

Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela Ingeniería Mecánica

"DISEÑO DE MÁQUINA VOLTEADORA DE COMPOST"

Tesis para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Profesor Patrocinante:

Sr. Héctor Noriega F.

M. Sc. Ingeniería de Producción,

D. Sc Ingeniería de Producción.

Jorge Ernesto Montero Avendaño Valdivia – Chile 2006 El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes de Trabajo de Titulación comunican al Director de Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación del señor:

JORGE ERNESTO MONTERO AVENDAÑO

Ha sido aprobado en el examen de defensa rendido como requisito para optar al Título de Ingeniero Merpara todos los efectos firman:	
PROFESOR PATROCINANTE	
Héctor Noriega Fernández D. Sc. Ing. Producción.	
PROFESORES INFORMANTES	
Luigi Ciampi Panno Ing. Agr., M.S., Ph. D.	
Rolando Ríos Rodriguez M.Sc. Ingeniería Mecánica	

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Profesor Héctor Noriega, por su constante ayuda en la elaboración de esta Tesis, por su disponibilidad y apoyo.

También, quiero agradecer a los Profesores Rolando Ríos y Luigi Ciampi por la colaboración prestada en la obtención de información y ayuda para resolver problemas.

A mi hermano Francisco, por su ayuda y disponibilidad para facilitarme equipos necesarios para el desarrollo final de la Tesis.

Y en especial a Erica y Diego, por su constante apoyo, compañía y alegría. Siempre necesaria.

Dedico esta Tesis a mis padres, Alicia y Ernesto, por todo el esfuerzo realizado y el apoyo brindado para la obtención de este Título.

ÍNDICE

Cap	oítulo (1997)	Página
RES	SUMEN	1
SUI	MARY	2
1	INTRODUCCIÓN	3
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
	2.1 Proceso de Compostaje	4
	2.2 Ventajas y Desventajas	6
	2.3 Compostaje en Pilas de Volteo Continuo	6
	2.4 Manejo de la Pila	7
	2.4.1 Variables controlables en el proceso	7
	a) Aireación	7
	b) Temperatura	8
	c) Humedad	11
	d) Tiempo de compostaje	12
	2.5 Características de Proceso	12
	2.6 Control de Semillas de Malezas	15
	2.7 Identificación del Problema	16
	2.8 Variables que Intervienen en el Proceso de Volteo	16
	2.9 Hipótesis	17
	2.10 Objetivos del Proyecto	17
	2.10.1 Objetivos Generales	17
	2.10.2 Objetivos Específicos	17

3	PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	18
	3.1 Alternativa A	18
	3.1.1 Funcionamiento	19
	3.2 Alternativa B	19
	3.2.1 Funcionamiento	20
	3.3 Alternativa C	21
	3.3.1 Funcionamiento	22
	3.4 Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas	22
	3.5 Vida útil	25
	3.6 Impacto ambiental	25
	3.7 Selección de la alternativa	26
4	DISEÑO DE VOLTEADORA DE COMPOSTAJE	27
	4.1 Material a compostar	27
	4.2 Cálculo estructural de la volteadora de compostaje	28
	4.2.1 Características del rotor	28
	4.2.2 Cálculos de las cargas ejercidas por el lodo	30
	4.2.3 Análisis de las paletas	32
	4.2.4 Análisis del soporte de paleta	34
	4.2.5 Análisis del rotor	35
	4.2.6 Análisis de la estructura móvil	36
	4.2.7 Análisis de la estructura base	38
5	ANÁLISIS DE COSTOS	42
	5.1 Costos de Materiales	42
	5.2 Costos mano de obra	43

