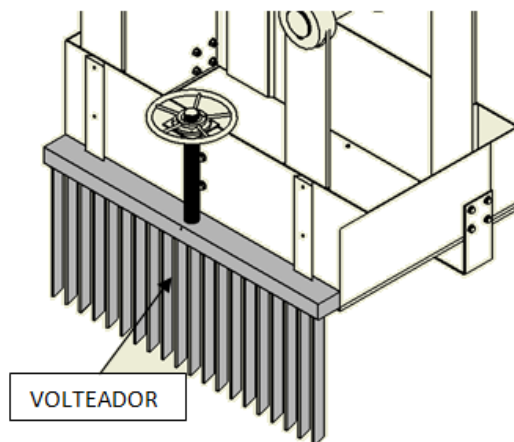


Imagen 3.30: Esquema del volteador de lodo.

Este volteador funciona luego que ha sido distribuido el lodo, se ha determinado experimentalmente que es necesario voltear entre 1 y 2 veces al día el lodo, la mayor parte de plantas potabilizadoras y plantas de aguas residuales que disponen de este sistema de secado voltean el lodo al inicio del día para aprovechar de mejor manera la radiación solar.

El dispositivo a más de tener movimiento longitudinal y transversal se puede mover en el eje Z en relación al invernadero con la finalidad de no obstaculizar el proceso de distribución, para generar este movimiento se utilizo un tornillo sin fin y un volante manual.

- **Fuerza vertical generada por las placas.**

Es la sumatoria de la fuerza vertical generada por la guía de las plaquetas y las plaquetas.

$$p_{\text{plaquetas}} = (w_{\text{placa}} \times l \times n_{\text{placas}}) + (w_{\text{guia}})$$

donde:

w_{placa} es el peso de la placa, se trata de una platina de 50mm de ancho con un espesor de 6mm, en el catalogo de la Dipac el peso de esta platina es de 2,26 kg/m.

l es la longitud del material utilizado.

n_{placas} numero de placas, para este diseño se ha considerado 20 placas.

w_{guia} es el peso de la guía, esta tiene forma de cola de milano. Este elemento tiene un peso aproximado de 31,72kg según su geometría, la densidad del acero inoxidable 304 es 7930kg/m³.

$$p_{\text{plaquetas}} = \left(2,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0,41\text{m} \times 20 \right) + (31,72\text{kg})$$

$$p_{\text{plaquetas}} = 50,25\text{kg}$$

- **Calculo de la plaqueta volteadora.**

Son las placas que van a estar en contacto con el lodo, la disposición de estas placas genera un arado de cincel rígido, este tipo de labrado permite destruir las capas compactas permitiendo la aireación del lodo que se encuentra bajo la superficie. Este mecanismo de arado permite labrar a gran profundidad y a velocidades altas, el arado con cincel rígido requiere de una potencia menor en relación con elementos similares de arado lo que permite que los esfuerzos generados por el puente grúa sea menor. El análisis de este tipo de arado indica que se debe cumplir con la siguiente condición; el diseño fue realizado basado en la referencia:⁸

$$\sigma_{max} \geq \tau_{max}$$

Que el esfuerzo máximo del material debe ser mayor o igual que el esfuerzo máximo de desplazamiento.

Al analizar la cuchilla de arado con respecto al suelo se determinara el máximo esfuerzo de desplazamiento con la siguiente igualdad:

$$\tau_{max} = C_{\alpha} + \sigma \tan \alpha$$

donde:

τ_{max} máximo esfuerzo de desplazamiento kg/cm^2 .

C_{α} adhesión suelo meta, este coeficiente está entre 0,1 y 0,3 kg/cm^2 para suelos húmedos.

σ esfuerzo normal realizado por las cuchillas oscila entre 0,62 a 0,65 kg/cm^2 .

α ángulo de fricción entre el suelo y el metal está comprendido entre 5 a 15° en este análisis se ha dispuesto las placas con un ángulo de 15° con la finalidad de que el área de

⁸ VALAREZO BELTRAN, Alisson Vanessa, *Selección Y Optimizacion De Maquinaria Agrícola Para El Litoral Ecuatoriano, Mediante El Uso De Un Programa Computacional*, ESPOL Facultad de Ingenieria Mecanica, Guayaquil 2002

contacto metal suelo sea mayor, con lo que el volteo presentara un mejor resultado en el secado.

Remplazando:

$$\tau_{max} = 0,1 + 0,62 \tan 15$$
$$\tau_{max} = 0,2661 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinación de la fuerza de corte necesaria, para cortar el suelo:

$$Fs = Cs \times b$$

donde:

Cs es la fuerza específica de corte en kg/m, esta fuerza está entre 75 y 100 kg/m la misma que depende de las características del suelo a voltear.

b es el ancho de la cuchilla en m, en este diseño se impuso un ancho de 0,05m;

Por lo tanto la fuerza de corte remplazando en la ecuación se obtiene:

$$Fs = 100 \frac{kg}{m} \times 0,05m$$
$$Fs = 5kg$$

Con la fuerza de corte se determina los momentos generados en la cuchilla:

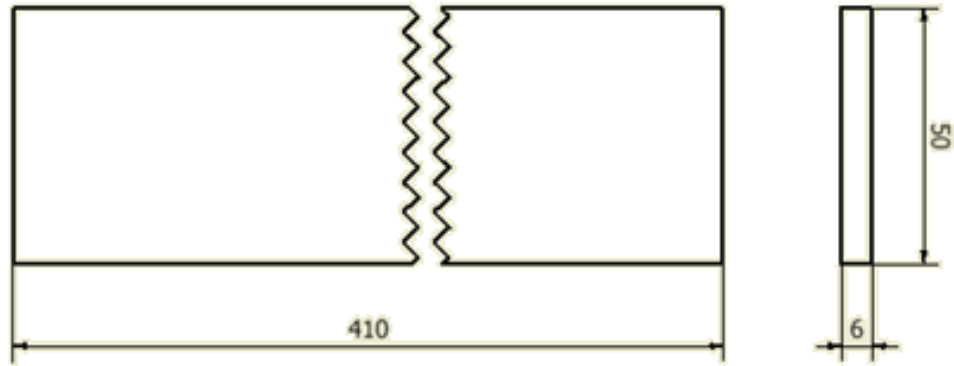


Imagen 3.31: Figura de la placas de volteo.

Se tiene dos momentos Y – Z y X – Z por lo tanto se dice que:

Momento flector en Y – Z es:

$$Mf_{yz} = F \times l$$

l es la longitud de la cuchilla 0,41m

$$Mf_{yz} = 5kg \times 0,41$$

$$Mf_{yz} = 2,05kg$$

Momento flector en X – Z es:

$$Mf_{xz} = F \times d$$

$$Mf_{xz} = 5 \times 0,005$$

$$Mf_{xz} = 0,025$$

El momento flector resultante es la raíz de la suma de los momentos hallados al cuadrado obteniendo que:

$$Mf_R = \sqrt{(Mf_{yz})^2 + (Mf_{xz})^2}$$

$$Mf_R = \sqrt{(2,05)^2 + (0,025)^2}$$

$$Mf_R = 2,05[kg \times m]$$

Esfuerzo máximo de la placa:

$$\sigma_{max} = \frac{Mf_R \times y}{I}$$

y es el ancho de volteo de las cuchillas, 0.3m

I momento de inercia de la placa de volteo

$$I = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{0,005 \times 0,41^3}{12}$$

$$I = 2,9 \times 10^{-5}m^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{2,05[kg \times m] \times 0,3m}{2,9 \times 10^{-5}m^4}$$

$$\sigma_{max} = 24720,6 \frac{kg}{m^2} = 2,47 \frac{kg}{cm^2}$$

La condición de cumplimiento es:

$$\sigma_{max} \geq \tau_{max}$$

$$2,47 \frac{kg}{cm^2} \geq 0,2661 \frac{kg}{cm^2}; \text{ cumple}$$

3.3.4. Diseño del tornillo y tuerca de Potencia.

Este análisis es necesario para determinar fuerza que se necesita aplicar en el volante para elevar y descender la carga generada por los elementos de volteo y de transporte, a la fuerza que ejerce el volteador se debe sumar la fuerza ejercida por la plancha o barredor, para este elemento se ha considerado que se utilizara una plancha de acero

inoxidable 304 de 460mm de ancho, 1000mm de largo y un espesor de 4mm según Dipac indica que una plancha con estas dimensiones pesa 31,39kg y sumando la fuerza generada por el volteador que es de 50,25kg se tiene una resultante de 64,69kg, esta es la fuerza que elevara el sistema tornillo tuerca.

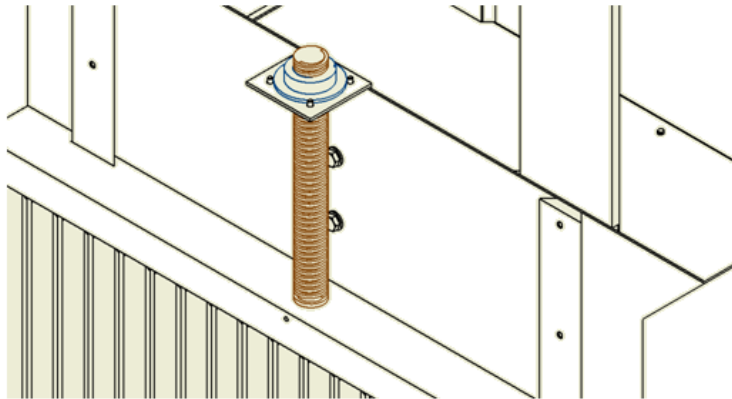


Imagen 3.32: Sistema tornillo y tuerca.

Al tener conocimiento de la fuerza de elevación se partió de un tornillo de rosca cuadrada, este tipo de rosca transmite todas las fuerzas en dirección casi paralela al eje, a veces se modifica la forma de filete cuadrado dándole una conicidad o inclinación α de 5° a los lados. Se propuso un tornillo de 40mm de diámetro (d) con un paso p de 8mm y una profundidad h de 4mm, la ecuación que indica el momento necesaria para hacer que el tornillo gire y eleve la carga es:

$$T_s = \frac{Fdm}{2} \left(\frac{L + f\pi dm}{\pi dm - fL} \right) + \frac{F \times f \times d}{2}$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica, Shigley pag.376

donde:

F es la fuerza que se pretende elevar o descender kg.

L ancho de la rosca 1,6 cm.

f es el factor de fricción entre la tuerca y tornillo, entre acero y acero el factor de fricción es de 0,18 este factor puede disminuir a 0,15 cuando está bien lubricado.

dm es el diámetro medio del tornillo viene dado por:

$$dm = d - \frac{p}{2}$$

di es el diámetro interior de la rosca 32mm, remplazando se obtiene:

$$dm = 40 - \frac{8}{2} = 36mm$$

Entonces se tiene que:

$$T_s = \frac{64,69kg \times 3,6cm}{2} \left(\frac{1,6cm + 0,18 \times \pi \times 3,6cm}{\pi \times 3,6cm - 0,18 \times 1,6cm} \right) + \frac{64,69kg \times 0,18 \times 4cm}{2}$$

$$T_s = 61,69[kg \times cm]$$

Ahora se determinar el momento necesario para descender la carga:

$$T_b = \frac{Fdm}{2} \left(\frac{f\pi dm - L}{\pi dm - fL} \right) + \frac{F \times f \times d}{2}$$

$$T_b = \frac{64,69 \times 3,6}{2} \left(\frac{0,18 \times \pi \times 3,6 - 1,6}{\pi \times 3,6 - 0,18 \times 1,6} \right) + \frac{64,69kg \times 0,18 \times 4cm}{2}$$

$$T_b = 27,89[kg \times cm]$$

Este momento puede ser positivo o negativo. Si es positivo, debe efectuarse trabajo para avanzar el tornillo. Si es negativo, el significado es que, está en equilibrio, el momento debe retardar la rotación, esto es, la carga axial aisladamente producirá rotación.

Un factor importante en el análisis acerca del torque es el ángulo de inclinación del plano, a este ángulo de inclinación se le denomina como ángulo de desplazamiento α , este es el ángulo entre la tangente a la hélice de la cuerda de la rosca y el plano transversal al eje del tornillo:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \times Dp} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0,008}{\pi \times 0,036} \right)$$

$$\alpha = 4,06$$

Al ser un tornillo de presión, la carga que está elevando por efecto de la gravedad y con un ángulo de inclinación alto tendrá a bajar, para que un tornillo de estos sea auto bloqueante tiene que cumplir la siguiente igualdad.

$$f > \tan \alpha$$

$$0,18 > 0,071$$

- **Eficiencia del tornillo de potencia.**

Es la relación entre el trabajo de salida con el trabajo de entrada y se le determina:

$$n = \frac{F \times L}{2\pi \times Tb} \times 100$$

$$n = \frac{64,49 \times 1,6}{2\pi \times 27,89} \times 100$$

$$n = 59,06\%$$

Carga generada por el conjunto sin fin.- es la sumatoria de la carga del tornillo, tuerca y el volante.

$$P_{sinfin} = p_{tornillo} + p_{tuerca} + p_{volante}$$

El tornillo está elaborado en acero de transmisión, la tuerca mientras tanto esta mecanizada en bronce y el volante facilita la manipulación de este mecanismo el mismo que ha sido diseñado con un tubo redondo de 15mm de diámetro, aproximadamente con un peso de 2,5kg. El tornillo tiene un peso de 4,5kg mientras que la tuerca pesa 0,99kg estos dos elementos son fabricados en acero inoxidable AISI 304, remplazando en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{sin\ fin}=4,5 + 0,99 + 2,5$$

$$P_{sin\ fin}=7,99kg$$

3.3.5. Diseño de las rieles transversales del mecanismo.

Es necesario conocer la fuerza W_{total} que ejerce el mecanismo de volteo, esta fuerza es la suma de fuerzas de los elementos que conforman el mecanismo multiplicado por un factor de 1.5, este factor se ha considerado tomando en cuenta la existencia de pernos y rodillos que permiten el movimiento transversal de la tolva, por lo tanto se tiene:

$$W = (P_l + P_t + P_{plaquetas} + P_{sin\ fin}) \times 1,5$$

$$W = (234,84 + 37,40 + 50,25 + 7,99) \times 1,5$$

$$W = 495,72 \cong 500[kg]$$

Se trata de una viga que será analizada a flexión y a cortante, esta viga soportara la fuerza generada por el distribuidor, esquema:

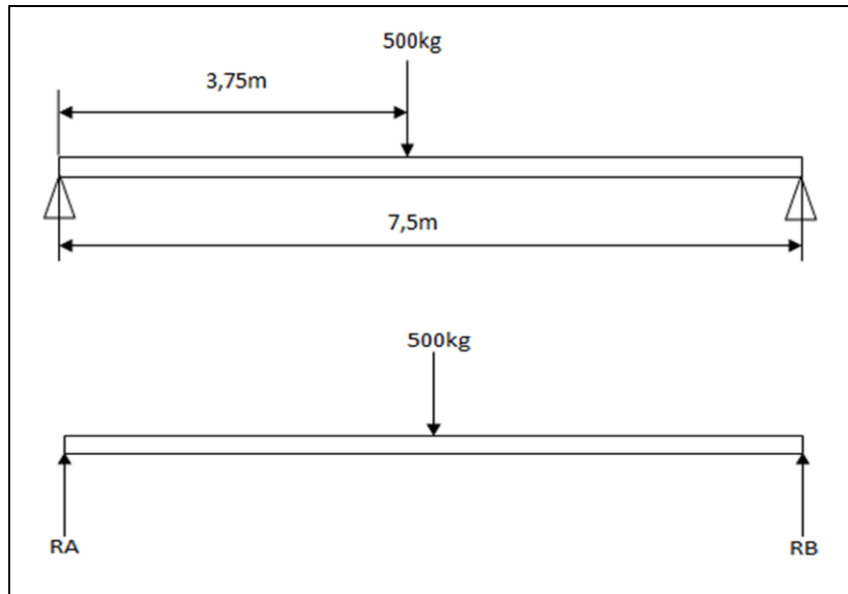


Imagen 3.33: Diagrama del puente grúa transversal.

Determinación de reacciones en la viga.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = -500 + RA + RB$$

$$\sum MA = 0$$

$$-500 \times 3,75 + RB \times 7,5 = 0$$

$$RB = 250kg$$

$$RA = 250kg$$

Al ser una carga perpendicular al eje de la viga, la misma está sometida a flexión y corte debido a ello se analizara el cortante V y el momento flector M a la que está sometida dicha viga:

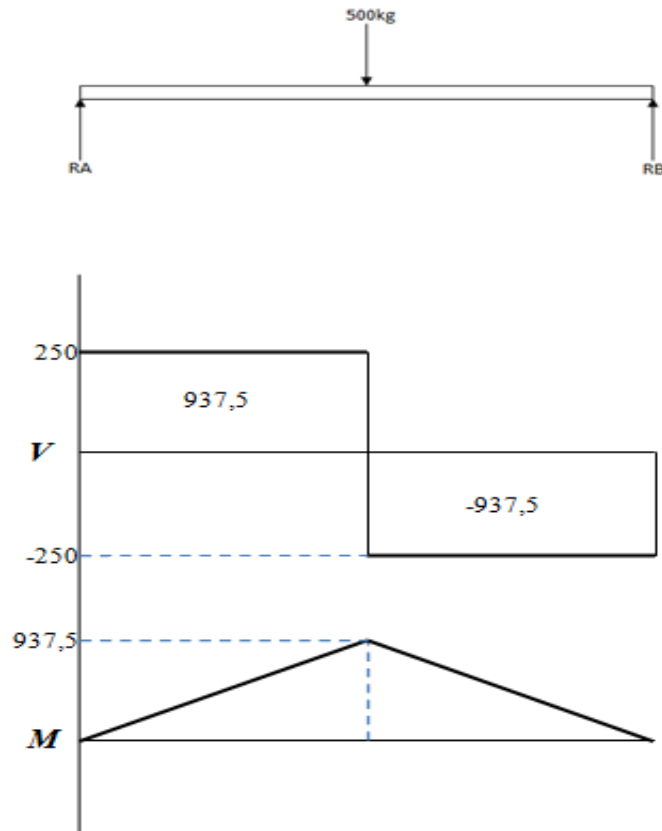


Imagen 3.34: Diagramas de Cortante y Momento Flector.

Una vez determinado el máximo momento flector ($937,5\text{ kg m}=93750\text{ kg cm}$) se determinara el modulo de sección mínimo para la viga, con este modulo de sección se elegirá un perfil del catalogo de la Dipac por lo tanto se tiene:

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{Fb}$$

Sabiendo que Fb es el esfuerzo permisible para el material a utilizar:

$$Fb = 0,6Fy \rightarrow Fy = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Reemplazando se obtiene:

$$S_{min} = \frac{93750 \text{ kg cm}}{0,6 \times 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$S_{min} = 61,75 \text{ cm}^3$$

Del catalogo de la dipac para satisfacer este modulo de sección se determino un perfil IPE de las siguientes características:

DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION cm2	PESOS kg/mt	TIPOS			
	h mm	s mm	g mm	t mm	R mm			lx cm4	ly cm4	Wx cm3	Wy cm3
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 140	140	73	4.70	6.90	7	16.40	12.90	541	44.90	77.30	12.30

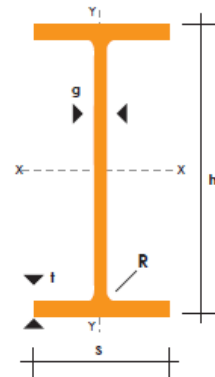


Tabla 3.9: Perfil seleccionado.

Comprobando con el peso de la viga, se tiene el valor adicional de S requerido por lo tanto:

$$\Delta S_x = \frac{w \times L^2}{8(0,6Fy)}$$

ΔS_x es el modulo de sección adicional debido al peso de la viga

w peso de la viga $12,9 \text{ kg/m} = 0,129 \text{ kg/cm}$

L longitud de la viga 750 cm

$$\Delta S_x = \frac{0,129 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times (750 \text{ cm})^2}{8(0,6 \times 2530) \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\Delta S_x = 7,59 \text{ cm}^3$$

Para determinar que la viga soportara los esfuerzos generados a flexión es necesario conocer la sección requerida, esta debe ser menor o igual a la sección del perfil elegido, por consiguiente:

$$S_{REQ} = S_{min} + \Delta S_x$$

$$S_{REQ} = 61,75cm^3 + 7,59cm^3$$

$$S_{REQ} = \mathbf{69,34cm^3} < 77,3cm^3 \text{ correcto}$$

Según la AISC para este tipo de casos deberá cumplir dos condiciones:

1. Para esfuerzos en la fibra extrema:

$$f_b = \frac{M \times c}{I} \leq F_b \rightarrow 0,6F_y \text{ (AISC)}$$

Donde:

M momento de flexión, tomado del diagrama de momentos; 9375 kg cm

c distancia del eje neutro a la fibra extrema; 7cm

I momento de inercia de la sección transversal

$$f_b = \frac{9375(kg \times cm) \times 7(cm)}{541cm^4} \leq 0,6 \times 2530 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_b = 121,3 \frac{kg}{cm^2} \leq 1518 \frac{kg}{cm^2}$$

2. Para cortante el esfuerzo cortante se determina:

$$f_v = \frac{V \times Q}{I \times t} \leq F_v \rightarrow 0,4F_y \text{ (AISC)}$$

donde:

V fuerza cortante en la sección considerada.

Q momento estático del área por encima del punto en el que se determina el esfuerzo cortante.

$$Q = A \times \bar{y}$$

A área por encima del punto en que se determina el cortante.

\bar{y} distancia del eje neutro de la sección de la viga al punto donde se desea conocer el esfuerzo.

t espesor de la viga en el punto de investigación del esfuerzo cortante.

Para este análisis se ha considerado esfuerzo cortante en el alma del perfil y en el ala inferior del mismo.

Diagrama del cortante en el alma:

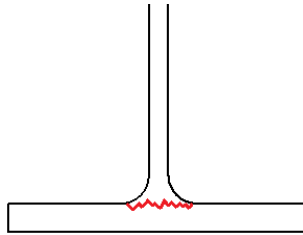


Imagen 3.35: Cortante en el alma de la viga.