	5.3 Costos de piezas por selección	43
	5.4 Costos totales	44
	5.5 Comparación otras alternativas	44
•	CONCLUSIÓNES	47
6	CONCLUSIONES	47
7	BIBLIOGRAFÍA	48
8	ANEXOS	50
9	PLANOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	a e e e e e e e e e e e e e e e e e e e	Página
2.1	Condiciones recomendadas para compostaje rápido	4
3.1	Ventajas de las alternativas	23
3.2	Desventajas de las alternativas	24
3.3	Notas	26
5.1	Costos de materiales	42
5.2	Costos piezas por selección	43
5.3	Precios alternativas	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	a	Página
2.1	Proceso de compostaje	5
2.2	Distribución de temperaturas en pilas	9
2.3	Distribución de temperaturas	10
2.4	Destrucción de semillas de malezas	16
3.1	Pala Mecánica	18
3.2	Volteadora de compost	20
3.3	Elevadora de compost	21
4.1	Rotor	29
4.2	Paleta	30
4.3	Diagrama de carga	31
4.4	Altura de lodo	31
4.5	Paleta con cargas y restricciones	33
4.6	Soporte A	34
4.7	Soporte B	34
4.8	Soporte A con cargas y restricciones	35
4.9	Rotor con cargas	36
4.10	Estructura móvil y rotor	37
4.11	Estructura móvil con malla de elementos	37
4.12	Estructura base y eje	39
4.13	Estructura base y malla de elementos	39
4.14	Volteadora	40
4.15	Volteadora vertical	41
5.1	Volteadora Sandberger	44
5.1	Volteadora RAC 250	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anex	KO	Página
1	Tabla vida útil	51
2	Catálogo de perfiles	53
3	Análisis paleta	56
4	Análisis soporte paleta	59
5	Análisis rotor	62
6	Análisis estructura móvil	66
7	Análisis estructura base	70
8	Cotizaciones	73

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo diseñar y analizar estructuralmente, con el software Pro/Engineer Wildfire 2.0, una máquina volteadora de material vegetal para compostaje, para un tamaño de pila específico.

En primer lugar se da a conocer el método de volteo de una pila de compostaje y todas las variables que influyen en el proceso. Además, de determinar como controlar adecuadamente cada variable, es decir, como mantenerlas dentro de los rangos recomendados para poder obtener un producto de buena calidad.

Una vez conocidas las variables a controlar, se propone y analiza la funcionalidad de tres alternativas, llamadas Pala mecánica, Volteadora de compost y Elevadora de Compost. De ellas, una alternativa es elegida la más adecuada según criterios de funcionalidad.

Luego, se analiza físicamente la materia orgánica con la cual se va a trabajar para así obtener los datos de entrada para el diseño y análisis estructural de la máquina Volteadora de compost.

Finalizado el análisis estructural y el diseño final de la volteadora de compost, se procede a hacer un estudio de costos de construcción. Además, se realizó una comparación con máquinas de similares características, para poder formular las conclusiones finales.

SUMMARY

The objetive of the following work is to design and analyse structurally, with Software Pro/Engineer Wildfire 2.0, a vegetal material turner machine for a specific windrow size.

At first the compost turner method was presented and all the variables which influence the process. In addition, to determine like controlling each variable suitably, that is to say, like maintaining them within the recommended ranks to be able to obtain a product of good quality.

Once known the variables to control, the functionality of three alternatives sets out and analyzes, calls Pala mecánica, Volteadora de compost and Elevadora de Compost. Of them, an alternative is chosen the most adapted according to functionality criteria.

Afterwards, the organic materials which will be used to work was analysed, in order to get the input data for the design and analyse structural of all the turner machine structure.

When the analysis and the final design of the compost turner machine was finished, an analysis of constructing cost. In addition, a comparison was made with machines of similar characteristics to formulate the final conclusions.

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente alrededor de un 45% de la basura generada en las ciudades es orgánica, la cual se dispone en vertederos sin poder reutilizarla. Esto implica grandes costos de recolección y transporte, además de requerir amplios espacios para depositar toda la basura.

Es por estas razones que hoy en día existe una tendencia a reutilizar los desechos orgánicos, y una forma es generando compost. El compost es el resultado de un proceso biológico y se considera un abono orgánico rico en nutrientes que se utiliza para mejorar la calidad de los suelos.

Un procedimiento muy importante en la generación de compost es "el volteo", el cual controla algunas variables importantes que influyen en la calidad de este abono, como la temperatura, la humedad, los olores y la porosidad.

Debido a que en Chile casi no se realiza compostaje, y además que las máquinas volteadoras existentes en el extranjero son muy costosas, es que ha dado motivo para realizar esta tesis, la cual tiene como hipótesis: con el diseño una unidad volteadora de compost es posible controlar la temperatura, el olor, la humedad y el tiempo de un proceso de compostaje de residuos orgánicos.

Es por esto, que esta tesis pretende entregar un diseño completo de una volteadora de compostaje utilizando tecnología de punta existente en la zona en lo que refiere a diseño de máquinas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Proceso de Compostaje

El proceso de compostaje se puede definir como una oxidación biológica de residuos orgánicos biodegradables que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura, pH, relación C/N y Oxigenación.

Los microorganismos presentes en el proceso (bacterias, hongos y actinomicetes) utilizan el carbono y nitrógeno disponibles en los residuos orgánicos, liberando energía calorífica producto de la actividad metabólica, produciéndose además, gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales (Avendaño, 2003).

El compostaje es más rápido cuando las condiciones que aumentan el crecimiento de los microorganismos son mantenidas. Entre las condiciones mas importantes se encuentra la temperatura, la concentración de oxígeno, la relación C/N, humedad, pH y tamaño de partículas (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Condiciones recomendadas para compostaje rápido.

	Rango	Rango
Condición	Rasonable	preferido
Relación C:N	20:1 - 40:1	25:1 - 30:1
Contenido de		
Humedad	40 - 65 %	50 - 60 %
Concentración de		Mucho mas de
Oxygeno	Mas de 5 %	5%
Tamaño de partículas	3 - 13 mm	Variable (a)
рН	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0
Temperatura	45- 65 °C	55 - 60 °C

(NRAES, 1992); (a): 2 - 5 mm

Este proceso es complejo y dinámico, y se caracteriza por dividirse en cuatro etapas de acuerdo a los cambios de temperatura: fase mesófila (10-40°C), fase termófila (40-70°C), fase de enfriamiento y finalmente fase de maduración.

El compostaje transforma los residuos orgánicos en un abono orgánico denominado cómpost. (NRAES, 1992).

Este fertilizante (cómpost), contiene nutrientes y sustancias capaces de mantener la sanidad de las plantas y el buen estado del suelo, ayudando a retener la humedad y mantener una adecuada porosidad en él (SAG, 1998 citado por Contreras, 2004).

Durante el compostaje, los microorganismos consumen Oxígeno (O₂) mientras consumen materia orgánica. Activamente el compostaje genera considerables cantidades de calor, y gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua liberándolo al medio ambiente (Figura 2.1) (Pace y Farrell-Poe, 1995).

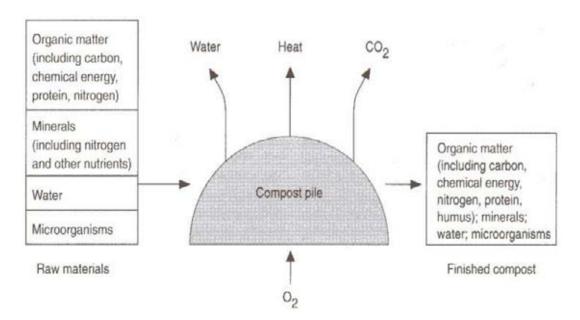


Figura 2.1. Proceso de compostaje (NRAES, 1992).