Aplicando la fórmula del esfuerzo cortante se obtiene:

$$f_v = \frac{V \times A \times \bar{y}}{I \times t} \leq Fv \rightarrow 0,4Fy \text{ (AISC)}$$

$$f_v = \frac{500kg \times (7,3 \times 0,69)cm^2 \times \left(70 - \frac{0,69}{2}\right)cm}{541cm^4 \times 0,47cm} \leq 0,4 \times 2530 \frac{kg}{cm^2} \text{ (AISC)}$$

$$f_v = 6,54 \frac{kg}{cm^2} \leq 1012 \frac{kg}{cm^2} \text{ (AISC)}$$

Diagrama de cortante en el ala del perfil:

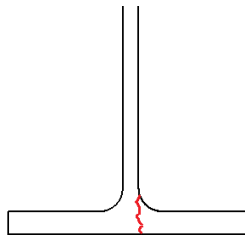


Imagen 3.35: Cortante en el ala de la viga.

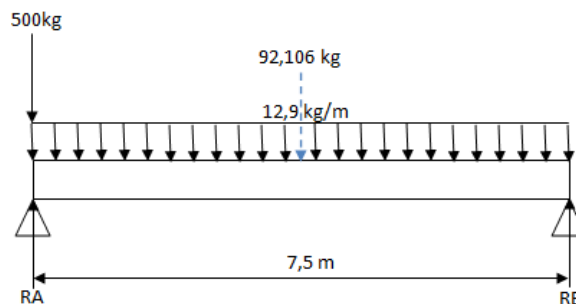
$$f_v = \frac{V \times A \times \bar{y}}{I \times t} \leq Fv \rightarrow 0,4Fy \text{ (AISC)}$$

$$f_v = \frac{250kg \times (6,83 \times 0,69)cm^2 \times \left(70 - \frac{0,69}{2}\right)cm}{541cm^4 \times 0,69cm} \leq 0,4 \times 2530 \frac{kg}{cm^2} \text{ (AISC)}$$

$$f_v = 20,98 \frac{kg}{cm^2} \leq 1012 \frac{kg}{cm^2} \text{ (AISC)}$$

3.3.6. Diseño de las rieles longitudinales del mecanismo.

La misma que permitirá que el distribuidor de lodo recorra en toda su longitud dentro del invernadero, para ello es necesario determinar la fuerza generada en la viga cuando el mecanismo de distribución se ubica sobre la viga por lo tanto se obtiene un esquema de la siguiente manera, cabe recalcar que en este análisis se considera la fuerza generada por el peso de la viga:



Resolviendo la estática de la viga se obtiene:

$$\sum M_B = 0$$

$$500kg \times 7,5m + 92,106kg \times 3,75m - RA \times 7,5 = 0$$

$$RA = 546,05kg$$

Esta reacción es la fuerza a la que va a estar sometida la viga longitudinal, esquematizando se obtiene el siguiente diagrama:

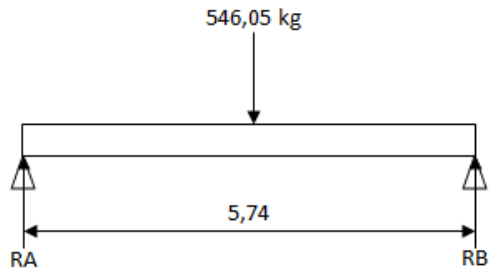


Imagen 3.36: Diagrama de la viga longitudinal.

Las reacciones del sistema serán:

$$R_A = R_B = \frac{P}{2}$$

$$R_A = R_B = \frac{546,05[kg]}{2}$$

$$R_A = R_B = 273,02[kg]$$

La viga estará expuesta a esfuerzo cortante y momento flector por ello se realiza el diagrama para determinar estos esfuerzos máximos:

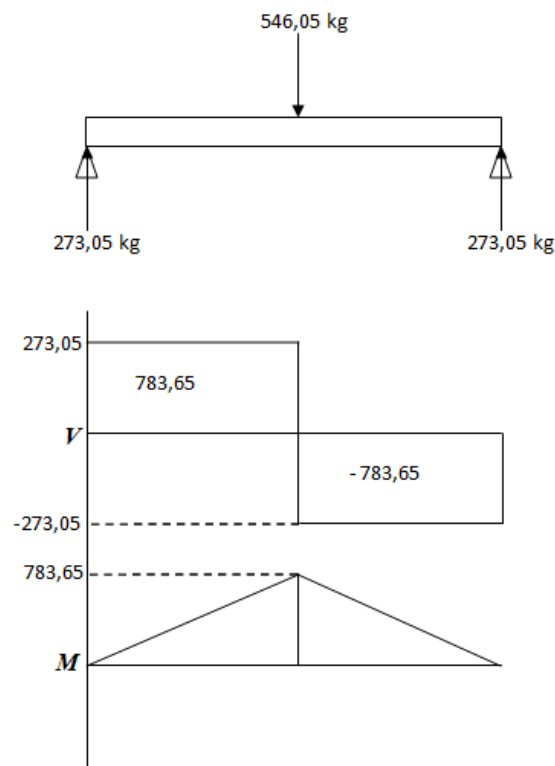


Imagen 3.37: Diagrama de cortante y momento flector.

Determinado el máximo momento flector ($783,65 \text{ kg m} = 78365 \text{ kg cm}$) el modulo de sección mínimo es:

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{Fb}$$

$$Fb = 0,6Fy \rightarrow Fy = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Remplazando se obtiene:

$$S_{min} = \frac{78365 \text{ kg cm}}{0,6 \times 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$S_{min} = 51,62 \text{ cm}^3$$

Del catalogo de la dipac para satisfacer este modulo de sección se determina un perfil IPE de las siguientes características:

DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION cm2	PESOS kg/mt	TIPOS			
	h mm	s mm	g mm	t mm	R mm			Ix cm4	Iy cm4	Wx cm3	Wy cm3
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 140	140	73	4.70	6.90	7	16.40	12.90	541	44.90	77.30	12.30

Tabla 3.10: Perfil seleccionado.

Comprobando con el peso de la viga, se tiene el valor adicional de S requerido por lo tanto:

$$\Delta S_x = \frac{w \times L^2}{8(0,6Fy)}$$

ΔS_x es el modulo de sección adicional debido al peso de la viga.

w peso de la viga $10,40 \text{ kg/m} = 0,104 \text{ kg/cm}$.

L longitud de la viga 574 cm .

$$\Delta S_x = \frac{0,104 \frac{kg}{cm} \times (574cm)^2}{8(0,6 \times 2530) \frac{kg}{cm^2}}$$

$$\Delta S_x = 2,82cm^3$$

La sección requerida, esta debe ser menor o igual a la sección del perfil elegido, por consiguiente:

$$S_{REQ} = S_{min} + \Delta S_x$$

$$S_{REQ} = 51,62cm^3 + 2,82cm^3$$

$$S_{REQ} = 54,44cm^3 > 53cm^3 \text{ incorrecto}$$

Al no cumplir con la condición se decide tomar el siguiente perfil un IPE 140 del mismo catalogo de la Dipac.

Diseño y disposición de las columnas de apoyo de la viga transversal: se ha dispuesto que existirán cinco columnas separadas entre sí a una distancia de 5,74m y con una altura de 1,175m, esta columna está sometida a compresión, el análisis de la columna debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{f_a}{F_a} \leq 1$$

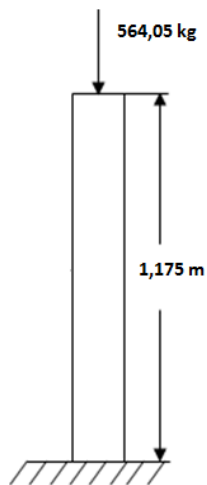


Imagen 3.38: Esquema de la columna.

Se trata de una columna que va tener rotación fija y traslación fija por ello tiene un k de 0,65.

Se ensayara con un tubo estructural de 60 x 3 con las características que se indica a continuación según el catalogo consultado.

- Inercia (I) = 35,06 cm²
- Área del perfil (A) = 6,61 cm²
- Peso (w) = 5,42 kg/m
- $F_y = 2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$ para el acero estructural A 36

Se determina la relación $\frac{k \times l}{r}$ para comparar con la relación de esbeltez C_c y determinar que formula se aplica según la AISC:

Donde:

l longitud de la columna en cm 117,5 cm

r radio mínimo de giro, dado por el perfil 2,34 cm

C_c se puede calcular pero el manual de la AISC ya da los valores para cada acero en este caso es de 126,1 para el A36.

Remplazando:

$$\frac{0,65 \times 117,5[cm]}{2,38[cm]} = 32,63$$

$$32,63 \geq 126.1$$

$$\text{si } \frac{KL}{r} \leq C_c \text{ se aplica } F_a = \frac{F_y}{1,92} \left[1 - \frac{0,5 \times (KL/r)^2}{C_c^2} \right]$$

Se tiene que:

$$F_a = \frac{2530 \frac{kg}{cm^2}}{1,92} \left[1 - \frac{0,5 \times (32,63)^2}{126,1^2} \right]$$
$$F_a = 1273,59 \frac{kg}{cm^2}$$

Teniendo el esfuerzo crítico se determina la máxima carga a la que estaría expuesta la columna previa a la deformación:

$$F_{cr} = \frac{P}{A}$$

Despejado P:

$$P = F_{cr} \times A$$
$$P = 1273,59 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \times 6,61 [cm^2]$$
$$P_{critica} = 8418,45 [kg]$$
$$fa = \frac{P}{A}$$
$$fa = \frac{564,05kg}{6,61cm^2}$$
$$fa = 82,6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Remplazando en la condición se obtiene:

$$\frac{82,6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{1273,59 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} \leq 1$$
$$0,064 \leq 1 \text{ correcto}$$

3.3.7. Diseño de la base de la columna.

La fuerza total aplicada sobre la base P_t es la suma de la fuerza de compresión aplicada y la fuerza generada por el peso de la columna $P_{columna}$:

$$P_t = P_{critica} + P_{columna}$$

Donde:

$$P_{columna} = w_{columna} \times l$$

w peso de la columna, indicado por el catalogo con el perfil de columna elegido 5,42 kg/m.

$$P_{columna} = 5,42 \frac{kg}{m} \times 1,175m$$

$$P_{columna} = 6,36[kg]$$

Remplazando;

$$P_t = 8418,45kg + 6,36kg$$

$$P_t = \mathbf{8424,82kg}$$

Con la fuerza determinada se halla el área requerida

$$A_{rea\ requerida} = \frac{P_t}{F_y}$$

$$A_{rea\ requerida} = \frac{8424,82[kg]}{2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}$$

$$A_{rea\ requerida} = 3,33[cm^2]$$

El área calculada no abastece el área de las columnas (*Área de la columna 36cm²*), es necesario imponerse una nueva dimensión para las placas, se sugieren la misma dimensión de las placas que se diseño para la columna del invernadero.

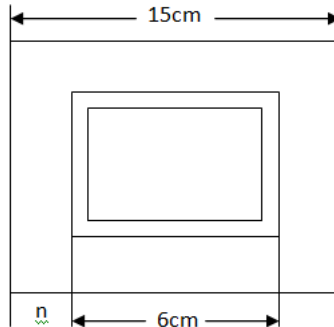


Imagen 3.39: Esquema de la placa y la columna.

Área de la nueva placa sugerida:

$$A_{\text{rea diseñada}} = 15[\text{cm}] \times 15[\text{cm}]$$

$$A_{\text{rea diseñada}} = 225[\text{cm}^2]$$

Calculo del nuevo esfuerzo al que la placa va a estar sometida:

$$F_{\text{placa}} = \frac{P_t}{A_{\text{diseño}}}$$

$$F_{\text{placa}} = \frac{8424,82[\text{kg}]}{225[\text{cm}^2]}$$

$$F_{\text{placa}} = 37,44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Es necesario determinar el espesor de la placa (*t*) la misma que está determinada por la siguiente ecuación:

$$t = \sqrt{\frac{3F_p n^2}{F_b}}$$

donde:

F_b esfuerzo admisible a flexión.

$$F_b = 0,6 \times F_y$$
$$F_b = 0,6 \times 2530 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$
$$F_b = 1518 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

n es la longitud de la franja libre entre la columna y la placa como se indica en el esquema anterior.

$$n = \frac{B - l_{columna}}{2}$$
$$n = \frac{15 - 6}{2}$$
$$n = 4,5 [cm]$$

Remplazando tenemos un espesor de placa t :

$$t = \sqrt{\frac{3 * 3,46 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * [4,5cm]^2}{1518 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}}$$
$$t = 0,37cm \approx 4mm$$

3.4. Diseño del sistema de transporte de lodo hacia el Volquete.

Una vez realizado el cuadro comparativo en el capítulo anterior y haber determinado el sistema de transporte adecuado que se va a utilizar en la evacuación del lodo alojado en el invernadero con las características indicadas por la norma, se procede a realizar el

diseño del mismo, este sistema constará de dos tornillos el primero que se encuentra al nivel del piso y otro inclinado que se encargara de cargar al volquete.

3.4.1. Diseño del tornillo sin fin horizontal.

Este tornillo tiene por objetivo transportar el lodo que es arrastrado por un barredor den el interior del invernadero.



Imagen 3.40: Tornillo sin fin.

- **Determinación del flujo del material:** este parámetro nos indica la cantidad de material y el tiempo que se necesita para evacuar el invernadero, para determinar este parámetro se siguió un procedimiento de un proveedor de tornillos sin fin (Dismet)

Se determina el área del relleno del canalón S, este canalón le acoge al tornillo como indica la figura.

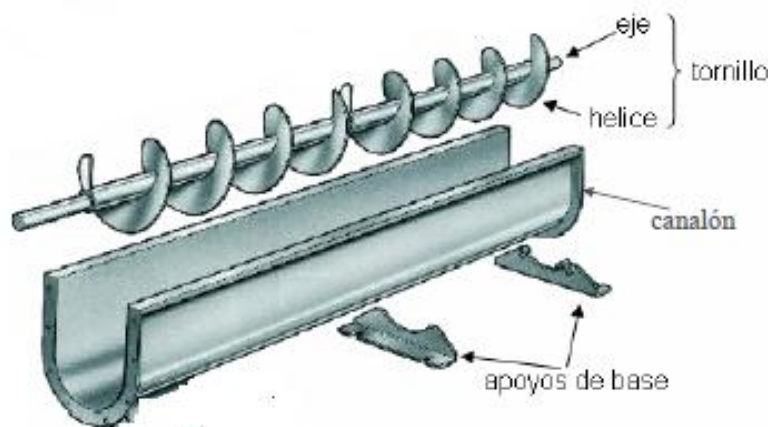


Imagen 3.41: Esquema del tornillo y canalón.

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

donde:

λ es el coeficiente de relleno de la sección depende del tipo de carga de la misma, (menor que la unidad para evitar amontonamiento).

Tipo de carga	λ
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

Tabla 3.11: Coeficiente de relleno de la sección para algunos tipos de carga.
(Fuente: Dismet)

Se consulto al proveedor de tornillos el mismo que sugiere un tipo de carga ligera poco abrasiva, de acuerdo al origen del mismo (solo materia orgánica).

D diámetro del tornillo sin fin 9 in = 0,228 m.

Para determinar el diámetro del tornillo se analiza las dos consideraciones en función al tipo de material; indica el procedimiento:

1. El diámetro del tornillo debe ser 12 veces mayor que el diámetro de los pedazos a transportar cuando se trata de un material homogéneo.
2. Y 4 veces mayor que el mayor diámetro de los pedazos a transportar en caso de material heterogéneo.

Se ha establecido que el material a transportar es homogéneo el mismo que tiene un tamaño promedio granular de 1 a 2 cm, toma esta característica debido a que este está en constante remoción cuando se realiza el proceso de secado.



Imagen 3.42: Homogeneidad del material y su granulosidad.

Con estas características se determino un diámetro de 9 pulgadas o 0,228m

Remplazando en S:

$$S = 0,32 \frac{\pi \times (0,228m)^2}{4}$$

$$S = 0,013[m^2]$$

También es necesario determinar la velocidad v de desplazamiento del material en el transportador por lo tanto:

$$v = \frac{t \times n}{60}$$

donde:

t es el paso del tornillo el procedimiento indica que:

$$t = 0,5 \times D$$

$$t = 0,5 \times 0,228m$$

$$t = 0,114m$$

n es la velocidad del tornillo con la que va a girar el mismo, esta velocidad fue determinada para este sistema en función del diámetro elegido y refiriéndonos al **Anexo 3.8**, se determino que la velocidad para un tornillo de 9in esta entre 20 y 150 rpm, sabiendo que este dispositivo se comporta como un sistema de bombeo se sugiere que el

valor de la velocidad no se situó entre los valores límites para efecto de cálculo se a elegido un valor de 50 rpm, de igual manera el proveedor sugiere el valor indicado.

El procedimiento indica que el flujo de material Q que se debe determinar está dada por la formula:

$$Q = S \times v \times \gamma \times k$$

donde:

S la sección del canalón ya determinada

γ es la densidad del lodo deshidratado el mismo que fue determinado en laboratorio con un valor de 1106,98 kg/m³.

$k = 1$ es el coeficiente de disminución del flujo del material. este coeficiente depende exclusivamente de la inclinación que tome el canalón.

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
k	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Tabla 3.12: Coeficiente de disminución de acuerdo a la inclinación del transportador.
(Fuente: Dismet)

En la siguiente tabla se analizara cuando se trata del tornillo que esta a nivel de suelo con 0° de inclinación.

Determinación del Flujo de material del Tornillo Horizontal								
D [m]	S [m ²]	t [m]	n [rpm]	v [m/s]	λ	ρ [kg/m ³]	K [0°]	Q [kg/s]
0,228	0,013	0,114	50	0,095	0,32	1107	1	1,37

Tabla 3.13: Datos utilizados para la tabulación del tornillo sin fin.
(Fuente: Autor)

3.4.2. Diseño del tornillo sin fin inclinado.

Determinación del flujo de material del tornillo inclinado, para este sin fin es necesario realizar una consideración, el flujo de material debe ser igual al flujo de material del tornillo sin fin horizontal, por lo tanto se aumento la velocidad de giro del tornillo n y se obtiene:

Determinación del Flujo del material del Tornillo Inclinado								
D [m]	S [m ²]	t [m]	n [rpm]	v [m/s]	λ	ρ [kg/m ³]	K [0°]	Q [kg/s]
0,228	0,013	0,114	83	0,1577	0,32	1107	0,6	1,37

Tabla 3.14: Datos utilizados para la tabulación del tornillo sin fin.
(Fuente: Autor)

Una vez determinado el flujo con el que el material va a ser depositado en el volquete se debe determinar la potencia necesaria para accionar los tornillos sin fin en consecuencia se tiene que:

La potencia de accionamiento P viene dada por la ecuación que se formula:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

donde:

P_H es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material:

$$P_H[W] = c_0 \times Q \times L \times g$$

De igual manera:

C_0 es el coeficiente que presenta el material al ser transportado por el tornillo sin fin, el mismo que está indicado en la siguiente tabla en función del tipo de material a trasladar.

Material	c_0 Empírico
----------	----------------

Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena.	4

Tabla 3.15: Coeficiente C_o de acuerdo al material.
(Fuente: Dismet)

Al tratarse de lodo deshidratado procedente de la potabilización se le ha considerado como tierra fina, con lo que el proveedor le asigna un valor empírico de C_o igual a 4.

P_N es la potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío y se formula.

$$P_N [W] = \frac{D \times L}{20} \times 1000$$

L es la longitud del tornillo, según la necesidad del proyecto.

Los valores de 20 y 1000 son factores de corrección para obtener una potencia en watt.

P_N es menor que P_H debido a que para P_N no existe fricción generada entre el material y el canalón.

P_{St} es la potencia adicional que se requiere para desplazar el material en el tornillo sin fin inclinado está en función de:

$$P_{St} [W] = Q \times H \times g$$

H es la altura máxima que va a tener el tornillo inclinado dentro de la instalación, el objetivo de este es cargar al volquete por lo que este tornillo debe de estar por encima del cajón de carga se ha determinado una altura de 2,5 m según la altura del volquete.

g gravedad.

Potencia necesaria para trasladar el material horizontalmente							
Co	Q [kg/s]	D [m]	L [m]	H [m]	P _H [W]	P _N [W]	P _{TOTAL} (W)
4	1,37	0,228	7,5	0	404	86	490

Tabla 3.16: Cuadro de potencias del tornillo horizontal.
(Fuente: Autor)

Potencia necesaria para trasladar el material en el tornillo inclinado								
Co	Q [kg/s]	D [m]	L [m]	H [m]	P _H [W]	P _N [W]	P _{St}	P _{TOTAL} (W)
4	1,37	0,228	7,5	2,5	403	86	34	522

Tabla 3.17: Cuadro de potencias del tornillo inclinado.
(Fuente: Autor)

CAPÍTULO IV

4. Comprobación del diseño estructural y simulación del sistema diseñado mediante software especializado.

Ya se ha realizado el cálculo de los distintos sistemas del proceso de almacenamiento y despacho de lodos, pero es necesario respaldar estos cálculos. En nuestros tiempos se encuentran disponibles una variedad de programas de simulación de sistemas, en los cuales nos basaremos para realizar una verificación y simulación de dichos sistemas.

4.1. Comprobación de la Estructura del Invernadero.

Para la comprobación del diseño estructural del proyecto en estudio se utilizó el programa SAP2000.

En la primera parte de este capítulo comprobaremos el diseño de la estructura, para ello se indicará los pasos que se siguieron en el software para alcanzar este objetivo:

4.1.1. Geometría de la estructura.

- a. Una vez arrancado el programa, el primer paso consistirá en definir el sistema de unidades en el que se desea trabajar. En la parte inferior derecha de la pantalla aparece un listado desplegable en el que se pueden escoger. En este caso se elegirá la opción **Kg, m, °C**.

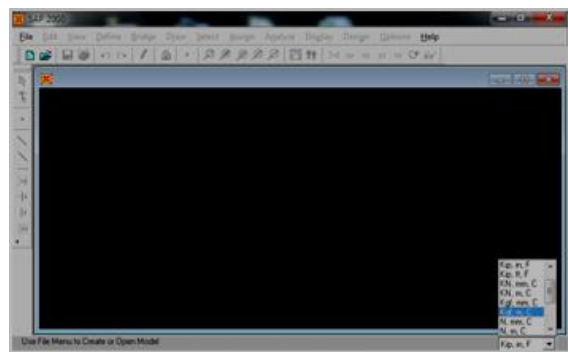


Imagen 4.1: Elección del sistema de unidades.

- b. A continuación se crea una nueva estructura. En esta opción aparece algunas estructuras prediseñadas, en este caso se elige la opción Grid Only.

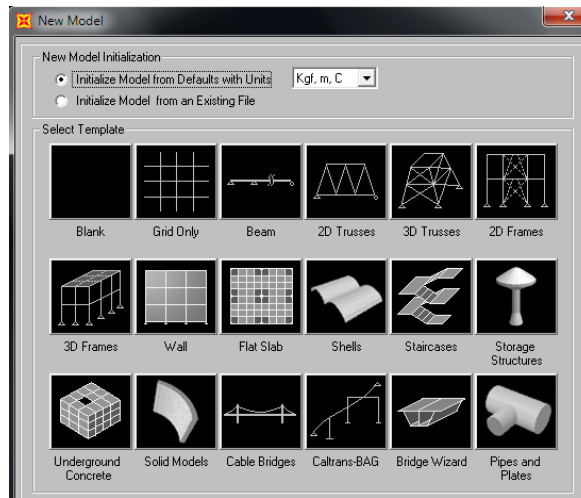


Imagen 4.2: Elección de la nueva estructura.

- c. Se establecen los valores para cada coordenada y el número de divisiones, en este punto es necesario hacer una consideración debido a que la estructura en el eje Z está compuesta por las columnas y la estructura del techo en sí, de acuerdo a esta condición se ha editado la grilla en el eje Z quedando así:

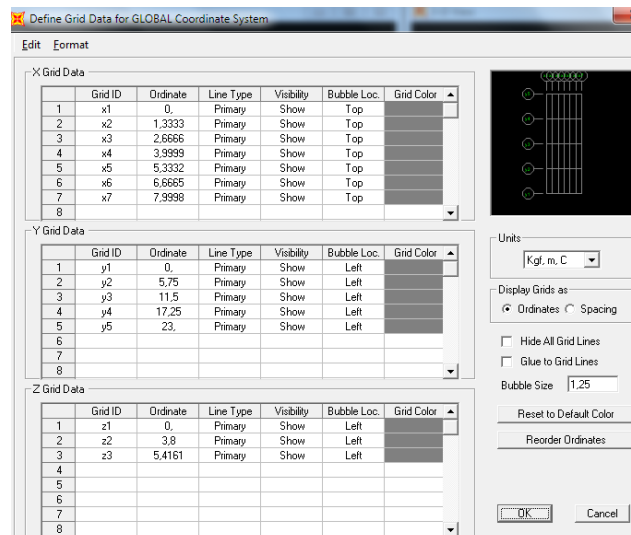


Imagen 4.3: Valorización del plano de la estructura.

Con estas condiciones predeterminadas se obtiene una grilla estructurada como se indica en la siguiente imagen:

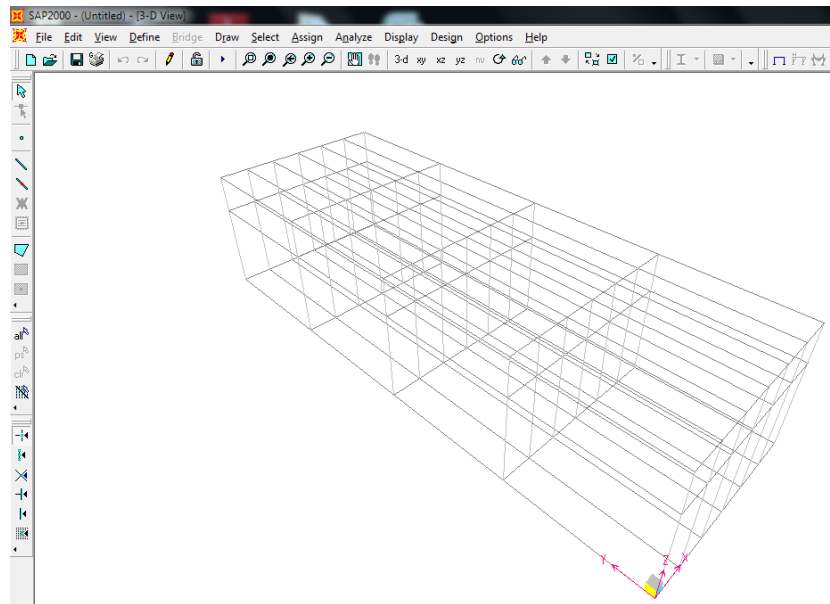


Imagen 4.4: Grilla de la estructura.

- d. Se selecciona el plano en el que se desea dibujar la estructura y con la ayuda de la herramienta **Draw Frame/Cable Element**, se realiza el diseño de la estructura que va a ser analizada, al tener dos ventanillas se observa cómo se va generando en tercera dimensión y en un plano.

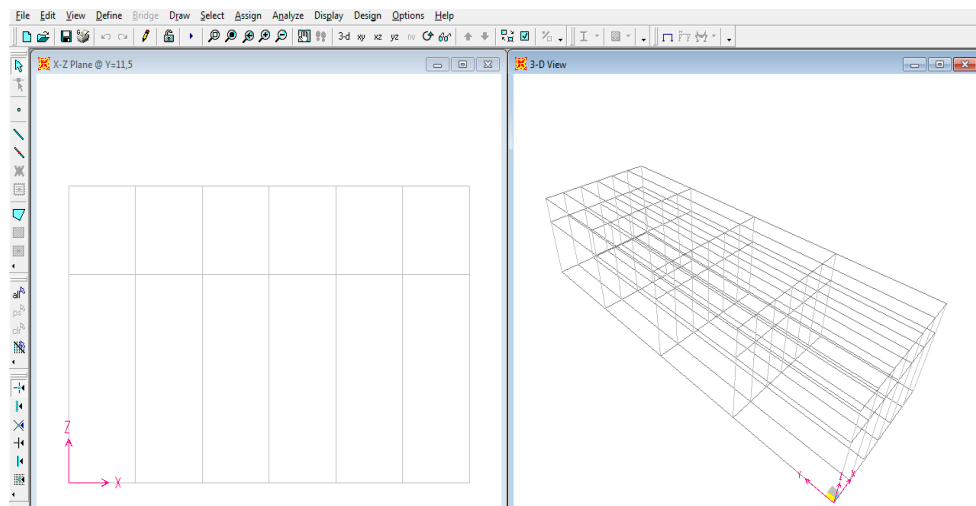


Imagen 4.5: Selección de la herramienta para dibujar la estructura.

Una vez realizado el dibujo de la estructura sobre la grilla predeterminada se genera la siguiente imagen:

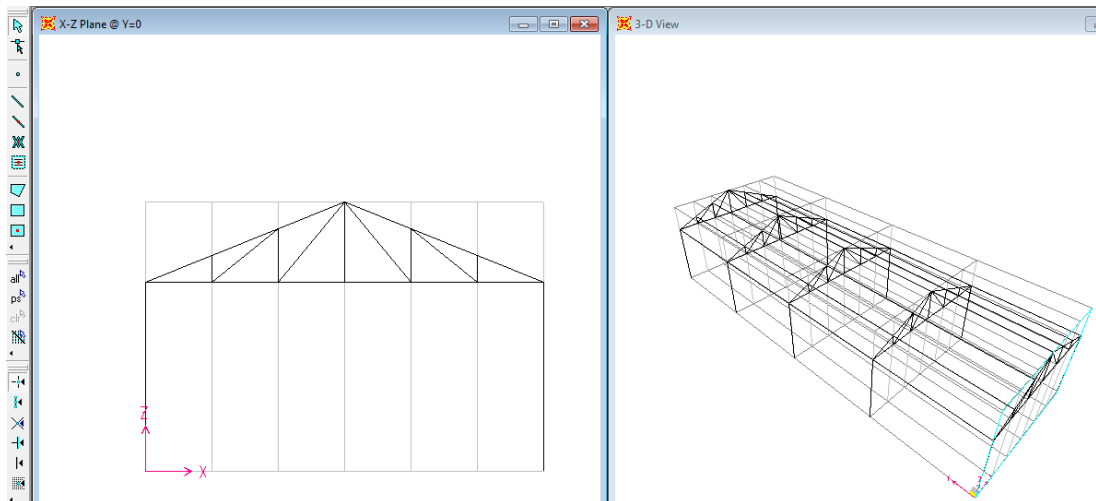


Imagen 4.6: Esquema de la estructura.

- e. Restringir los nodos de la estructura, para ello se selecciona los puntos o nodos que van a estar condicionados, dirigirse al menú de herramientas Assing/Joint/Restrains, se elige el icono del empotramiento para las columnas de la izquierda y rodadura para las columnas de la derecha.

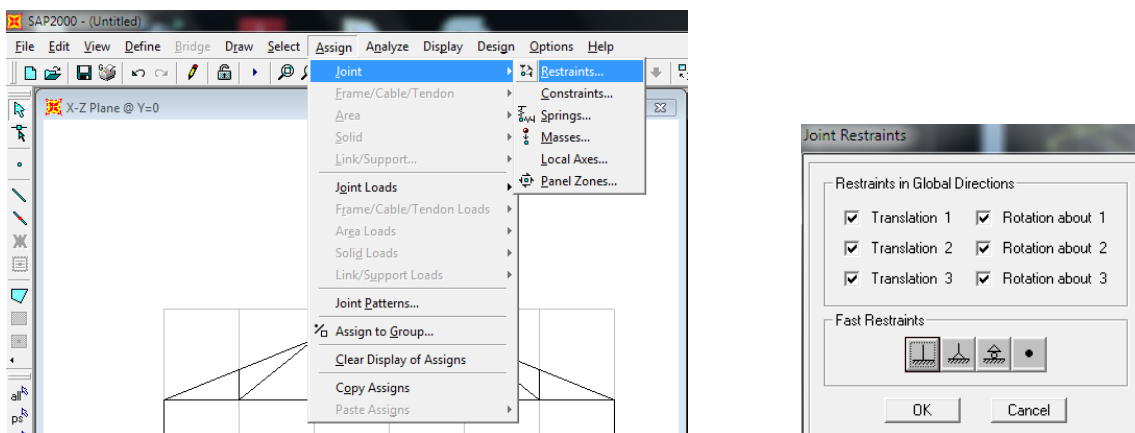


Imagen 4.7: Restricción de nodos.

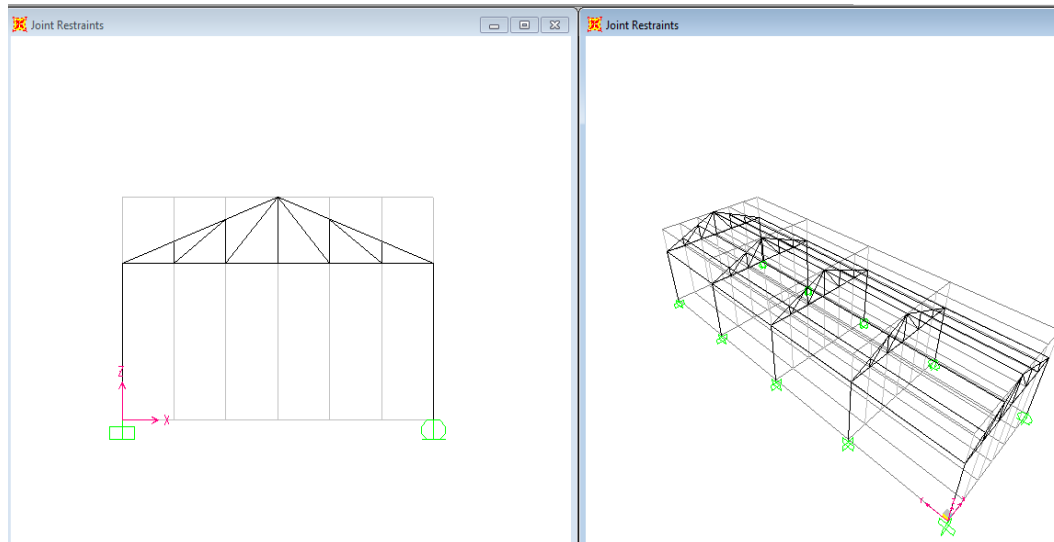


Imagen 4.8: Esquema de las restricciones.

- f. Editar los perfiles de la estructura, cuando en la base de datos del software no existen los perfiles necesarios con los que se va a diseñar la estructura es conveniente editar para que cumpla con la geometría de la estructura, en el menú se localiza la opción **Define/Frame Sections..** y se procede a editar para este análisis los siguientes perfiles:

- Columnas: Tubo estructural 60 x 3
- Largueros: Canal U 60 x 30 x 3
- Marco de la estructura: Canal U 60 x 30 x 2
- Diagonales: Doble Angulo 25 x 25 x 2

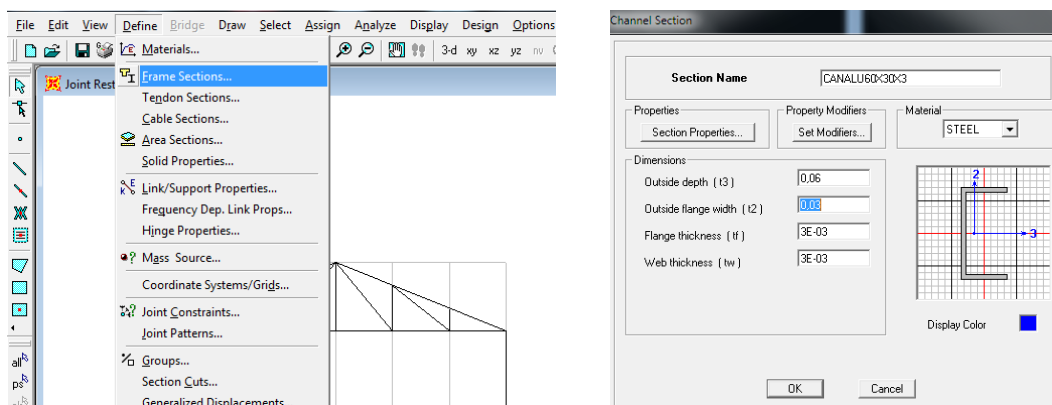


Imagen 4.9: Establecer las dimensiones de los perfiles diseñados.

- g. Asignar los perfiles editados a los elementos correspondientes, se señala los elementos que tienen el mismo perfil y se los asigna dirigiéndose al menú **Assign/ Frame/Cable/Tendon/ Frame Sections**, con ello cada elemento de la armadura de le va asignando.

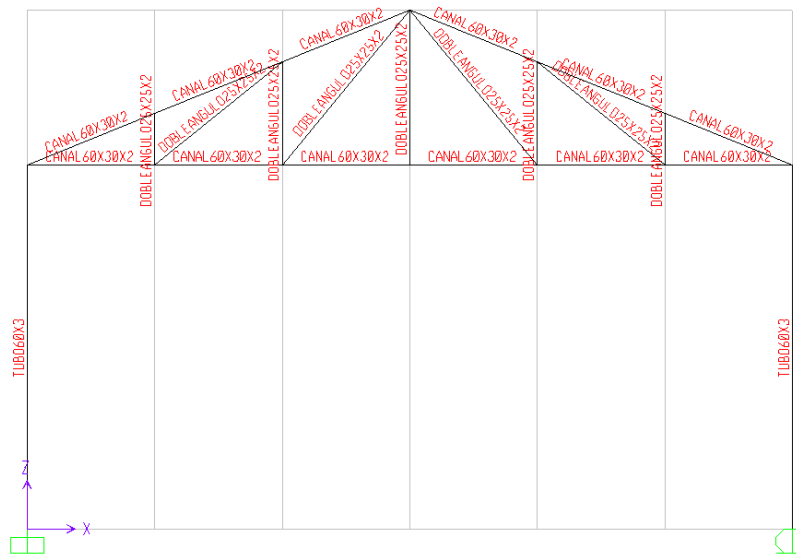
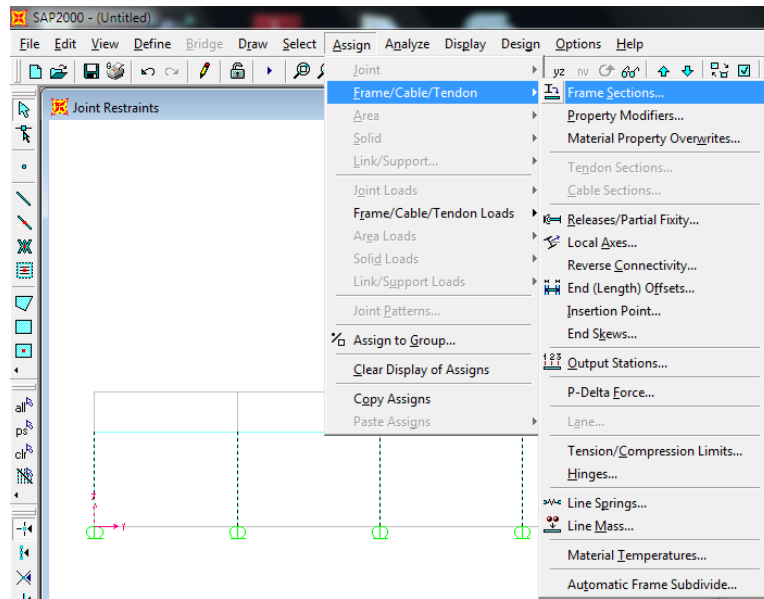


Imagen 4.10: Esquema de la estructura con los perfiles indicados.

4.2. Definición de las cargas en la estructura.

Una vez generada la estructura con los perfiles asignados se establece las cargas a las que va a estar expuesta la estructura, estos resultados que ofrece el software serán analizados y comparados con los cálculos realizados en el capítulo III de este estudio, se procede de la siguiente manera:

h. Diríjase al menú y seleccione **Define/Load Cases**, como se indica en la figura.

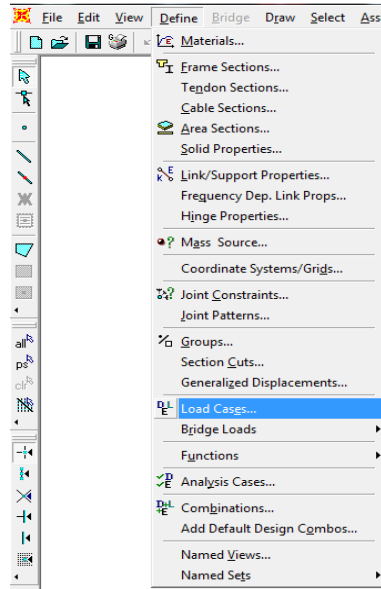


Imagen 4.11: Selección del icono de las cargas.

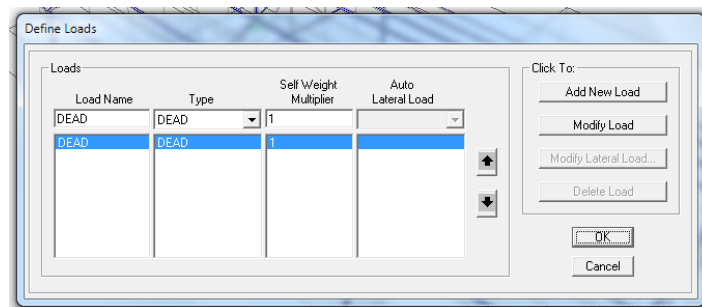


Imagen 4.12: Generación de los casos de cargas.

Se generan los tres tipos de carga establecidos en el capítulo anterior, viento, granizo, muerta.

El coeficiente “Self weight Multiplier” indica si se tendrá en cuenta el peso propio de la estructura en cada caso. Se propone definir como “0” en todas las condiciones, de modo

que al introducir el valor de la carga muerta, se deberá introducir expresamente el valor del peso propio.

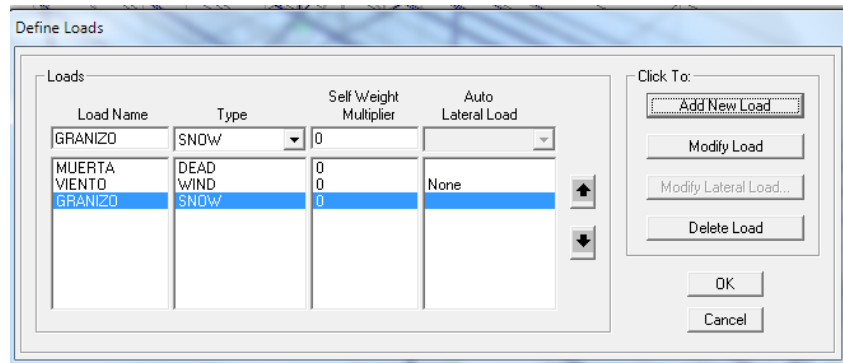


Imagen 4.13: Casos de cargas para el análisis de la estructura.

Asignación de los valores de fuerzas en los nodos o elementos para cada caso de carga establecido.

- i. Para el inicio de este paso se debe seleccionar los elementos a los que van a estar aplicada la fuerza, se abre el menú **Assing/Joins Load/Forces**, en la imagen a continuación se detalla.

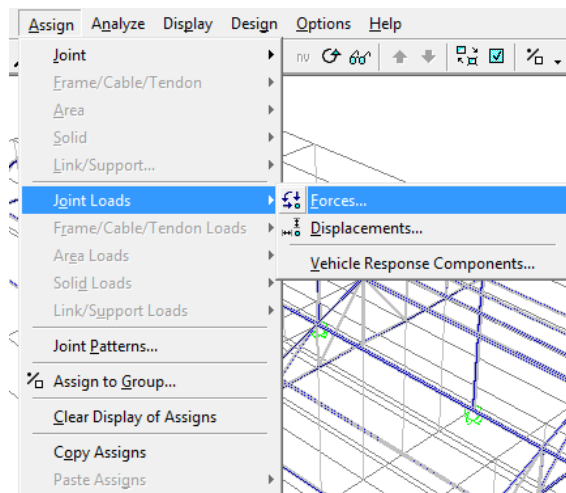


Imagen 4.14: Localización del icono de Fuerzas.

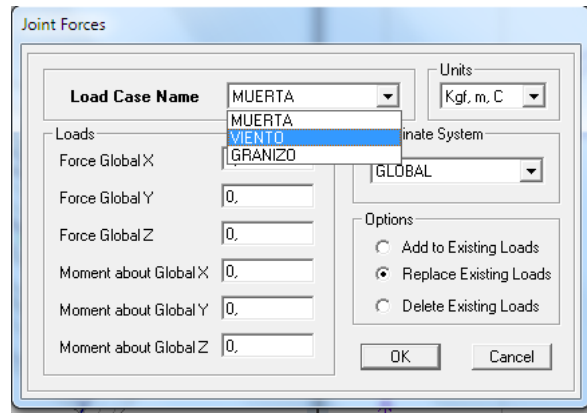


Imagen 4.15: Edición de las fuerzas para cada caso de carga.