2.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Es un sistema de reciclaje biológico, con una buena revalorización de los desechos orgánicos.
- Optimiza los recursos existentes en la zona al aprovechar ciertos residuos que se producen.
- Reducción de volumen de residuos.
- Ahorro económico en abonos químicos.
- Producto comercializable.
- Disminuye las necesidades de materia orgánica de los suelos y contribuye a su recuperación.
- Evita que los desechos sean vertidos en basurales.

Desventajas

- Alta inversión inicial
- Disponibilidad de terreno
- Contaminación del medio ambiente (líquidos, olores).

2.3 Compostaje en Pilas de Volteo Continuo.

Este tipo de compostaje consiste en colocar una mezcla de materiales orgánicos en una larga y angosta pila o "windrow", que debe ser agitada o volteada en una base regular. Típicamente, la pila varía entre 90 cm. de alto para material espeso como estiércol a 360 cm. de alto para material livianos. El ancho varía entre 300 a 600 cm. El equipo usado para el volteo determina el tamaño, forma, y espacio entre las pilas.

Las pilas son aireadas inicialmente en forma natural. La razón de cambio de aire depende de la porosidad de la pila. Si la pila es muy grande, las zonas anaeróbicas cercanas al centro liberan olores cuando la pila es volteada (Virginia Tech., 1997).

Por otro lado, en pequeñas pilas se pierde rápidamente calor y no puede alcanzar altas temperaturas suficientes para evaporar humedad y matar microorganismos patógenos y semillas de malezas (Virginia Tech., 1997).

Las volteadoras de material, reconstruyen la porosidad de la pila, y libera el calor atrapado, vapor de agua y gases. Aunque la pila es aireada con el volteado, el nuevo oxígeno entre los espacios de los poros es rápidamente reducido por los microorganismos (Virginia Tech., 1997).

El efecto más importante del volteo es la reconstrucción de la porosidad de las pilas. Esto mejora el cambio de aire pasivo.

Volteando también cambia el material de la superficie de la pila con el material del interior de esta. Esto expone todo el material igualmente al aire de la superficie exterior y a las altas temperaturas dentro la pila. De esta forma, el material compostado se empareja y más semillas de malezas, patógenos y larvas son destruidas por las altas temperaturas generadas al interior de la pila (NRAES, 1992).

2.4 Manejo dela pila

2.4.1 Variables controlables en el proceso de volteo

a) Aireación: Es un factor importante en el proceso de compostaje ya que en este proceso se consume grandes cantidades de oxígeno y, por tanto, es un parámetro importante a controlar.

La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del Dióxido de carbono producido. La aireación debe mantenerse en los niveles

adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso (Virginia Tech., 1997).

La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Además el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción.

La concentración mínima de oxígeno recomendada es de un 5% entre los espacios de los poros de la pila de compostaje. Si hay una cantidad menor de oxígeno en la mezcla, el proceso se vuelve anaeróbico (Pace y Farrell-Poe, 1995).

Una descomposición anaeróbica implica microorganismos y reacciones bioquímicas diferentes. Además se vuelve ineficiente y más lento que el proceso aeróbico, generando así metano, sulfuro de hidrógeno, ácidos orgánicos y fuertes olores (NRAES, 1992).

b) Temperatura: Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: Mesófila, Termófila, enfriamiento y maduración.

Al comienzo del proceso los desechos se encuentran a temperatura ambiente. Los microorganismos comienzan a metabolizar los desechos de manera que las bacterias crecen y la temperatura sube considerablemente, a los pocos días se alcanzan los 40° C (fase mesófila), la temperatura sigue subiendo hasta alcanzar valores comprendidos entre 60-70° C (fase termófila), la mayor parte de los microorganismos iniciales mueren y son reemplazados por otros resistentes a esa temperatura. A partir de los 60° C,

los hongos termófilos cesan su actividad y la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos (Virginia Tech., 1997).

En esta fase la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, esto marca el final de la fase termófila. Por último, se produce una nueva fase mesófila o de enfriamiento y una fase final de maduración en la que la temperatura se iguala a la del medio ambiente (NRAES, 1992).