En la pantalla se selecciona el nombre de la carga a la que pertenecen las fuerzas que se van a aplicar en su eje correspondiente y se presiona **OK**.

Este procedimiento se genera para los tres tipos de carga que serán aplicados sobre la estructura teniendo de la siguiente manera:

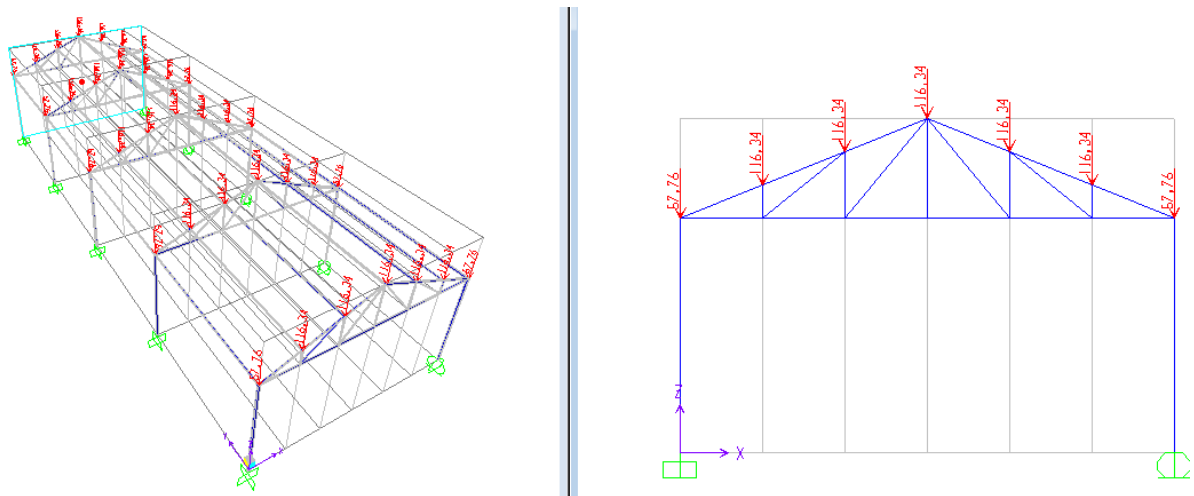


Imagen 4.16: Cargas generadas por la fuerza del viento.

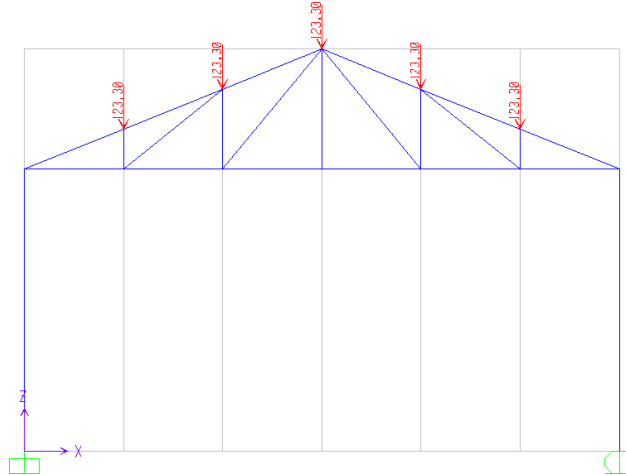


Imagen 4.17: Cargas generadas por la fuerza del granizo.

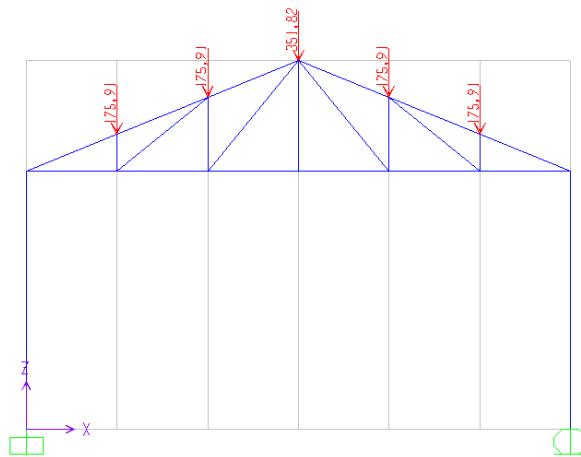


Imagen 4.18: Fuerzas generadas por la carga muerta.

Combinación de las cargas:

j. Una vez colocadas las fuerzas generadas por cada tipo de carga se procede a la combinación de los esfuerzos en este caso se combinaran:

- Carga Muerta + Carga de granizo
- Carga Muerta + Carga de viento

Diríjase a la opción Define/Combinations y agregue las nuevas combinaciones para el análisis obteniendo lo siguiente:

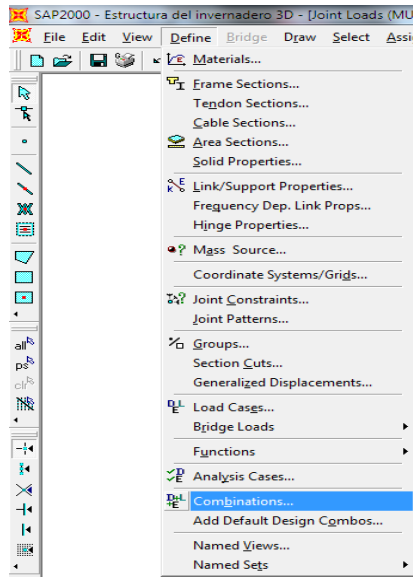


Imagen 4.19: Generación de combinación de esfuerzos.

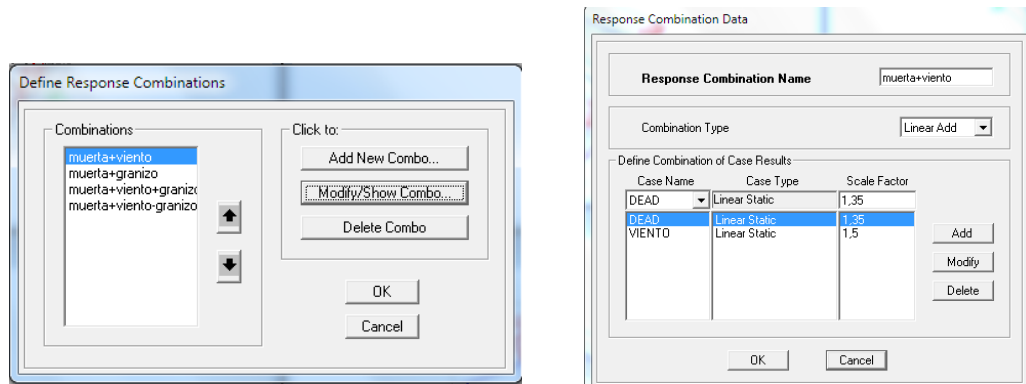


Imagen 4.20: Casos combinados en la estructura.

Calculo de los esfuerzos en la estructura:

- k. Cuando se realiza el análisis estático de la armadura se evita que en las articulaciones se generen momentos por ello es necesario realizar la siguiente restricción, previamente señalando los elementos de la estructura y dirigiéndose a **Assing/Frame/Cable/Tendon/Releases/Partial Fixity** restringiendo la torsión y momentos como se ilustra a continuación.

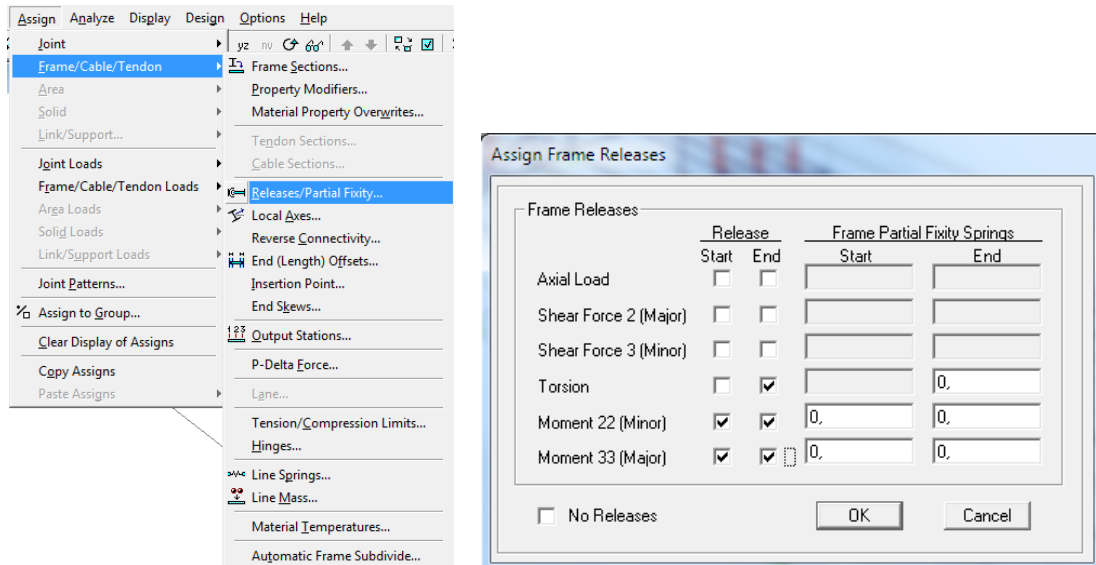


Imagen 4.21: Restricción de los elementos.

Terminada las restricciones se procede a generar los cálculos corriendo el programa de la siguiente manera:

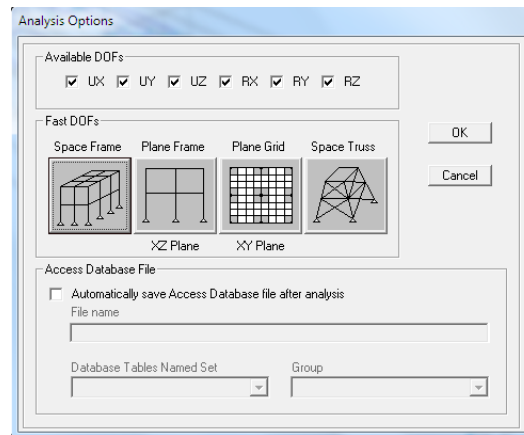
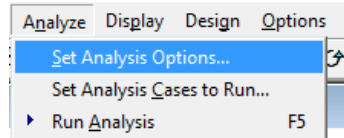


Imagen 4.22: Generación de los cálculos.

En esta instancia se analiza el tipo de armadura y se procede a elegir una opción, para este caso procedemos a elegir **Space Frame** y continuamos con el cálculo. Presionando la flecha **Run Analysis** o **F5**

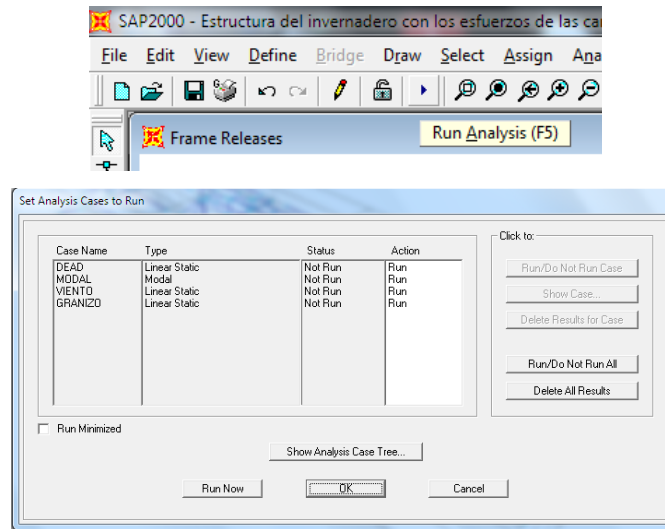


Imagen 4.23 Corrida del programa.

En esta pantalla se presiona Run Now y continúa con el cálculo. Una vez terminado el análisis el programa presenta una ventanilla redactando que el analisis se ha completado como se indica a continuación.

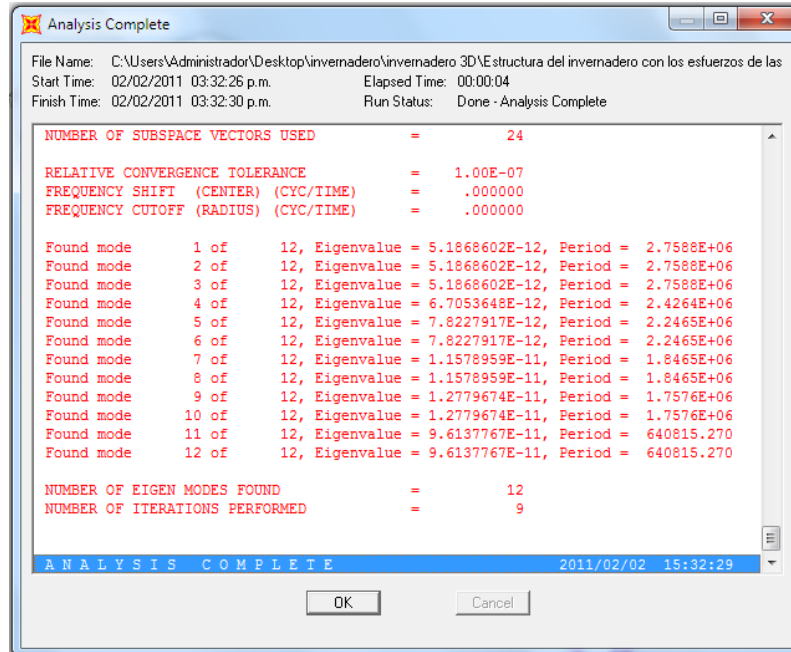


Imagen 4.24: Análisis completado presione OK.

Resultados del análisis.

1. Tras terminar el análisis, se obtiene una imagen de la estructura deformada [las deformaciones aparecen en esta ventana multiplicadas por un coeficiente para que sean apreciables].

Algo a tener en cuenta es que una vez que la estructura ha sido calculada el icono de la barra de herramientas que representa un candado aparecerá cerrado. Ello significa que los datos de la estructura quedan bloqueados.

Si se desea introducir algún cambio [valores de acciones, geometría, coacciones, etc.] se debe pulsar este botón primero para desbloquear la estructura, con lo que el programa advertirá que todos los resultados obtenidos con los datos anteriores quedarán borrados en ese instante.

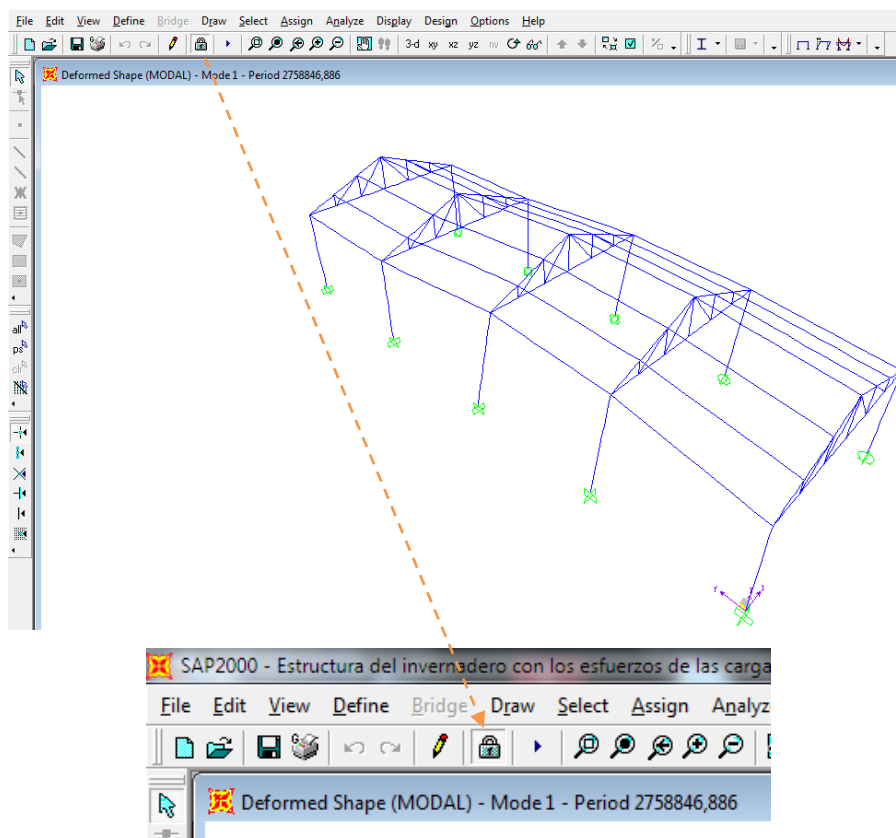


Imagen 4.25: Pantalla con deformación de la estructura.

Graficas del análisis

- m. Para obtener las gráficas de la estructura se emplea el menú **Display/Show Forces/Stresses** y se escoge el tipo de elemento en que queremos consultar los resultados: nudos [**Joints**] o barras [**Frames**]. También se puede pinchar sobre el icono correspondiente de la barra de herramientas superior. Al escoger la opción correspondiente a barras se obtiene un cuadro de diálogo como el de la figura.

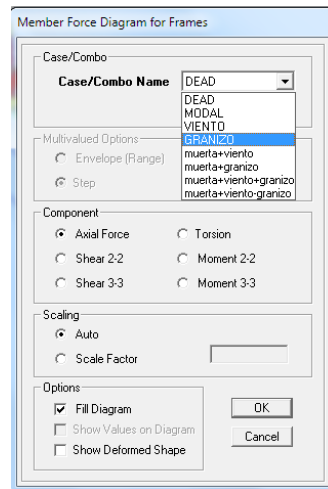


Imagen 4.26: Elección de la carga a analizar.

Se escogerá la carga [simple o combinación] de la que se desea conocer los resultados, así como el tipo de esfuerzo deseado [Axiales, Cortantes o Momentos], obteniéndose una gráfica como la siguiente:

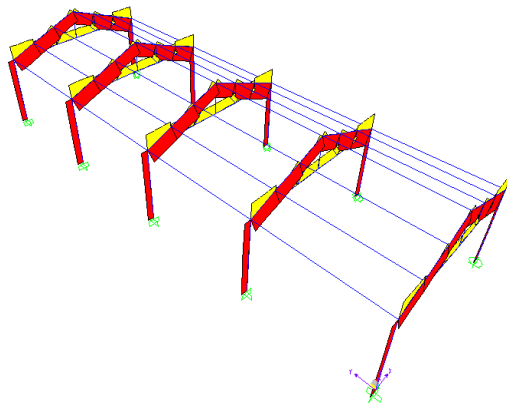


Imagen 4.27: Gráfica de los esfuerzos asignados.

Si se desactiva la marca de verificación de **Fill Diagram** se mostrarán los valores numéricos más significativos sobre la gráfica.

Pulsando con el botón derecho del ratón sobre cualquier barra se obtiene un detalle del esfuerzo que esté representado sobre la gráfica, también permite elegir el caso del que se esta pretendiendo indicar, en la figura siguiente se detalla esta opción.

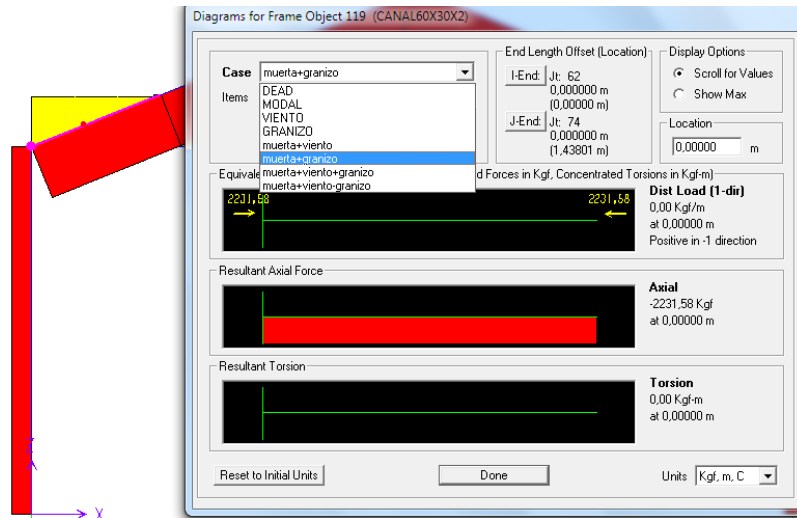


Imagen 4.28: Detalle de los esfuerzos en una barra.

Reacciones en los apoyos, cuando se está realizando el análisis de la estructura por el método analítico este software nos ayuda a determinar en primera instancia si lo está haciendo de manera correcta solo comparando las reacciones calculadas con las encontradas por el programa y lo determinamos de la siguiente manera:

- n. Se escoge la opción **Show Forces/Stresses/Joints** con ello obtiene las reacciones en los apoyos. En el cuadro de diálogo que aparece, bastará con escoger la carga o combinación de carga deseada, seleccionar el tipo de reacciones y activar la marca de verificación **Show as Arrows**.

Los momentos en dichos apoyos aparecerán representados en forma de vector, indicado según la convención habitual el eje alrededor del cual se produce el momento y su sentido. Por ello no es posible ver dichos valores en una vista XZ, sino que se ha de escoger una perspectiva.

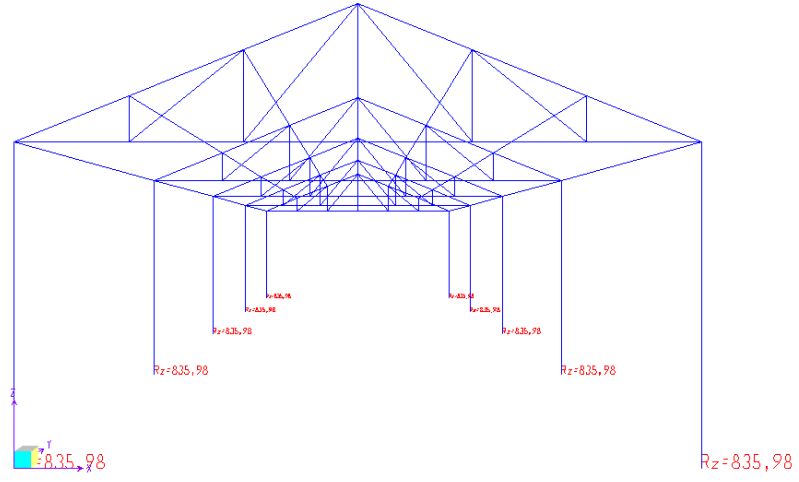


Imagen 4.29: Perspectiva de la estructura completa del invernadero.