En la figura 2.2, se puede apreciar la diferencia de temperaturas dentro de una pila de compostaje.

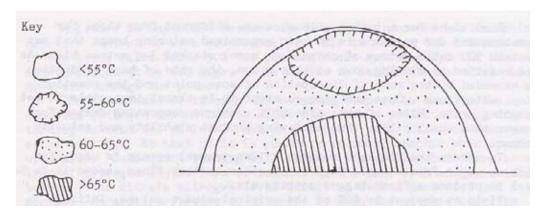


Figura 2.2. Distribución de temperaturas en pilas (Bhamidimarri, 1988).

La temperatura es un parámetro de gran utilidad en el proceso de descomposición, debido a su efecto en el crecimiento y actividad metabólica de los microorganismos (Contreras, 2004).

El volteo es también necesario para enfriar la pila cuando la temperatura sube demasiado puesto que temperaturas demasiado altas (70°C) inhiben drásticamente el proceso, ya que la pila puede ser esterilizada y el proceso puede llegar a detenerse (Avnimelech y colaboradores, 2004).

La temperatura se debe controlar periódicamente, ya que, por una parte, las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos (INTEC, 1999).

La pasteurización es el efecto de eliminación de microorganismos patógenos y de la viabilidad de semillas de malezas y material de propagación, por la vía de mantención de temperatura de toda la masa de compostaje a un nivel de temperatura mayor o igual a 55°C (INTEC, 1999).

Si las altas temperaturas no son controladas por el volteo, el tamaño de la pila debe ser reducido (NRAES, 1992). (Figura 2.3).

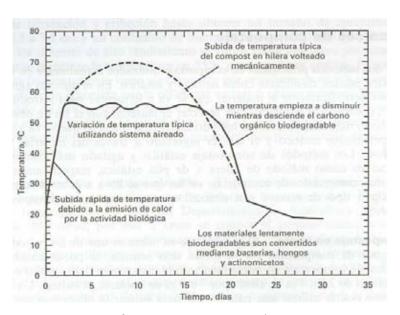


Figura 2.3. Distribución de temperaturas (Tchobanoglous, 1994).

La temperatura tiene efecto en el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos. Es un parámetro útil para medir el proceso de descomposición ya que en la medida que se desarrolla el metabolismo de las

bacterias se genera calor por lo tanto el incremento de temperatura es un buen indicador de cómo esta funcionando el proceso.

La velocidad del proceso de compostación se acelera cuando la temperatura está entre los 35 y 70°C. Sobre esta temperatura los microorganismos mueren y podrían generarse olores desagradables en la medida que la pila se esteriliza a sí misma.

Los microorganismos más eficientes en la compostación son los microorganismos mesófilos cuya temperatura óptima corresponde a los 35 – 40°C y los termófilos quienes requieren de 55°C o un poco más (INTEC. 1999).

Estas temperaturas mantenidas en el tiempo permiten ejercer naturalmente un tratamiento de sanitización especialmente con respecto a microorganismos patógenos, así como también logran destruir semillas de malezas, esporas de hongos y algunas fitotoxinas que posteriormente significarían un problema al adicionar el compost sobre cultivos agrícolas (INTEC. 1999).

El manejo de la temperatura requiere cuidado y control ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar de patógenos también puede terminar con la flora benéfica antes que el proceso lo haga naturalmente en el momento justo.

Las lecturas periódicas mediante el uso del termómetro ayudan a determinar el momento en que la pila debe ser volteada, si ésta alcanza sobre los 70°C. (INTEC, 1999).

c) Humedad: La humedad óptima se puede situar entre un 50% a 60%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas. Si la

humedad disminuye demasiado, disminuye la actividad microbiana con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable (Tchobanoglous, 1994).

Si la humedad es demasiado alta, el agua saturará los poros e interferirá la distribución del aire a través del compost (Virginia Tech., 1997).

Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento. La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto (Sztern, 1999).

d) Tiempo de compostaje: Se entiende por "Tiempo de Compostaje", el transcurrido desde la conformación de una pila hasta la obtención la obtención de Compost estable.

El "Tiempo de compostaje", varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad relativa, etc.); manejo fisicoquímico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener (Switzenbaum, 1999).

Nunca se debe adicionar material nuevo a una pila que ya ha sido conformada, ya que esto extiende el tiempo de compostaje (Sztern, 1999).

2.5 Características del Proceso

Una vez que se realiza una mezcla de desechos orgánicos con una relación C/N, tamaño de partículas, pH y humedad adecuada, se procede

construir la pila de acuerdo a las recomendaciones existentes de tamaño y forma adecuada.

En primer lugar, es posible distinguir los factores físicos considerados, tal es el caso de: clima, tiempo, materia prima y medidas de manejo o también llamada ingeniería de proceso. En cuanto a las dos primeras, es importante destacar que corresponden a variables externas, y por lo tanto, difíciles de manejar, pero controlables en base al diseño de las instalaciones (ej. producción de compost bajo techo) (INTEC, 1999).

Desde el punto de vista de requerimientos de mano de obra, es conveniente reemplazar el uso de tela por techumbre, especialmente en zonas con alta pluviometría (INTEC, 1999).

Una vez construida la pila, comienza un proceso metabólico en el cual actúan los microorganismos (bacterias, hongos y actinomycetes) que transforman la materia orgánica existente en compost, generando calor, lo cual aumenta la temperatura dentro de la pila (Virginia Tech., 1997).

Para que el proceso permanezca en forma aeróbica, debe existir una oxigenación mínima la cual es controlada por el volteo de las pilas. Para determinar cuando y con que frecuencia se debe proceder a voltear la pila, se deben controlar las variables que determinan el volteo, tales como, humedad, temperatura y los olores generados en el proceso metabólico.

Esto es muy importante para mantener el programa de volteo. La frecuencia de volteo depende de la relación de descomposición, de la humedad contenida, la porosidad de la materia, la temperatura y el tiempo de compostaje deseado. Debido a que la relación de descomposición es grande al comienzo del proceso, la frecuencia de volteo también lo es. Además la frecuencia de volteo decrece con la edad la pila.

Fácilmente degradable, o alta mezcla de nitrógeno, requiere volteos diarios al comienzo del proceso. Cuando el proceso continúa la frecuencia de volteo puede ser reducida a un volteo por semana (NRAES, 1992).

La temperatura y el olor indican cuando el volteo es necesario. Bajas temperaturas y fuertes olores señalan la necesidad de una oxigenación mayor. Cuando el promedio de temperatura es bajo el nivel deseado la pila debe ser volteada, ya que esto demuestra que hay un descenso en la actividad metabólica, por lo tanto no existe generación de calor, y a la vez comienzan a aparecer olores por el hecho que el proceso pasa a ser anaeróbico.

Al final de la primera semana de compostaje, el tamaño la pila disminuye apreciablemente, y aun mas al final de la segunda semana. Esto puede hacer prudente mezclar dos pilas en esta etapa y continuar volteando según lo programado.

Con este método, la actividad de compostaje generalmente dura nueve semanas dependiendo de las condiciones naturales de los materiales y la frecuencia de volteo (NRAES, 1992).

Las pilas deben ser volteadas en forma regular, ya sea con máquinas especialmente destinadas a éste fin (volteadoras) o también se pueden usar cargadores frontales, pero conlleva el riesgo de no lograr un mezclado apropiado del material en proceso. También se pueden voltear en forma manual.

El volteo debe ir disminuyendo a medida que pasa el tiempo, se recomienda, por ejemplo, que durante el primer mes se realice dos veces a la semana; en el segundo mes, una vez a la semana; el tercer mes, cada 15 días y los meses restantes, una vez al mes, dependiendo de la mezcla utilizada (INTEC, 1999).