4.3. Denominación de nodos.

En este punto se pretende conocer la nomenclatura que el software a utilizado para le análisis, con ello nos facilita la identificación de cada elemento para establecer la comparación entre el programa y los cálculos realizados en el capítulo anterior, en las siguientes imágenes detallaremos estas denominaciones.

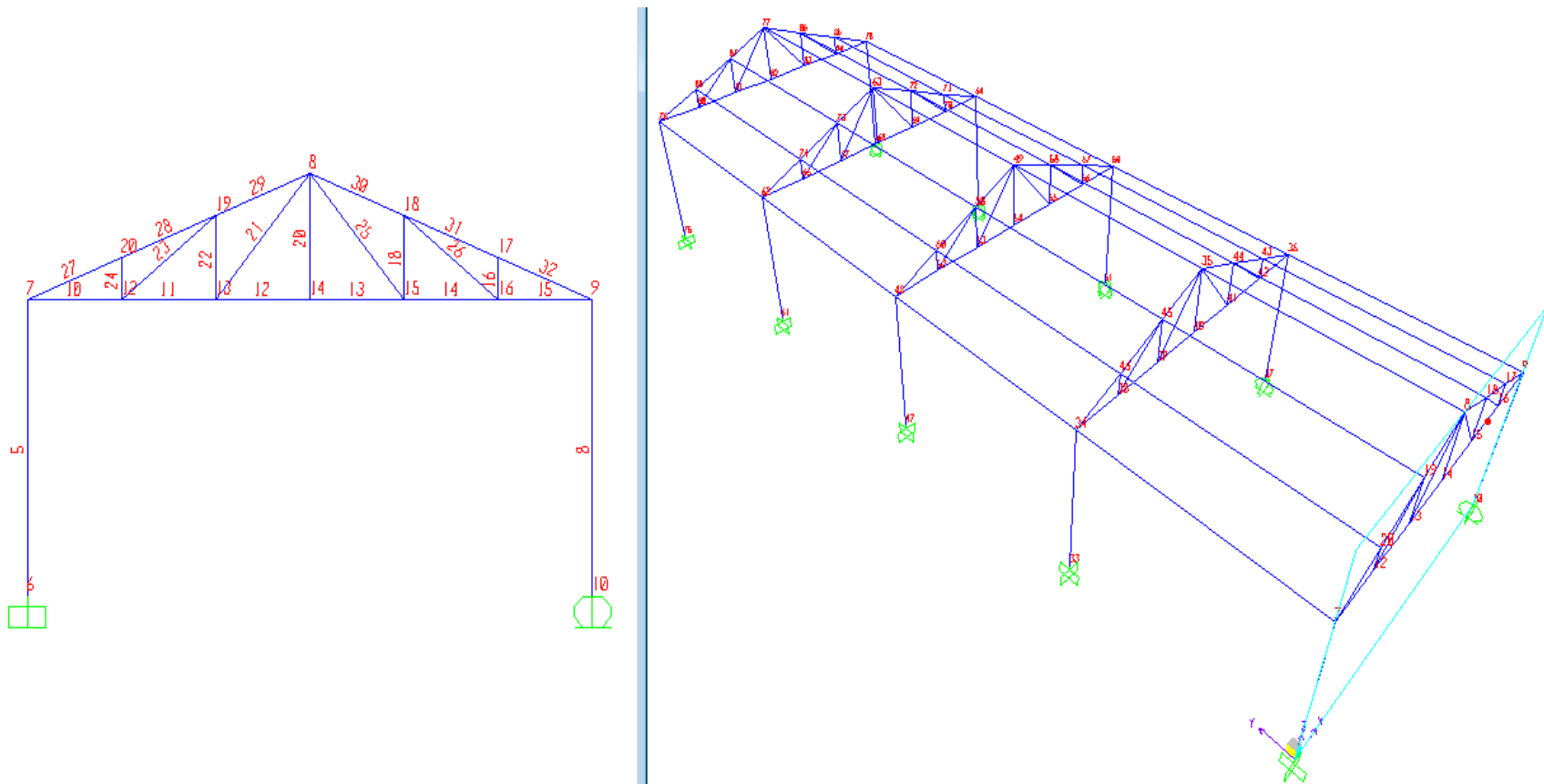


Imagen 4.30: Numeración en el marco 1, como indica la perspectiva de la estructura.

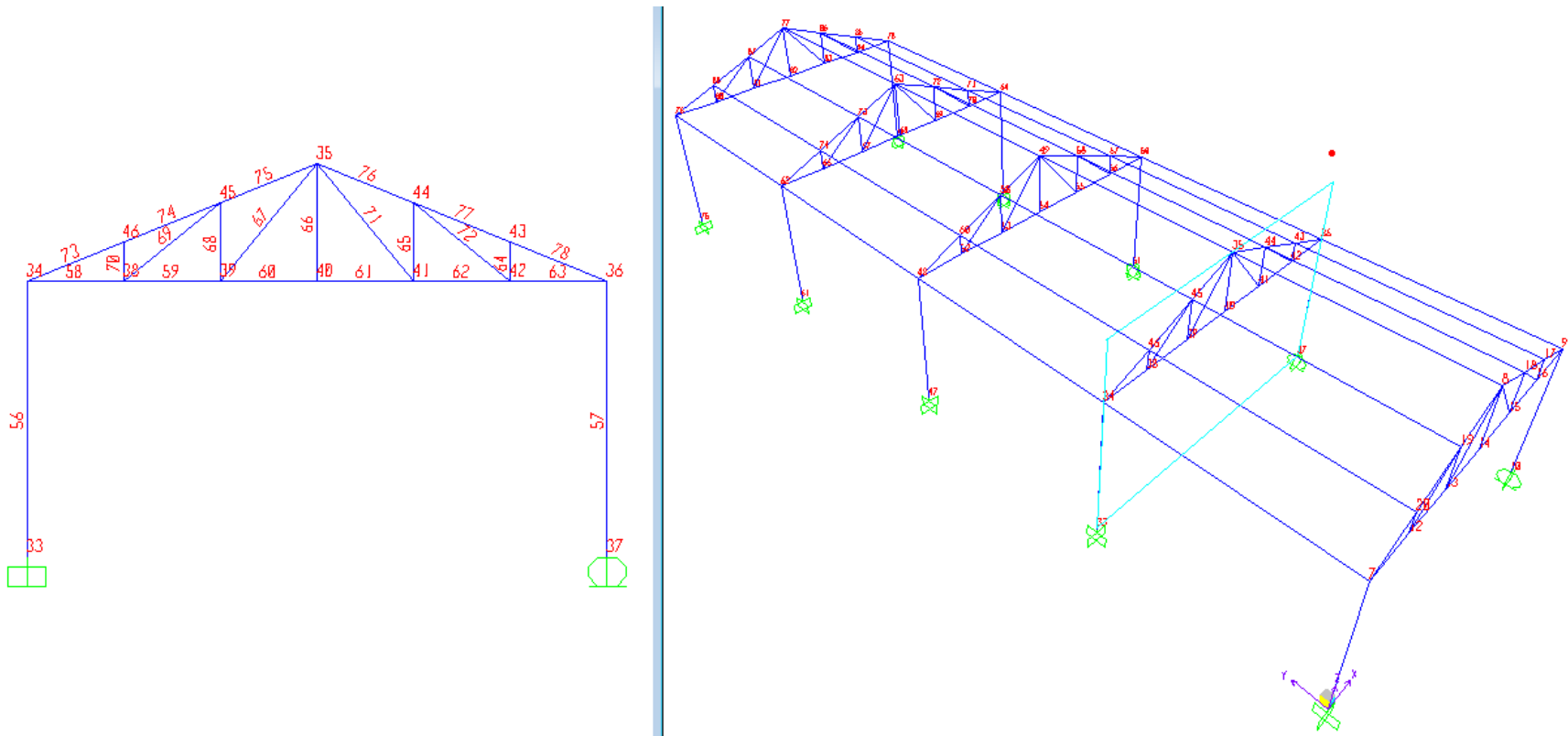


Imagen 4.31: Numeración en el marco 2, como indica la perspectiva de la estructura.

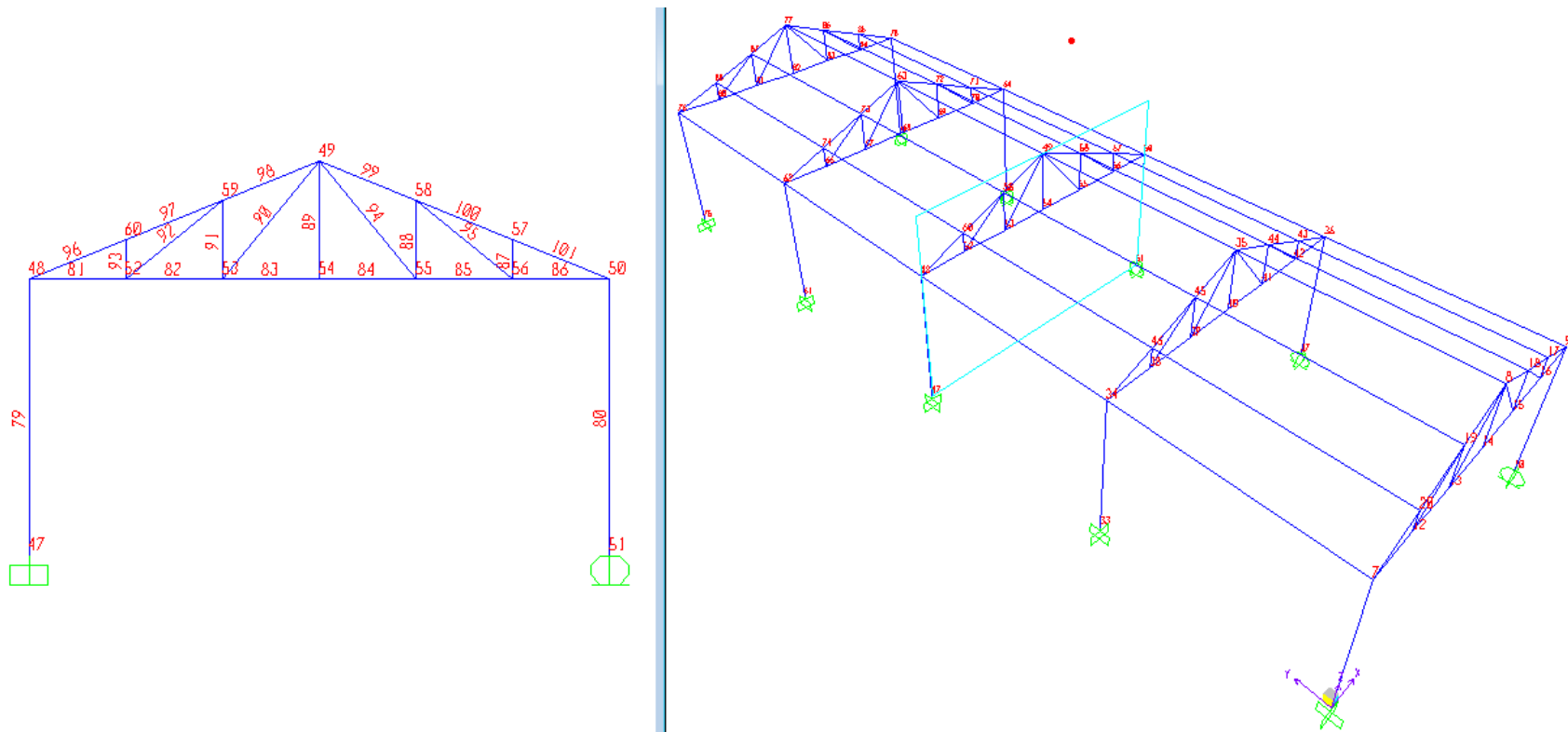


Imagen 4.32: Numeración en el marco 3, como indica la perspectiva de la estructura.

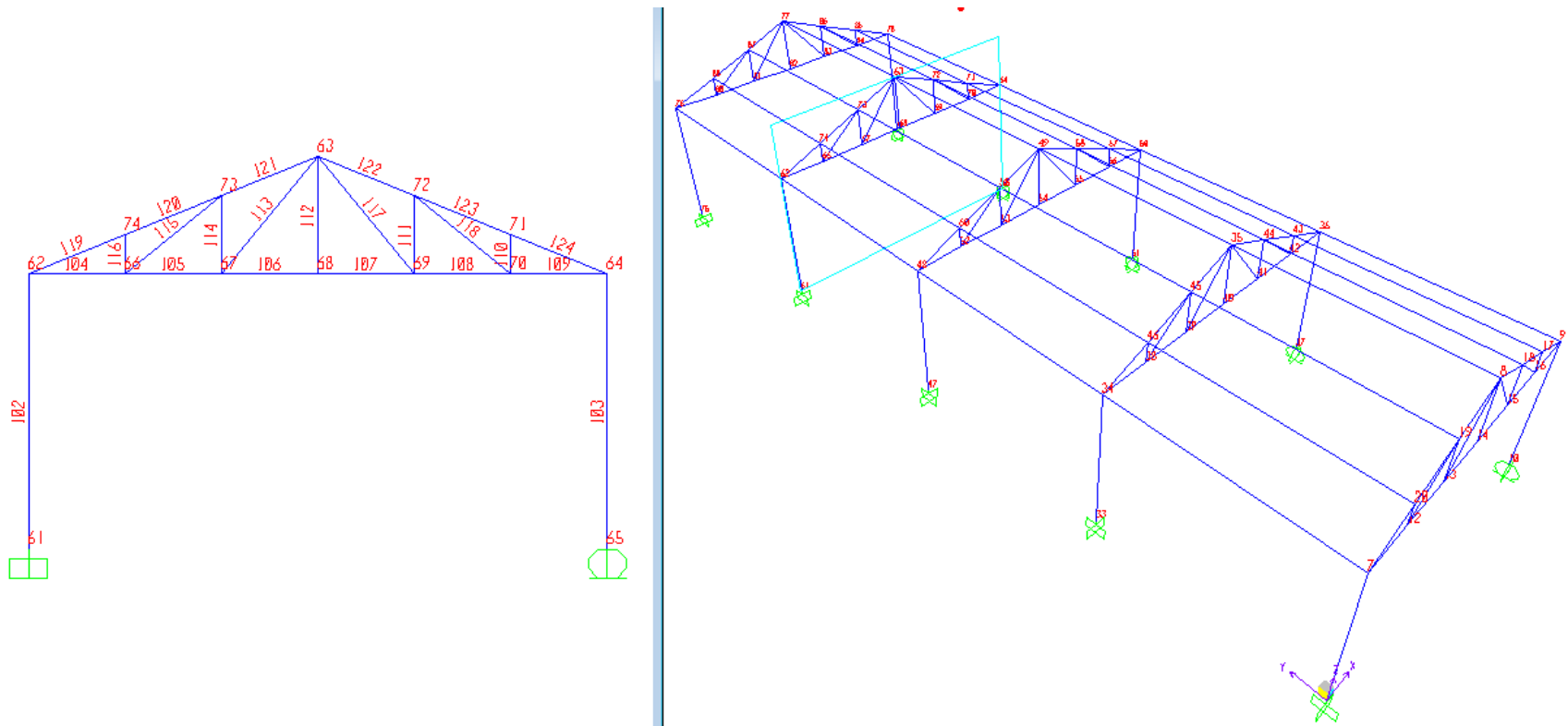


Imagen 4.33: Numeración en el marco 4, como indica la perspectiva de la estructura.

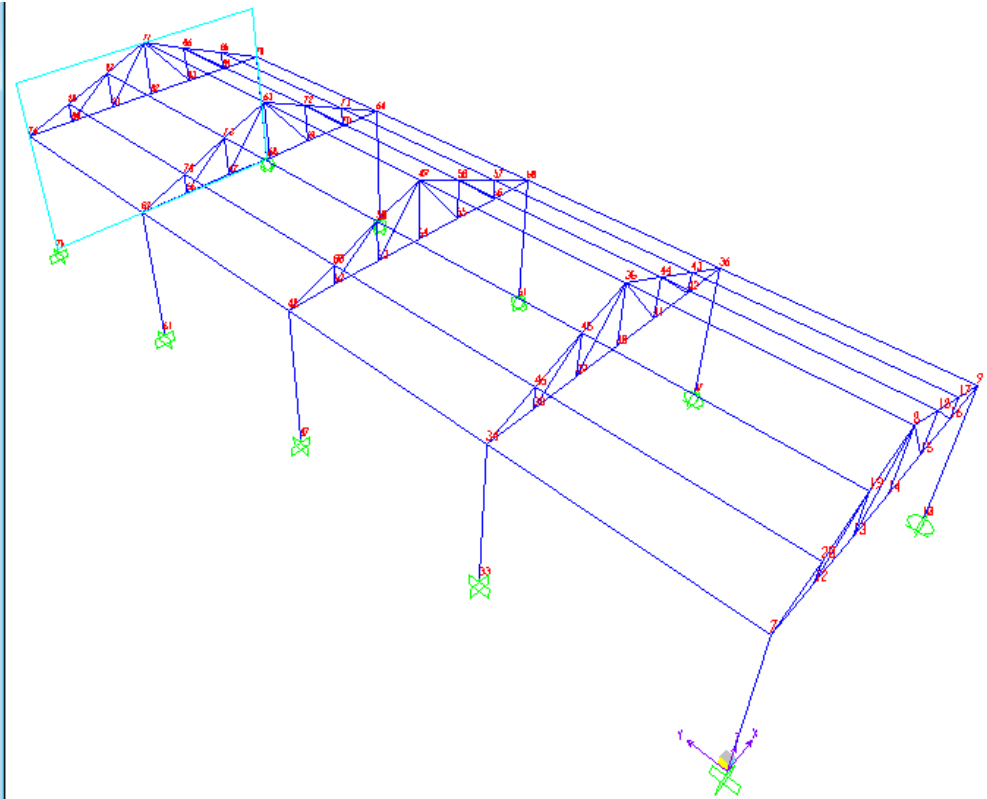
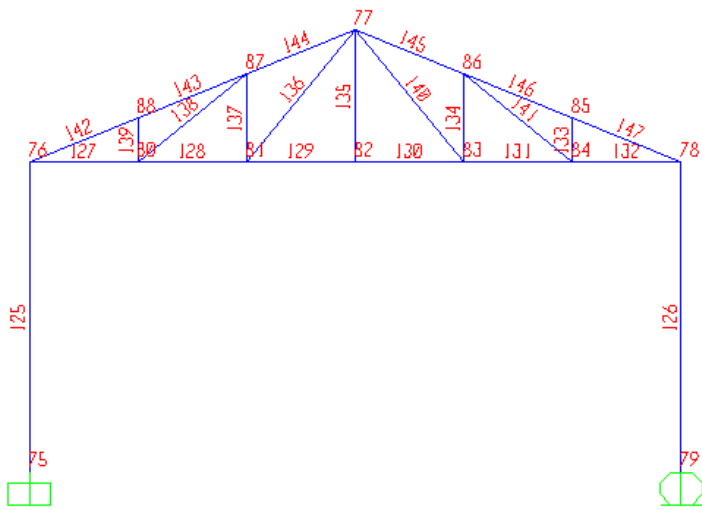


Imagen 4.34: Numeración en el marco 5, como indica la perspectiva de la estructura.

Los siguientes cuadros reflejan la comparación de los cálculos y los resultados obtenidos con el software especializado que se ha utilizado para cumplir con este objetivo.

<i>Miembro</i>	<i>Carga Muerta</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-1408,76	-1408,73	0,00212958
28	-1408,76	-1408,73	0,00212958
29	-1165,93	-1173,94	0,68231767
20	0,03	0	0
10	1306,18	1306,15	0,00229683
11	1081,03	1088,46	0,68261581
12	862,16	870,77	0,98878005
24	-175,91	-175,91	0
22	-260,85	-263,86	1,14075646
21	340,5	342,07	0,45897039
23	285,72	279,88	2,08660855
32	-1408,76	-1408,73	0,00212958
31	-1408,76	-1408,73	0,00212958
30	-1165,93	-1173,94	0,68231767
15	1306,18	1306,15	0,00229683
14	1081,03	1088,46	0,68261581
13	862,16	870,77	0,98878005
16	-175,91	-175,91	0
18	-260,85	-263,86	1,14075646
26	285,72	279,88	2,08660855
25	340,5	342,07	0,45897039

Tabla 4.1: Tabla comparatoria de Carga Muerta.
Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>Carga de Granizo</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-822,86	-822,85	0,00121529
28	-822,86	-822,85	0,00121529
29	-652,65	-658,28	0,85525916
20	0,02	0	0
10	762,94	762,93	0,00131074
11	605,12	610,34	0,855261
12	451,71	457,76	1,32165327
24	-123,3	-123,3	0
22	-182,83	-184,95	1,14625574
21	238,66	239,77	0,46294365
23	200,27	196,18	2,08482006
32	-822,86	-822,85	0,00121529
31	-822,86	-822,85	0,00121529
30	-652,65	-658,28	0,85525916
15	762,94	762,93	0,00131074
14	605,12	610,34	0,855261
13	451,71	457,76	1,32165327
16	-123,3	-123,3	0
18	-182,83	-184,95	1,14625574
26	200,27	196,18	2,08482006
25	238,66	239,77	0,46294365

Tabla 4.2: Tabla comparatoria de Carga de Granizo.

Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>Carga de viento</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-777,51	-776,4	0,14296754
28	-777,51	-776,4	0,14296754
29	-617,25	-621,12	0,62306801
20	-87,85	0	0
10	720,89	719,86	0,14308338
11	571,98	575,89	0,6789491
12	449,18	431,92	3,99611039
24	-116,34	-116,34	0
22	-172,64	-174,51	1,07157183
21	283,25	226,23	25,204438
23	188,96	185,1	2,08535927
32	-777,51	-776,4	0,14296754
31	-777,51	-776,4	0,14296754
30	-617,25	-621,12	0,62306801
15	720,89	719,86	0,14308338
14	571,98	575,89	0,6789491
13	449,18	431,92	3,99611039
16	-116,34	-116,34	0
18	-172,64	-174,51	1,07157183
26	188,96	185,1	2,08535927
25	283,25	226,23	25,204438

Tabla 4.3: Tabla comparatoria de Carga de Viento.
Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>Carga Muerta + Carga de Granizo</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-2231,62	-2231,58	0,00179245
28	-2231,62	-2231,58	0,00179245
29	-1818,58	-1832,22	0,74445209
20	0,05	0	0
10	2069,12	2069,08	0,00193323
11	1686,15	1698,8	0,74464328
12	1313,87	1328,52	1,10273086
24	-299,21	-299,21	0
22	-443,68	-448,81	1,14302266
21	579,16	581,84	0,46060773
23	485,99	476,06	2,08587153
32	-2231,62	-2231,58	0,00179245
31	-2231,62	-2231,58	0,00179245
30	-1818,58	-1832,22	0,74445209
15	2069,12	2069,08	0,00193323
14	1686,15	1698,8	0,74464328
13	1313,87	1328,52	1,10273086
16	-299,21	-299,21	0
18	-443,68	-448,81	1,14302266
26	485,99	476,06	2,08587153
25	579,16	581,84	0,46060773

Tabla 4.4: Tabla comparatoria de C. Muerta + C. de Granizo.
Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>Carga Muerta + Carga de Viento</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-2186,27	-2185,13	0,05217081
28	-2186,27	-2185,13	0,05217081
29	-1783,18	-1795,06	0,66181632
20	-87,82	0	0
10	2027,07	2026,01	0,05231958
11	1653,01	1664,35	0,68134707
12	1311,34	1302,68	0,66478337
24	-292,25	-292,25	0
22	-433,49	-438,37	1,11321486
21	623,75	568,31	9,75523922
23	474,68	464,98	2,08611123
32	-2186,27	-2185,13	0,05217081
31	-2186,27	-2185,13	0,05217081
30	-1783,18	-1795,06	0,66181632
15	2027,07	2026,01	0,05231958
14	1653,01	1664,35	0,68134707
13	1311,34	1302,68	0,66478337
16	-292,25	-292,25	0
18	-433,49	-438,37	1,11321486
26	474,68	464,98	2,08611123
25	623,75	568,31	9,75523922

Tabla 4.5: Tabla comparatoria de C. Muerta + C. de Viento.
Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>Carga Muerta + 1/2Carga de Granizo</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-1820,19	-1820,16	0,00164821
28	-1820,19	-1820,16	0,00164821
29	-1492,26	-1503,08	0,71985523
20	0,04	0	0
10	1687,65	1687,61	0,00237022
11	1383,59	1393,63	0,72042077
12	1088,02	1099,64	1,05670947
24	-237,56	-237,56	0
22	-352,27	-356,34	1,14216759
21	459,83	461,96	0,46107888
23	385,86	377,97	2,08746726
32	-1820,19	-1820,16	0,00164821
31	-1820,19	-1820,16	0,00164821
30	-1492,26	-1503,08	0,71985523
15	1687,65	1687,61	0,00237022
14	1383,59	1393,63	0,72042077
13	1088,02	1099,64	1,05670947
16	-237,56	-237,56	0
18	-352,27	-356,34	1,14216759
26	385,86	377,97	2,08746726
25	459,83	461,96	0,46107888

Tabla 4.6: Tabla comparatoria de C. Muerta + 0,5 C. de Granizo.
Fuente: El Autor.

<i>Miembro</i>	<i>(C. Muerta + 1/2C. de Granizo+C. vineto)3/4</i>		
	<i>Calculada</i>	<i>SAP2000</i>	<i>Error</i>
27	-1948,28	-1947,42	0,04416099
28	-1948,28	-1947,42	0,04416099
29	-1582,13	-1593,15	0,69171139
20	-65,86	0	0
10	1806,41	1805,61	0,04430636
11	1466,68	1477,14	0,70812516
12	1152,9	1148,67	0,36825198
24	-265,43	-265,42	0,00376761
22	-393,68	-398,14	1,12020897
21	557,31	516,14	7,976518
23	431,11	422,3	2,08619465
32	-1948,28	-1947,42	0,04416099
31	-1948,28	-1947,42	0,04416099
30	-1582,13	-1593,15	0,69171139
15	1806,41	1805,61	0,04430636
14	1466,68	1477,14	0,70812516
13	1152,9	1148,67	0,36825198
16	-265,43	-265,42	0,00376761
18	-393,68	-398,14	1,12020897
26	431,11	422,3	2,08619465
25	557,31	516,14	7,976518

Tabla 4.7: Tabla comparatoria de C. Muerta + 0,5 C. de Granizo + C. de Viento.
Fuente: El Autor

Una vez comparado los resultados del análisis del SAP2000 con los obtenidos en el capítulo III se procede a verificar los elementos de la estructura los mismos que su elongación debe ser menor que 1.

- o. Con el programa ya generado se identifica la opción **Desing/Steel Frame Desing/Start Desing/Check of Structure** esta opción analiza elemento por elemento y determina el coeficiente de los mismos, en este análisis se determino que los elementos superiores del marco superaron la unidad lo que significa que no soportan los esfuerzos generados, este error es debido a que el programa al analizar utiliza un método de elementos finitos, también es debido a que SAP2000 ha generado sus propios coeficientes y factores de seguridad que la Norma AISC D89 indica en su fuente de datos.

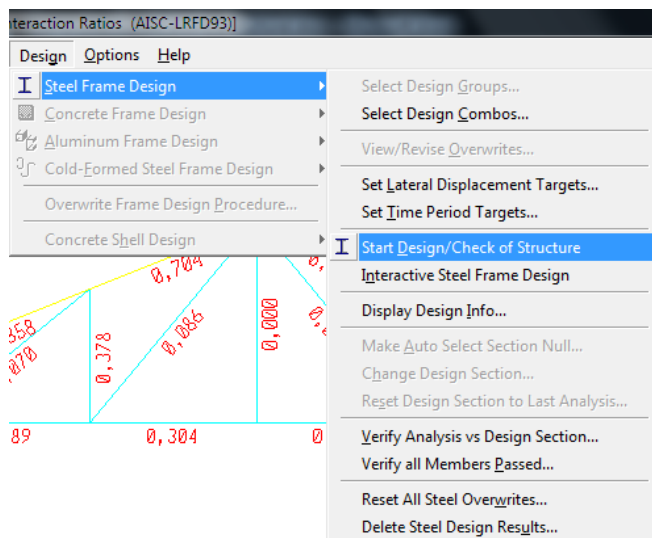


Imagen 4.35: Cambio del perfil de los elementos que no resiste.

- p. Al tener los elementos superiores del marco mayor a 1 se debe cambiar las dimensiones de los mismos hasta que el coeficiente determinado cumpla su condición.

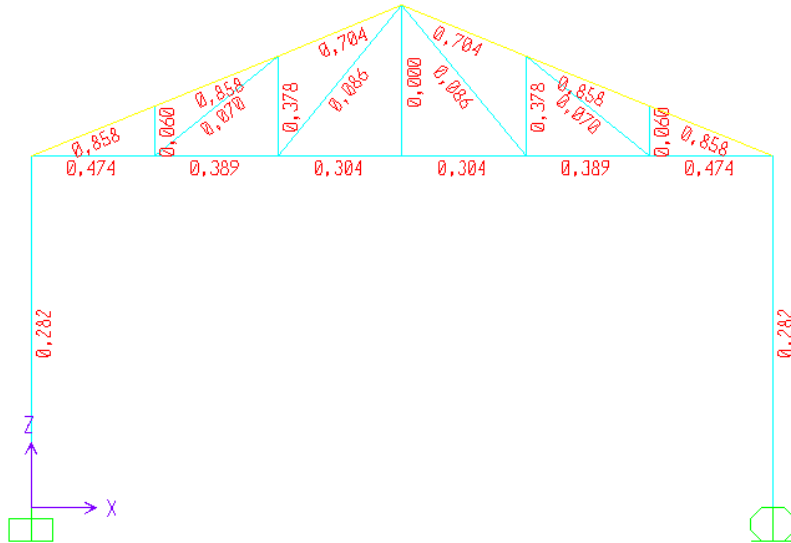


Imagen 4.36: Gráfico de la estructura con los nuevos perfiles.

Para cumplir la condición de los elementos se utilizo en la cuerda superior un CANAL U 80x40x2 con lo que se asegura que la estructura va a soportar los esfuerzos generados sobre esta.

4.2. Simulación del sistema de Distribución y despacho de lodos deshidratados.

Ahora se realizará una animación del sistema de distribución y despacho de lodos. Para este fin se ha utilizado el software de diseño mecánico Autodesk Inventor 2010.

A continuación se hará una breve explicación de cómo utilizar el software para realizar la simulación deseada.

4.2.1. Dibujo de un elemento.

- a.** Correr el programa Autodesk Inventor 2010 desde el ícono de acceso y crear un nuevo archivo con extensión *.ipt.



Imagen 4.37: Iniciar Autodesk Inventor 2010.

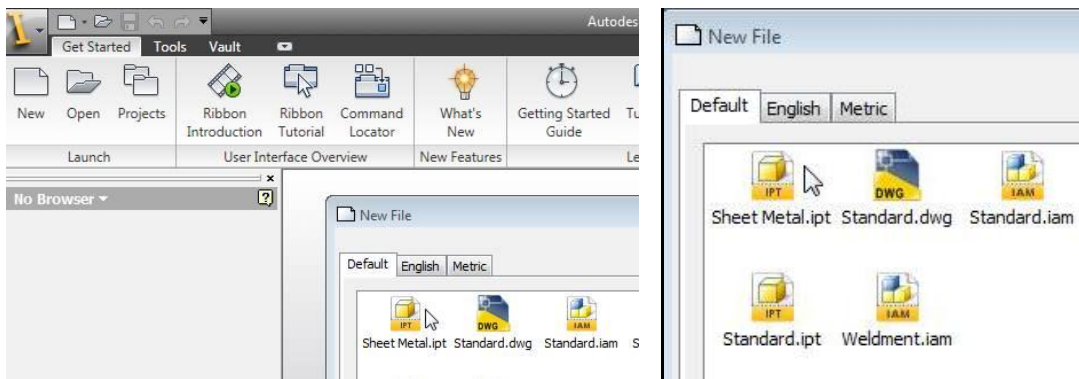


Imagen 4.38: Crear un nuevo archivo con extensión *.ipt.

- b. Con las herramientas dibujamos el perfil que queremos extruir y colocamos las medidas respectivas. Damos clic en Finish Sketch para continuar y con las herramientas de modelado se realiza la operación que se desea.

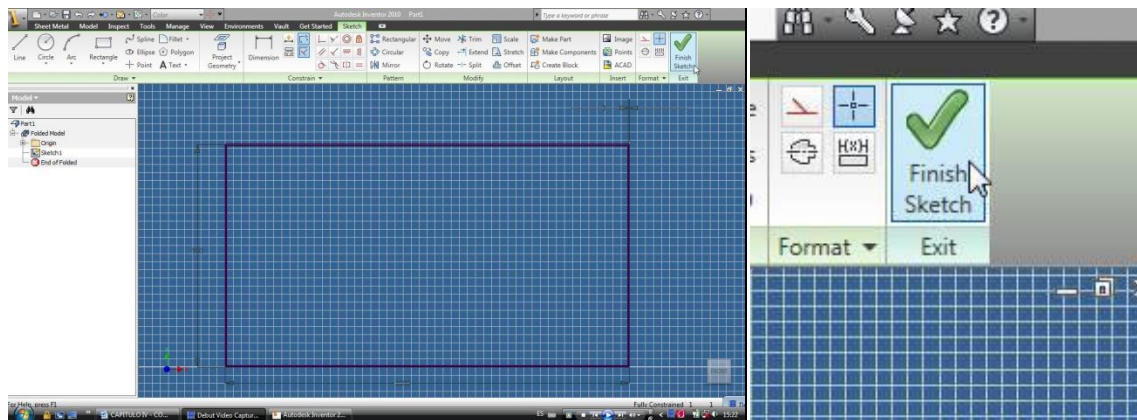


Imagen 4.39: Dibujo del perfil.

En este caso se va a dibujar la caja de transporte de lodo, para lo cual se necesita de la herramienta de extrucción.

- c. Se señala el perfil que se desea extruir y se establece la profundidad que se requiere y se da clic en ok. Se presiona la tecla F6 y se observa en perspectiva como queda el elemento.

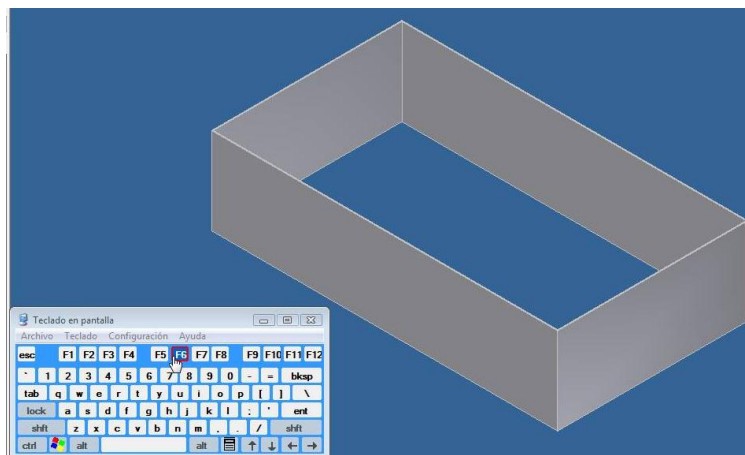
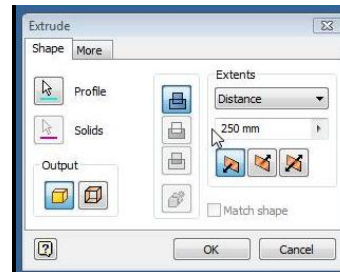
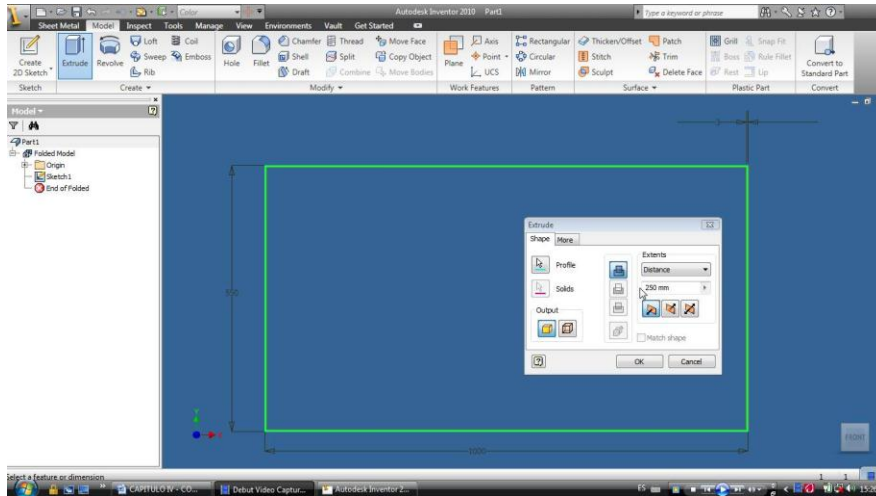


Imagen 4.40: Extrucción del perfil dibujado.

- d. Si se requiere seguir dibujando en el mismo elemento se parte de algún plano de este.

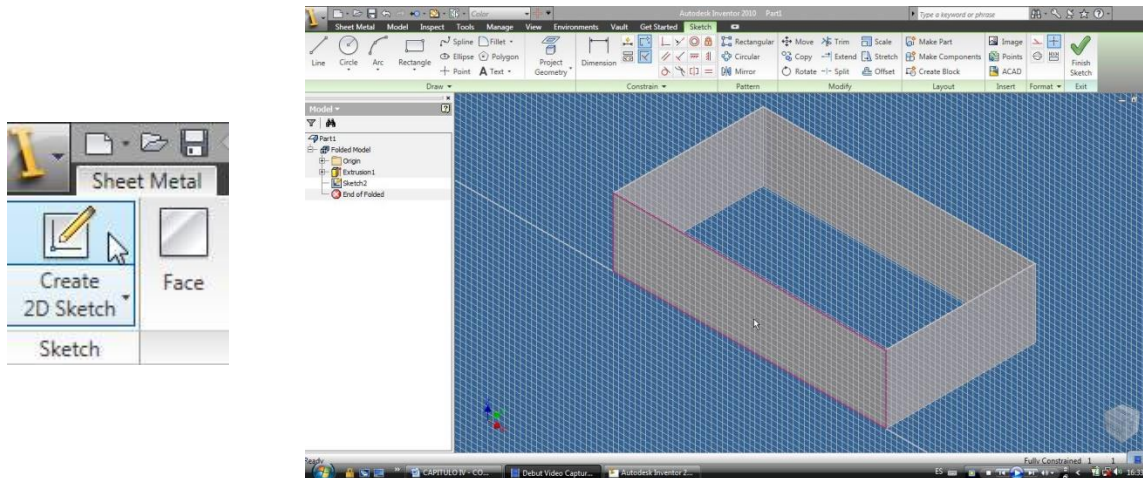


Imagen 4.41: Segundo boceto en el elemento.

- e. Se procede como en el paso *d* y se continúa cuantas veces sea necesario hasta obtener el elemento deseado.

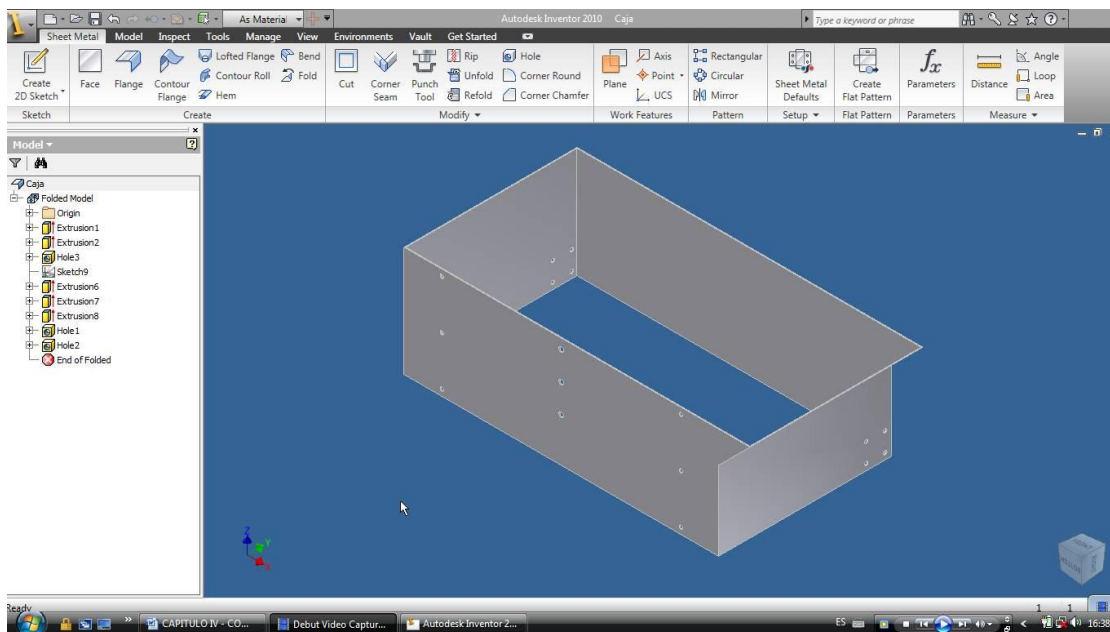


Imagen 4.42: Perspectiva del elemento terminado.

- f. Para realizar agujeros, chaflanes, roscas, etc., aplicamos todas muchas de las herramientas que tiene el software.

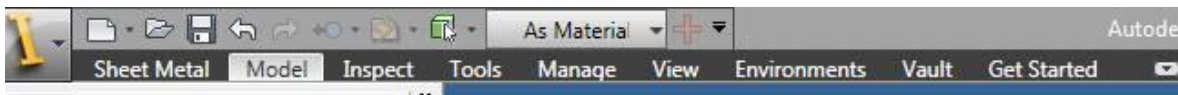




Imagen 4.43: Herramientas del Inventor 2010.

4.2.2. Montaje de un Conjunto.

- g. Se crea un nuevo archivo con extensión *.iam.

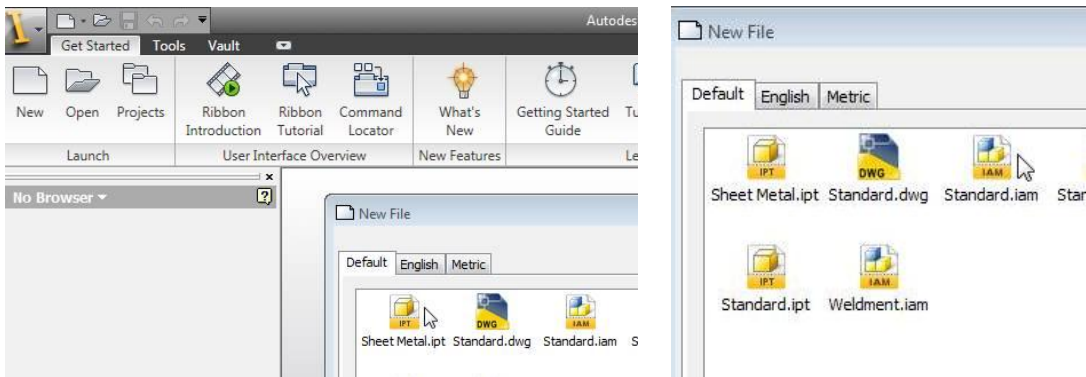


Imagen 4.44: Crear un nuevo archivo con extensión *.iam.

- h. Se llama al elemento que queremos que sea nuestro punto de referencia para todo el montaje. Esto se hace dando clic en el ícono *Place*.

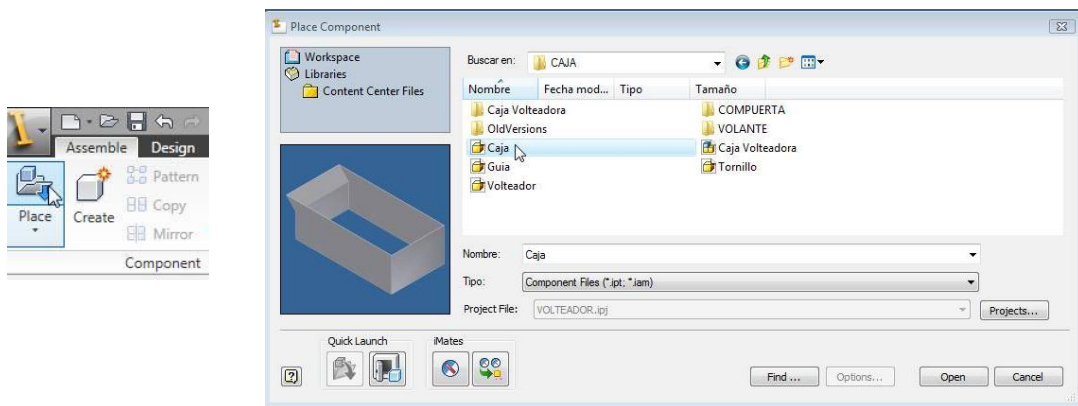


Imagen 4.45: Llamado del elemento base del conjunto.