Con el volteo de las pilas se persigue obtener los siguientes efectos:

- Mezclado
- Evitar compactación
- Intercambio gaseoso
- Creación de nuevas superficies de ataque para los microorganismos
- Control de la temperatura, pH y humedad (Sztern, 1999).

Las pilas trapezoidales aprovechan muy bien el espacio disponible, por lo que son especialmente recomendables para instalaciones en recintos cerrados.

2.6 Control de Semillas de Malezas

Las semillas de malezas pueden hacer que el compost sea un recurso indeseable para su uso.

Las semillas de muchas especies de malezas permanecen luego de pasar a través del sistema digestivo de los animales rumiantes (Eghball y Lesoing, 2000).

El compostaje puede reducir la viabilidad de semillas de malezas. Las semillas pierden viabilidad después de 4 semanas de compostaje cuando la temperatura es mantenida entre 55 a 65°C.

Temperaturas superiores a 60°C pueden destruir semillas de malezas (Eghball, B. and Lesoing, G.) (Figura 2.4).

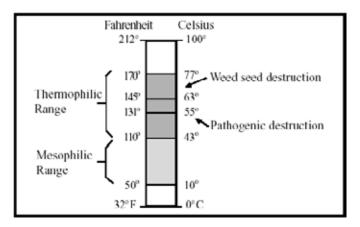


Figura 2.4. Destrucción de semillas de malezas

2.7 Identificación del Problema

El volteo de las pilas de compost es pieza fundamental en el proceso de compostaje, ya que se pueden controlar varias variables del proceso. Este control es complejo, ya que en el volteo se debe obtener un equilibrio entre todas las condiciones ideales de cada variable. Este equilibrio es muy importante para la calidad final del compost, pues si una o mas variables no son bien controladas, puede que varíe la calidad final del producto respecto a la proyectada.

2.8 Variables que Intervienen en el Proceso de Volteo

Variables dependientes: - Temperatura

- Humedad

- Olores

- Tiempo de compostaje

- Porosidad

Variables independientes: - Clima

- Materiales compostables

- Tamaño de la pila

2.9 Hipótesis

Con el diseño una unidad volteadora de compost es posible controlar la temperatura, el olor, la humedad y el tiempo de un proceso de compostaje de residuos orgánicos.

2.10 Objetivos del Proyecto

2.10.1 Objetivo General

Diseñar una unidad volteadora de compost para el proyecto de una planta piloto de compostaje de la Universidad Austral de Chile.

2.10.1 Objetivos específicos

- 1- Identificar los requerimientos de volteo del compost del proyecto de una planta piloto de compostaje de la Universidad Austral de Chile.
- 2- Diseñar una unidad de volteo de compost utilizando software con tecnología de punta.
 - 3- Analizar los costos involucrados en el proyecto.

3 PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 Alternativa A.

Esta alternativa se denomina "Pala Mecánica", la cual esta compuesta por una pala frontal rectangular construida con planchas de acero y dos brazos articulados conectados a la pala frontal en uno de sus extremos. El otro extremo de los brazos va montado en un tractor.

La Pala Mecánica es articulada con 4 botellas hidráulicas, dos de las cuales mueven los brazos en forma vertical y las otras dos, la pala frontal, también verticalmente. Éstas van montadas en los brazos y son comandados con los controles hidráulicos del tractor (Figura 3.1).