- i. Se llama al siguiente elemento que será montado sobre el primero de igual forma como en el numeral anterior.

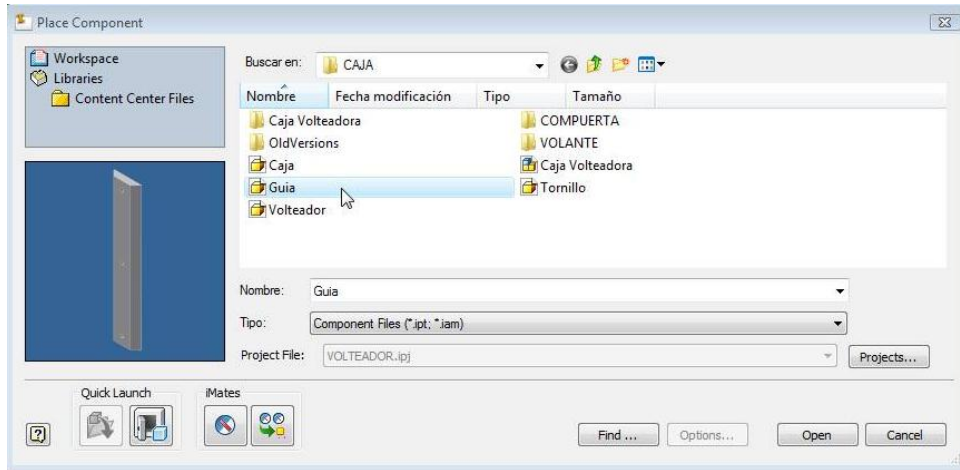


Imagen 4.46: Llamado del segundo elemento del conjunto.

- j. Aplicando restricciones, montamos el último elemento sobre el anterior. Los dos elementos deben tener medidas adecuadas para que no exista errores al momento de realizar el montaje. Para llamar a la ventana de restricciones se presiona la tecla **C**.

Esta ventana tiene algunas restricciones que ayuda a realizar el montaje. Se debe elegir la restricción adecuada para armar correctamente el conjunto. En este caso se debe elegir dos caras para que se junten la una a la otra.

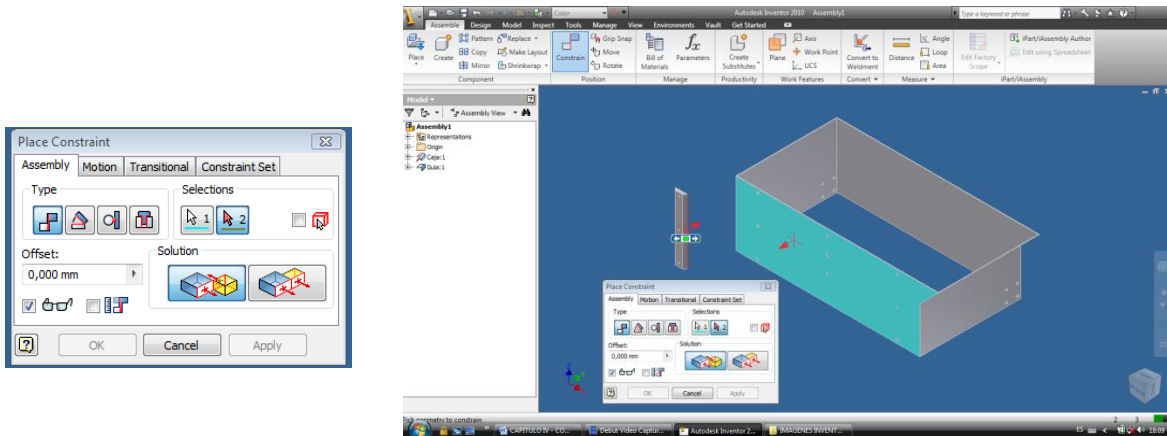


Imagen 4.47: Montaje de los elementos.

- k. Se repiten los pasos i y j hasta conseguir el conjunto armado completamente.

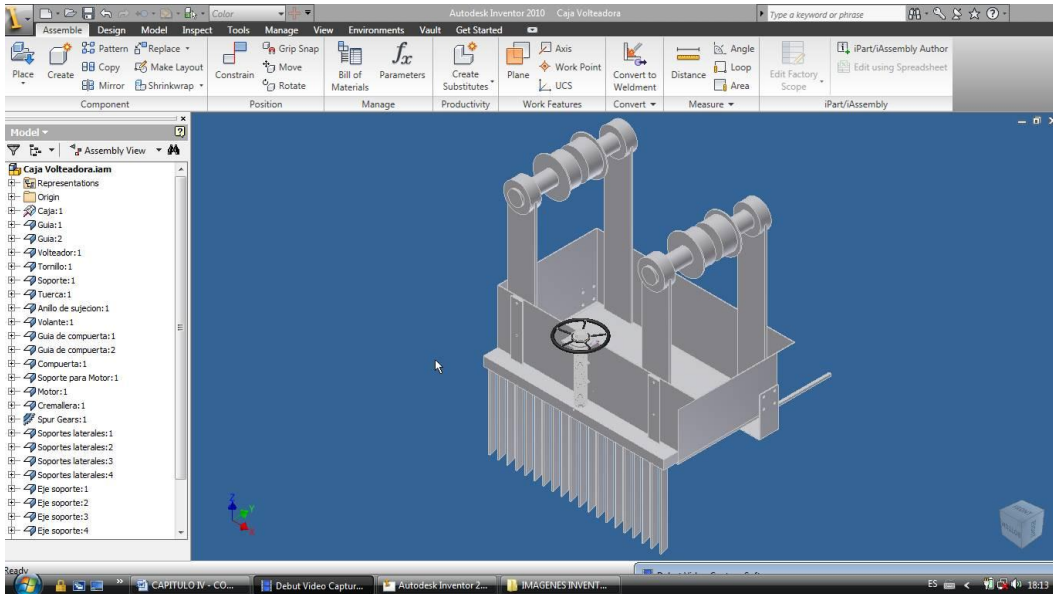


Imagen 4.48: Conjunto completo.

4.2.3. Animación de un Conjunto.

- I. Para animar un movimiento, primeramente este movimiento debe estar restringido. Para la explicación se animará el desplazamiento del barredor de este proyecto.

Se da la restricción de movimiento en los elementos correspondientes:

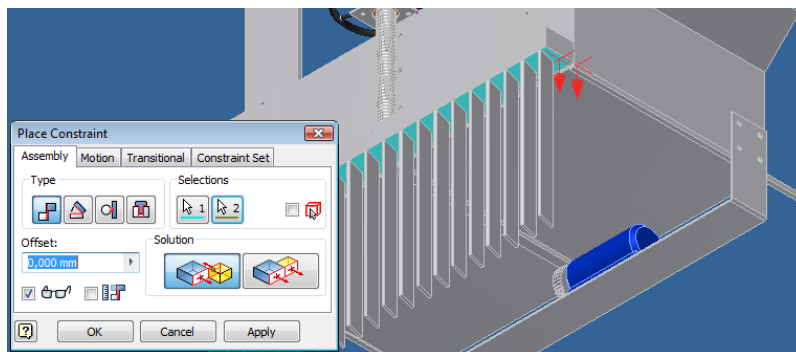


Imagen 4.49: Implementación de una restricción.

- m. Esta restricción se observa en la lista al lado izquierdo de la pantalla. Se hace clic derecho sobre esta restricción y se elige la opción *Drive Constraint*. Esto llamará a una ventana en la cual se llenará los datos de restricción, en este caso la longitud que se desplazará el barredor. Se da un clic en el botón PLAY y la animación se da de acuerdo al dato que se ingresó (300,00mm).

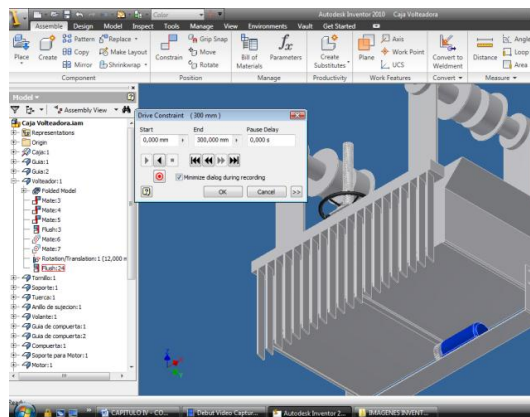
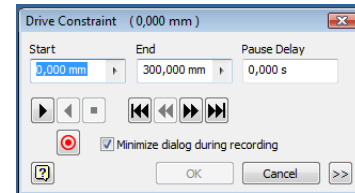
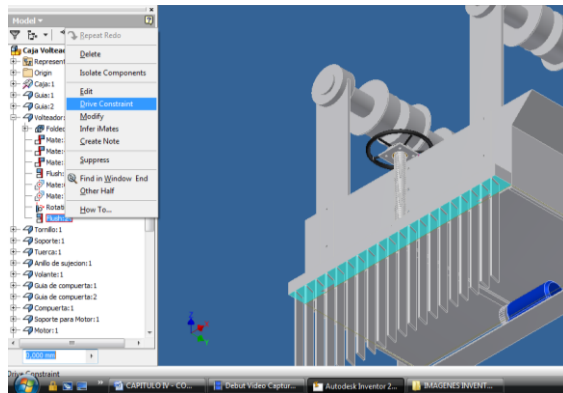


Imagen 4.50: Animación de un elemento.

La animación de cada restricción puede ser grabada, lo que se utilizó para realizar un video del funcionamiento de todo el sistema de distribución, volteo y despacho de lodo.

La simulación completa del sistema se observará en la sustentación de esta tesis. Para ello se aplicó los conceptos descritos anteriormente para cada uno de los elementos.

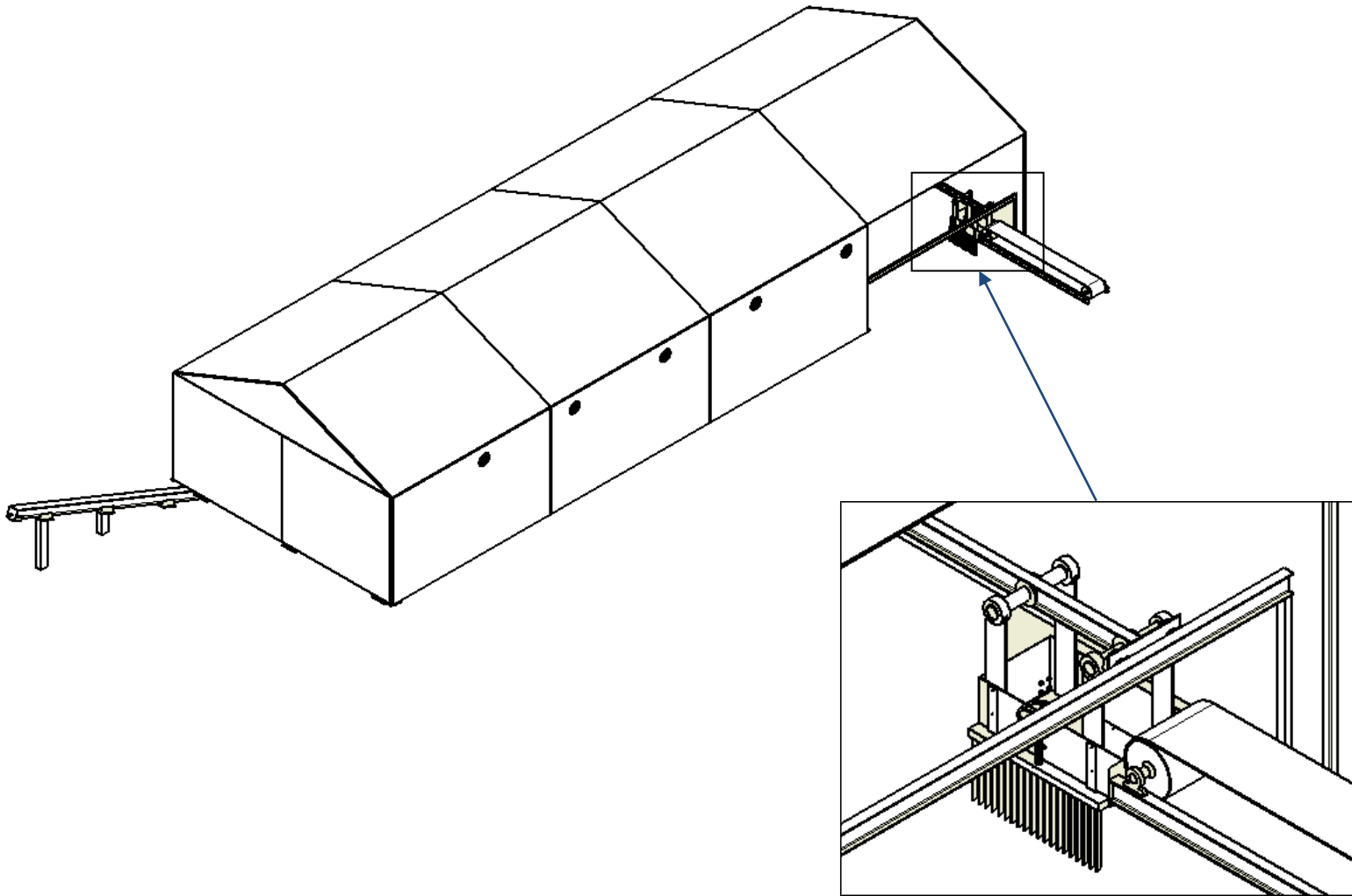


Imagen 4.51: Dibujo del Sistema Completo.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL PROYECTO.

Para finalizar el proyecto se debe realizar un análisis financiero, este análisis implica el costo del invernadero, el costo del mecanismo de distribución volteo y evacuación del lodo deshidratado y el costo del sistema de transporte, para el análisis financiero del proyecto se ha tomado valores de la base de datos del software INTERPRO otorgada por el Jefe de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sustag con la finalidad de tener un valor referencial del costo del proyecto, dentro de los suministros o valores otorgados ya se considera la mano de obra directa y los indirectos de fabricación, con lo que se ha analizado de acuerdo a las necesidades de la Empresa.

El diseño eléctrico y civil no se ha considerado por ende se obvia el análisis financiero del mismo, debido a que los proyectos dentro de la entidad se los subdividan en sistemas civiles, mecánicos, eléctricos y electrónicos, por ello este análisis se referirá únicamente a los sistemas mecánicos. Posteriormente se sugerirá a los encargados el análisis de los sistemas existentes con la finalidad de que el proyecto se complete y poder tramitar su construcción.

Los elementos que se emplearan para la construcción del proyecto se los puede conseguir dentro del mercado nacional con la finalidad de que se designe el presupuesto necesario de una manera rápida para la implementación, al tener un abastecimiento de repuestos locales se asegura que el mantenimiento será eficaz.

Con respecto al costo de la mano de obra indirecta la empresa se encarga de designar o contratar al personal que realizara el diseño, análisis y fiscalización, este monto se detalla a continuación.

CARGO	# PERSONAS	DIAS	V.TOTAL
Director del proyecto (Ingeniero Fiscalizador)	1	45	1800

Tabla 5.1: Costo de Mano de obra indirecta.

RUBRO 1

SUMINISTRO E INSTALACION DEL INVERNADERO PARA EL PROCESO DE SECADO DE LOS LODOS DESHIDRATADOS OBTENIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SUSTAG.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
Suministro e Instalación Perfilería Metálica incluye tornillos, soldadura y pintado.	kg	897,82	3,95	3546,39
Suministro e Instalación Mampostería de ladrillo con mortero 1:3.	m2	77,74	20,84	1620,10
Suministro e Instalación de ventilador axial modelo 315; 1Hp.	unidad	6,00	293,43	1760,58
Suministro e Instalación de ventoleras de renovación de aire 32 x 20 cm en Acero A36	unidad	4,00	43,16	172,64
Suministro e Instalación de pistón de doble efecto vesto 60 – 350.	unidad	1,00	427,25	427,25
Suministro e Instalación Lámparas fluorescentes 2x40 W.	unidad	10,00	34,62	346,20
Suministro e Instalación de policarbonato transparente de 1,20 x 6 m e = 6mm.	unidad	48,00	101,49	4871,52
Alquiler de Andamios.	hora	80,00	0,11	8,80
TOTAL				12753,48

- *Costo total*

DESCRIPCION	VALOR TOTAL
TOTAL DEL RUBRO 1	12753,48
TOTAL	12753,48

Tabla 5.2: Costo de la estructura del Invernadero.

RUBRO 2

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, VOLTEO Y TRANSPORTE DEL LODO DESHIDRATADO.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
Suministro e Instalación Acero inoxidable 304 incluye tornillos, soldadura y pintado.	kg	531,21	11,82	6278,95
Suministro e Instalación Perfilería Metálica incluye tornillos, soldadura y pintado.	kg	758,84	3,95	2997,40
Suministro e Instalación de Acero St 36 incluye tornillos arandelas anillos seiger.	kg	73,55	5,55	408,22
Suministro e Instalación de volante en fundición gris diámetro 250mm.	kg	5,00	21,57	107,85
TOTAL				9792,43

- *Costo total*

DESCRIPCION	VALOR TOTAL
TOTAL DEL RUBRO 2	9792,43
TOTAL	9792,43

Tabla 5.3: Costo del sistema de distribución, volteo y transporte de lodos.

RUBRO 3

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DEL LODO DESHIDRATADO OBTENIDO DESPUÉS DEL SECADO.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
Suministro e instalación de tornillos sin fin 9 in de diámetro y 7,5m de longitud.	unidad	2,00	13300,12	26600,24
Suministro e Instalación Perfilería Metálica incluye tornillos, soldadura y pintado.	kg	35,31	3,95	139,47
TOTAL				26739,71

- *Costo total*

DESCRIPCION	VALOR TOTAL
TOTAL DEL RUBRO 3	26739,71
TOTAL	26739,71

Tabla 5.4: Costo de la evacuación de lodos.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Este total es un valor referencial y es la suma de las cantidades totales generadas en cada rubro y el valor de la mano de obra indirecta, el cuadro a continuación indica el valor total del proyecto para el sistema mecánico, de esta manera se analizan los proyectos que se generan dentro de la Institución con la finalidad de luego licitar y construir.

RUBROS	MANO DE OBRA INDIRECTA	COSTO TOTAL
SUMINISTRO E INSTALACION DEL INVERNADERO PARA EL PROCESO DE SECADO DE LOS LODOS DESHIDRATADOS OBTENIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SUSTAG	1800,00	12753,48
SUMINISTRO E INSTALACION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN, VOLTEO Y TRANSPORTE DEL LODO DESHIDRATADO		9792,43
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DEL LODO DESHIDRATADO OBTENIDO DESPUÉS DEL SECADO		26739,71
TOTAL		51085,62

Tabla 5.5: Costo Total del Proyecto.

Gastos generados por la producción y envío del lodo deshidratado hacia el relleno sanitario de PICHACAY.

- Costo por metro cubico de lodo

DESCRIPCION	UNIDA D	CANTIDA D	V. UNIT.	V. TOTAL
Transporte de material hasta 5 km	m3	1,00	2,05	2,05
Transporte de material más de 5 km	m3 x km	1,00	0,27	6,75
Cargado de material a maquina	m3	1,00	1,09	1,09
Pago a EMAC por almacenamiento en escombrera	m3	1,00	15,00	15,00
TOTAL				24,89

Tabla 5.6: Costo por metro cubico de lodo transportado y desechado.

- Costo por envío mensual de lodo deshidratado (lodo entre el 80 y 90 % de sólidos totales, sin secado, no se cumple con la norma de biosólidos).

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
Suministro de transporte, cargado y almacenado	m ³	31,80	24,89	791,50
Mecánico de mantenimiento	hora	20	3,02	60,40
Suministro de mantenimiento	mes	1	75	75,00
TOTAL				926,90

Tabla 5.7: Costo mensual por evacuación de lodos con humedad entre 80% y 90%.

- Costo por envío mensual de lodo deshidratado (lodo entre el 60 y 70 % de sólidos totales, secados, cumpliendo con la norma de biosólidos)

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT.	V. TOTAL
Suministro de transporte, cargado y almacenado	m ³	21,20	24,89	527,67
Mecánico de mantenimiento	hora	20	3,02	60,40
Suministro de mantenimiento	mes	1	75	75,00
TOTAL				663,07

Tabla 5.8: Costo mensual por evacuación de lodos con humedad entre 60% y 70%.

Realizando la diferencia de los costos generados por los lodos sin secar y con los lodos con la humedad reducida se obtiene un ahorro de 263,83 por mes por lo tanto se plantea el análisis de la Tasa interna de retorno (TIR) y el Valor actual neto (VAN) de la siguiente manera, con el objetivo de determinar si el proyecto es factible económicamente.

FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

Según el departamento Financiero de la empresa los proyectos que se generan tiene una tasa de rentabilidad promedio del 20%, esta tasa es referencial para la mayoría de proyectos en el área de Telecomunicaciones, no obstante sucede con el área de Agua Potable donde la mayoría de proyectos tienen un índole social, por lo que no interesa obtener una ganancia representativa a corto plazo.

Con la inversión realizada obtenemos un ahorro como ya se indico anteriormente, con este ahorro generado determinaremos el número de años en los que la empresa recuperará la inversión y la tasa anual de retorno, por lo tanto se obtiene:

TIR y VAN		
Inversión inicial	-51085,62	
AÑOS	1	3166,008
	2	3166,008
	3	3166,008
	4	3166,008
	5	3166,008
	6	3166,008
	7	3166,008
	8	3166,008
	9	3166,008
	10	3166,008
	11	3166,008
	12	3166,008
	13	3166,008
	14	3166,008
	15	3166,008
	16	3166,008
	17	3166,008
VAN	0,00	
TIR	1%	

Tabla 5.5: Cuadro del cálculo del TIR y VAN

Como indica el análisis la inversión se recuperara en 17 años con una tasa de rentabilidad del 1%. Por lo tanto desde el punto de vista financiero el proyecto no es factible.

Al ser un proyecto con el cual se trata de cumplir con la Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos, y al disponer de fondos requeridos se vuelve viable la construcción del mismo por las siguientes razones:

- El funcionamiento y análisis de este sistema de secado de lodos deshidratados servirá como un prototipo para una posible implementación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, donde la producción de lodo oscila entre 45 y 50 metros cúbicos diarios de este tipo de material.

- ETAPA EP al implementar este sistema no solo genera ahorro como tal sino que promueve la reducción del volumen ocupacional en el relleno sanitario, con lo que se incrementa la vida útil del mismo y genera un impacto ambiental positivo.

Enfocando al proyecto desde un punto de vista diferente al de servicio, y con una empresa privada de por medio donde la rentabilidad financiera es un aspecto primordial, el periodo de recuperación es extenso y la tasa de rentabilidad es baja, conociendo que las inversiones se las realiza máximo a un plazo de recuperación de 10 años y con una tasa de rentabilidad mayor al 8%.

CONCLUSIONES

Para el término del proyecto se ha concluido que:

Es necesario dar un secado a los lodos deshidratados que se generan en las plantas de tratamiento de agua potable con los diferentes métodos de deshidratación debido a que estos contienen una humedad mayor a la que indica la entidad que norma este tipo de desechos.

En la gran mayoría de plantas de los países desarrollados secan estos lodos utilizando diferentes técnicas, la más utilizada en estas plantas es la transferencia de calor con invernaderos de secado los mismos que tienen un efecto ambiental positivo y son eficientes. En el Ecuador y en Cuenca únicamente la planta de Sustag consta de este sistema de deshidratación los mismos que no cumplen con la norma correspondiente para ser evacuados, debido a esto el interés por parte de la empresa sabiendo que las leyes ambientales son estrictas y evitar pagar multas generadas por este inconveniente.

Al ser algo nuevo dentro de nuestro país no se obtuvo bases suficientes para el diseño de los diferentes sistemas que complementan este proyecto así que nos basamos en sistemas existentes en países como: México, España, Brasil y países desarrollados, donde ya existen estudios y análisis concretos de este tipo de sistemas con periodos de 3 a 5 años.

Una de las ventajas en nuestro país es contar con un clima de dos estaciones lo que permite que la radiación solar sea no tenga cambios bruscos, lo mismo que no sucede con países que disponen de cuatro estaciones, en donde según las investigaciones realizadas estos aprovechan la radiación del sol seis meses por lo que en algunas plantas el resto del año generan intercambio de calor con diferentes mecanismos que aportan calor al interior del invernadero lo que implica un costo adicional en el secado del lodo.

A causa de que el material que será transportado es corrosivo, se decidió utilizar en los elementos de contacto directo con este material un acero inoxidable 304 el cual resiste los posibles daños que se podrían dar con un acero normal.

El material traslúcido que se usará es el policarbonato que para el fin necesario funciona muy bien, este es más costoso que el vidrio pero se lo utilizó por ser más liviano y duradero.

En la actualidad, se debe transportar alrededor de 32 m³ de lodo deshidratado al mes, lo que implica un costo de \$ 932 por transporte hacia el relleno sanitario y ubicación en el mismo. Pero con el sistema que se implementará, se reducirá este volumen a 21 m³ al mes, por lo que se pagaría \$ 658 por los rubros mencionados, de esto se podrá obtener un ahorro de \$ 274 mensuales.

De lo anterior se puede decir que la inversión se pagará en 22 años, que en verdad es un plazo largo que para una empresa privada no le sería factible construir, pero como es para una empresa pública y encaminada al servicio social, lo que interesa más que la recuperación de la inversión es el cuidado del medio ambiente y sobre todo en el que está ubicada la planta de tratamiento la misma que es un área protegida.

Este proyecto servirá como prototipo para instalar un sistema similar pero mucho más grande en las Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, por lo que es de mucha importancia que se lleve adelante la implementación del Invernadero y realizar las pruebas necesarias para poder mejorar en el funcionamiento del mismo.

RECOMENDACIONES

Una de las principales recomendaciones es complementar el análisis mecánico realizado en este proyecto con el análisis eléctrico – electrónico y civil si existiera, con la finalidad de completar y licitar el proyecto, para obtener el objetivo deseado que es su construcción y funcionamiento, el mismo que generaría el secado y cumplimiento de la norma de los semisólidos para ser depositados en el relleno sanitario.

Una vez construido el sistema se recomienda que este se lo estudie y se analice para obtener una base de datos que permita que el sistema sea más eficiente con lo que se genera recursos económicos positivos que beneficiarían a la empresa los mismos que pueden ser utilizados para implementar nuevos e innovadores proyectos.

Además recomendamos al personal encargado en operar el Filtro Banda ya existente en la planta que se realice el proceso de deshidratación lo más eficiente posible para que el lodo que se deposite en el invernadero tenga las características utilizadas en el análisis de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- 1** JOSEPH, E. Bowles “Diseño de Acero Estructural”, Edit. Limusa Grupo Noriega, 1ra Ed. 1984.
- 2** SHIGLEY, Joseph Edward “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Edit. Mc Graw Hill, Ed. 5ta Ed.
- 3** BEER, Ferdinand P. “Mecánica de Materiales”, Edit. Mc Graw Hill, 3ra edición.
- 4** McCORMAC, Jack C. “Diseño de Estructural Metálicas”, Edit. Alfaomega, Ed. 1991.
- 5** CENGEL, Yanus “Transferencia de Calor”, Tomo II, Edit. Mc Graw Hill, 2da Ed. México 2004.
- 6** CENGEL, Yanus “Termodinámica”, Tomo II, Edit. Mc Graw Hill, 2da Ed. México 2003.
- 7** HOLMAN, J.P “Transferencia de Calor”, Tomo II, Edit. Mc Graw Hill, 8va Ed. España 1998.
- 8** “Manual Técnico del Agua”, Edit. Degrémt, 4ta Ed. 1979
- 9** CAMINOSCA C. Ltda. “Manual de operación y mantenimiento de la planta de Agua Potable Sustag” 2005 – 2008
- 10** ARBOLEDA, Valencia J. “Teoría práctica de la purificación del agua”, Tomo I – II Edit. Mc Graw Hill, 3ra Ed. 2000.
- 11** SHIGLEY, Joseph E. “Diseño en ingeniería mecánica”, Edit. Mc Graw Hill, 6ta. Ed. Mexico 2002.
- 12** NORTON, Robert L. “Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos”, Edit. Mc Graw Hill. México. 2005.
- 13** Instalador de máquinas y equipos industriales: Manual técnico de montaje, instalación, ajuste y comprobación, Ideas Propias Edit. Vigo. 2004.

14 Catalogo de Perfiles Estructurales de la DIPAC

15 Catalogo de Aceros Especiales IBCA

PAGINAS ELECTRONICAS

- ~ www.gruptefsa.com
- ~ www.dismet.com
- ~ www.isecsa.com/Lodos%20EDAR.htm
- ~ www.fortunecity.es/felices/andorra/51/tratamiento-de-lodos.htm
- ~ www.suratep.com/cistema/articulos/267/seguridad-en-silos.pdf
- ~ www.wikipedia.org
- ~ www.monografias.com/trabajos78/metodologia-calculo-transportadores-banda
- ~ www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s05htm
- ~ www.alcristal.com
- ~ www.monografias.com/trabajospdf2/disenio-armaduras-techopdf
- ~ www.infoagro.com
- ~ www.yacutec.com/documento/SSOLAR-01_secado_solar_para_lodos_de_depuracion.pdf
- ~ www.uacj.mx/ICB/RedCIB/publicaciones/Tesis

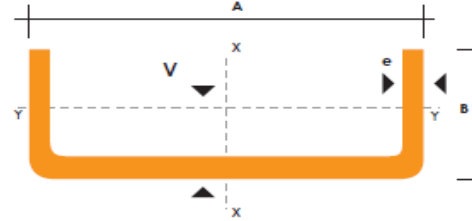
ANEXOS

ANEXO 3.1

PERFILES ESTRUCTURALES CANALES "U"

Especificaciones Generales

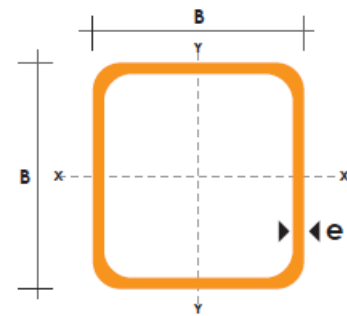
Norma	INEN 1 623: 2000
Otras calidades	Previa consulta
Largo normal	6mts
Otros largos	Previa consulta
Espesores	Desde 1.5mm hasta 12mm
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm ²	I	W	I	I	W	I	x
mm	mm	mm	kg	kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
40	25	2	7.86	1.31	1.67	4.20	2.10	1.59	1.06	0.62	0.80	0.79
50	25	2	8.82	1.47	1.87	7.06	2.83	1.94	1.13	0.63	0.78	0.72
50	25	3	12.72	2.12	2.70	9.70	3.88	1.89	1.57	0.91	0.76	0.77
60	30	2	10.62	1.77	2.26	12.50	4.16	2.35	2.00	0.93	0.94	0.85
60	30	3	15.54	2.59	3.30	17.50	5.85	2.31	2.84	1.34	0.93	0.89
60	30	4	19.80	3.30	4.20	21.10	7.03	2.24	3.51	1.72	0.91	0.95
80	40	2	14.46	2.41	3.07	30.80	7.71	3.17	4.89	1.68	1.26	1.09
80	40	3	21.24	3.54	4.50	43.90	11.00	3.12	7.01	2.45	1.25	1.14
80	40	4	27.66	4.61	5.87	55.40	13.90	3.07	8.92	3.17	1.23	1.19
80	40	5	34.44	5.74	7.18	65.49	16.37	3.02	10.62	3.83	1.21	1.23
80	40	6	40.44	6.74	8.42	74.18	18.54	2.96	12.10	4.44	1.19	1.28
100	50	2	18.24	3.04	3.87	61.50	12.30	3.99	9.72	2.66	1.58	1.34
100	50	3	26.88	4.48	5.70	88.50	17.70	3.94	14.10	3.89	1.57	1.39
100	50	4	35.22	5.87	7.47	113.00	22.60	3.89	18.10	5.07	1.56	1.44
100	50	5	43.20	7.20	9.18	135.00	27.10	3.84	21.80	6.19	1.53	1.48
100	50	6	51.96	8.66	10.82	155.26	31.05	3.79	25.14	7.24	1.52	1.53
100	60	4	38.28	6.38	8.13	128.00	25.60	3.97	29.70	7.17	1.91	1.86
100	60	5	46.86	7.81	9.95	152.00	30.50	3.91	35.70	8.76	1.90	1.92
100	60	6	57.72	9.62	12.02	181.80	36.36	3.89	42.25	10.38	1.87	1.93
100	60	8	74.40	12.40	15.50	22.60	44.52	3.78	52.47	13.32	1.83	2.06
125	50	2	20.58	3.43	4.37	103.60	16.50	4.86	10.40	2.74	1.54	1.20
125	50	3	30.42	5.07	6.45	149.00	23.90	4.81	15.10	4.02	1.53	1.24
125	50	4	39.90	6.65	8.47	192.00	30.70	4.76	19.40	5.24	1.51	1.29
125	50	5	49.14	8.19	10.40	231.00	37.00	4.71	23.40	6.40	1.50	1.34
125	50	6	59.16	9.86	12.32	266.00	42.67	4.65	27.19	7.51	1.48	1.38
125	60	5	53.82	8.97	11.43	266.98	42.71	4.83	39.36	9.15	1.86	1.70
125	60	6	64.92	10.82	13.52	309.25	49.48	4.78	45.85	10.78	1.84	1.75
125	60	8	84.00	14.00	17.50	383.34	61.33	4.68	57.30	13.94	1.80	1.81
125	80	6	76.44	12.74	15.92	394.28	63.08	4.97	102.94	19.10	2.54	2.61
125	80	8	99.30	16.55	20.69	493.02	78.88	4.88	130.27	24.30	2.50	2.64
125	80	10	120.96	20.16	25.21	576.62	92.25	4.78	154.19	29.31	2.47	2.74
150	50	2	22.92	3.82	4.87	159.00	21.10	5.71	10.90	2.80	1.50	1.09
150	50	3	33.96	5.66	7.20	230.00	30.70	5.65	15.90	4.11	1.49	1.13
150	50	4	44.64	7.44	9.47	297.00	39.60	5.60	20.50	5.36	1.47	1.17
150	50	5	55.02	9.17	11.70	359.00	47.90	5.55	24.80	6.55	1.46	1.22
150	50	6	66.36	11.06	13.82	416.69	55.55	5.49	28.80	7.70	1.44	1.26
150	60	5	59.70	9.95	12.68	441.85	54.91	5.7	41.72	9.40	1.81	1.56
150	60	6	72.12	12.02	15.02	478.93	63.85	5.64	48.70	11.07	1.80	1.60
150	60	8	93.60	15.60	19.50	598.74	79.83	5.54	61.15	14.35	1.77	1.74
150	80	6	83.64	13.94	17.42	603.42	80.45	5.88	109.91	19.73	2.51	2.43
150	80	8	108.90	18.15	22.69	760.23	101.36	5.78	139.53	25.09	2.47	2.44
150	80	10	132.96	22.16	27.71	896.29	119.50	5.68	165.85	30.37	2.44	2.54

ANEXO 3.2

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPELOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



ANEXO 3.3

Emisividad de las superficies

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ε	Material	Temperatura, K	Emisividad, ε
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

ANEXO 3.4

Tabla de calores específicos de gas ideal de varios gases

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes					
a) A 300 K					
Gas	Fórmula	Constante de gas, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C ₄ H ₁₀	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO ₂	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C ₂ H ₆	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C ₂ H ₄	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H ₂	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH ₄	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N ₂	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C ₈ H ₁₈	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O ₂	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C ₃ H ₈	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H ₂ O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

ANEXO 3.5

Propiedades del aire seco a la presión atmosférica

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía
	(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)
-15	0.7304	1.3691	0.6722
-14	0.7332	1.3638	0.9123
-13	0.7363	1.3581	1.1523
-12	0.7391	1.3530	1.3923
-11	0.7422	1.3473	1.6323
-10	0.7453	1.3416	1.8779
-9	0.7480	1.3369	2.1179
-8	0.7511	1.3313	2.3579
-7	0.7538	1.3266	2.5980
-6	0.7563	1.3222	2.8390
-5	0.7591	1.3173	3.0835
-4	0.7619	1.3125	3.3235
-3	0.7650	1.3072	3.5636
-2	0.7678	1.3024	3.8036
-1	0.7706	1.2977	4.0447
0	0.7734	1.2928	4.2892
1	0.7756	1.2893	4.5292
2	0.7790	1.2837	4.7692
3	0.7822	1.2784	5.0148
4	0.7850	1.2739	5.2547
5	0.7878	1.2693	5.4948
6	0.7908	1.2645	5.7404
7	0.7933	1.2605	5.9803
8	0.7961	1.2562	6.2204
9	0.7988	1.2518	6.4615
10	0.8015	1.2476	6.7060
11	0.8044	1.2431	6.9460
12	0.8076	1.2381	7.1860
13	0.8104	1.2339	7.3983
14	0.8131	1.2297	7.6716
15	0.8159	1.2256	7.9116
16	0.8188	1.2213	8.1183
17	0.8217	1.2168	8.3972

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpía
	(m³/kg)	(kg/m³)	(kcal/kg)
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996
30	0.8583	1.1650	11.5396
31	0.8612	1.1611	11.7796
32	0.8645	1.1567	12.0252
33	0.8672	1.1531	12.2652
34	0.8700	1.1494	12.5052
35	0.8727	1.1458	12.7564
36	0.8756	1.1420	12.9908
37	0.8786	1.1382	13.2308
38	0.8816	1.1343	13.4764
39	0.8843	1.1308	13.7164
40	0.8871	1.1273	13.9620
41	0.8900	1.1236	14.2020
42	0.8932	1.1196	14.4420
43	0.8957	1.1164	14.6820
44	0.8987	1.1127	14.9276
45	0.9014	1.1093	15.1676
46	0.9042	1.1059	15.4132
47	0.9073	1.1021	15.6532
48	0.9100	1.0988	15.8955
49	0.9129	1.0954	16.1400
50	0.9158	1.0919	16.3900

ANEXO 3.6

Selección de Ventiladores

Tabla de Selección

AIRE ESTÁNDAR – Temperatura 20°C – Presión Barométrica 760 mmHg – Densidad 1,205 kg/m³.

MODELO	ROTACIÓN r.p.m.	MOTOR hp	CORRIENTE NOMINAL 1) 220V	NIVEL DE RUIDO 2) dB (A)	CAUDAL DE AIRE Q (m³/h) X PRESIÓN ESTÁTICA Pst (mmca)										CAUDAL DE AIRE X PRESIÓN EST. MÁX.	
					0	5	10	15	20	25	30	35	40	Q	Pst MÁX.	
315	3500	1	3,4	73	5152	5026	4935	4748	4501	4272	4050	3606	-	3206	37	
	1750	0,16	1,0	57	2576	2250	-	-	-	-	-	-	-	1603	9,3	
	1150	0,16	1,1	46	1692	-	-	-	-	-	-	-	-	1053	4,0	
355	3500	2	6,2	77	7374	7214	7133	6984	6746	6465	6199	5962	5667	4589	47	
	1750	0,25	1,4	60	3687	3373	2833	-	-	-	-	-	-	2294	12	
	1150	0,16	1,1	50	2423	1580	-	-	-	-	-	-	-	1507	5,1	
400	3500	3	10	80	10549	10349	10258	10142	9947	9674	9359	9047	8764	6565	60	
	1750	0,5	2,2	64	5247	4973	4382	-	-	-	-	-	-	3282	15	
	1150	0,16	1,1	54	3466	2768	-	-	-	-	-	-	-	2157	6,5	
450	3500	6	16	84	15021	14773	14656	14556	14405	14179	13883	13539	13180	9348	76	
	1750	0,75	3,2	68	7510	7202	6590	5950	-	-	-	-	-	4674	19	
	1150	0,25	1,4	57	4935	4188	-	-	-	-	-	-	-	3071	8,2	
500	3500	10	28	87	20604	20309	20156	20050	19925	19747	19500	19187	18823	12823	93	
	1750	1,5	5,2	71	10302	9962	9411	8643	7881	-	-	-	-	6411	23	
	1150	0,33	2,2	61	6770	6021	-	-	-	-	-	-	-	4213	10	
	850	0,16	1,3	54	5004	3665	-	-	-	-	-	-	-	3114	5,5	
560	1750	2	6,5	74	14474	14069	13620	12787	11965	11095	-	-	-	9007	29	
	1150	0,75	3,6	64	9511	8795	7543	-	-	-	-	-	-	5919	12	
	850	0,25	2,0	57	7030	5726	-	-	-	-	-	-	-	4375	6,9	
630	1750	4	12	78	20608	20104	19742	18992	18004	17088	16202	14425	-	12825	37	
	1150	1	4,2	67	13542	12846	11438	9576	-	-	-	-	-	8428	16	
	850	0,5	2,6	61	10010	8631	-	-	-	-	-	-	-	6229	8,8	
710	1750	7,5	21	81	29498	28859	28533	27936	26984	25860	24798	23851	22670	18358	47	
	1150	2	7,6	71	19385	18653	17268	15707	-	-	-	-	-	12063	20	
	850	1	4,8	65	14328	12979	10547	-	-	-	-	-	-	8916	11	
800	1750	12,5	34	85	42198	41396	41034	40571	39788	38696	37438	36188	35057	26261	60	
	1150	4	14	75	27730	26887	25712	23822	22144	-	-	-	-	17257	25	
	850	1,5	6,6	68	20496	19210	16783	-	-	-	-	-	-	12755	14	
900	1750	25	66	89	60084	59092	58627	5824	57620	56717	55532	54159	52722	37392	76	
	1150	7,5	22	78	39483	38449	37514	35639	33508	31653	28585	-	-	24572	32	
	850	3	12	72	29183	27896	25280	22557	-	-	-	-	-	18161	18	
1000	1750	40	98	92	82419	81238	80626	80200	79703	78989	78000	76749	75294	51292	93	
	1150	12,5	38	81	54161	52891	52100	50482	48169	45830	43785	41101	-	33706	40	
	850	5	19	75	40032	38641	36211	33118	29323	-	-	-	-	24913	22	

1) In en 380V – In 220V x 0,557

2) distancia 1,5m – sonido directo, campo libre (ver Término de Responsabilidad Técnica OTAM, ítem 5). Valores medidos estimados para aspiración y descarga.

ANEXO 3.7

Tabla II. HUMEDAD ABSOLUTA EN GRAMOS DE AGUA/KG DE AIRE SECO. DATOS PSICROMÉTRICOS DEL AIRE HÚMEDO A 1 ATMÓSFERA DE PRESIÓN.

T °C	Humedad Relativa %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
-20	0.071	0.157	0.257	0.301	0.332	0.454	0.654	0.875	0.395	0.494
0	0.375	0.792	1.153	1.527	1.915	2.310	2.690	3.068	3.469	3.819
5	0.529	1.098	1.613	2.135	2.681	3.217	3.762	4.277	4.840	5.351
10	0.736	1.497	2.221	2.939	3.694	4.412	5.164	5.856	6.675	7.385
15	1.013	2.013	3.021	3.999	5.025	5.973	6.992	7.899	9.126	10.075
20	1.381	2.679	4.066	5.385	6.757	7.987	9.362	10.524	12.371	13.598
25	1.863	3.534	5.418	7.179	8.983	10.555	12.415	13.871	16.608	18.152
30	2.487	4.621	7.149	9.475	11.809	13.787	16.316	18.104	22.061	23.961
35	3.285	5.991	9.339	12.379	15.352	17.807	21.253	23.413	28.976	31.272
40	4.291	7.699	12.079	16.009	19.743	22.750	27.437	30.008	37.624	40.355
45	5.543	9.807	15.470	20.493	25.121	28.763	35.103	38.125	48.298	51.503
50	7.083	12.382	19.619	25.973	31.640	36.004	44.510	48.021	61.317	65.034
55	8.956	15.498	24.647	32.601	39.463	44.645	55.939	59.978	77.019	81.288
60	11.211	19.235	30.681	40.542	48.768	54.867	69.696	74.303	95.770	100.630
65	13.900	23.676	37.858	49.972	59.742	66.863	86.110	91.324	117.956	123.448
70	17.079	28.914	46.325	61.078	72.584	80.840	105.533	111.393	143.990	150.151
75	20.807	35.046	56.238	74.062	87.507	97.014	128.341	134.886	174.306	181.176

ANEXO 3.8

Características de Tornillo Transportador DISMET.