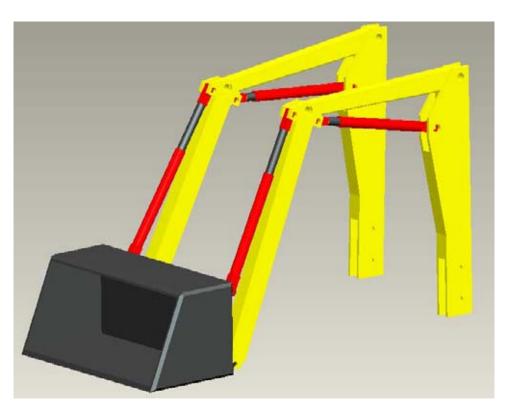


Figura 3.1. Pala Mecánica

3.1.1 Funcionamiento:

Con esta pala se puede voltear el compost acercándose perpendicularmente a la pila desde un costado de ésta y extrayendo compost para dejarlo a un costado o en el mismo lugar en que estaba.

La manera adecuada para que la pala cumpla su función es elevar el material y dejarlo caer desde cierta altura de manera que el compost se oxigene mientras cae al suelo, realizando esto sucesivamente hasta haber volteado todo el material de la pila.

3.2 Alternativa B

La alternativa B se llama "Volteadora de Compost", la cual está compuesta por una estructura metálica que soporta el mecanismo completo, y está soportada por un eje con ruedas en la parte posterior de la estructura y conectado a un tractor tanto en el enganche como en la toma fuerza de éste.

La Volteadora de Compost se divide principalmente en dos partes, una estructura móvil y una estructura base. La primera está pivotada de la estructura base por medio de una botella hidráulica y dos conexiones inferiores. Esta parte móvil tiene una forma trapezoidal que en el interior la cruza un rotor con múltiples paletas configuradas en forma helicoidal.

Este rotor va montado sobre rodamientos soportados por la estructura móvil y es accionado por un reductor de velocidad que esta conectado al tractor por medio de un cardán (Figura 3.2).

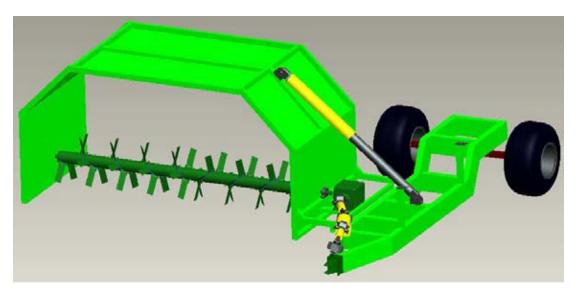


Figura 3.2 Volteadora de compost.

La estructura móvil trabaja en forma horizontal y para su traslado se eleva con la ayuda de la botella hidráulica quedando en posición vertical.

3.2.1 Funcionamiento:

Esta volteadora se conecta a un tractor en el enganche, al toma fuerza y al sistema hidráulico.

Una vez conectado todo el sistema correctamente se procede a voltear, de manera que la pila sea volteada debido al movimiento del rotor.

Este rotor eleva el material y lo impulsa hacia arriba y hacia atrás debido a la velocidad de giro de éste, que varía dependiendo del material entre las 150 a 250 rpm. El compost va apilándose en la parte posterior de la volteadora en forma trapezoidal y pareja debido a que las paletas del rotor están configuradas de manera que se forman dos anillos sinfín que impulsan el material hacia el centro de la pila. La volteadora avanza a través de la pila arrastrada por el tractor que avanza paralelo a la pila de compostaje.

La pila es volteada completamente con una sola pasada del tractor con la volteadora a lo largo de ella.

3.3 Alternativa C

Esta alternativa se denomina "Elevadora de Compost" y está compuesta por una correa transportadora metálica que tiene paletas que levantan el material en todo su ancho con cierta separación entre una y otra. Esta correa va montada sobre ruedas de manera que éstas transmitan potencia y velocidad a la correa.

Las ruedas están montadas sobre una estructura metálica las cuales van conectadas a un reductor de velocidad y un cardán que transmite potencia desde el toma fuerza del tractor (Figura 3.3).

La estructura de la elevadora es un solo conjunto de perfiles soldados que se monta sobre los brazos posteriores de un tractor y su tercer punto.

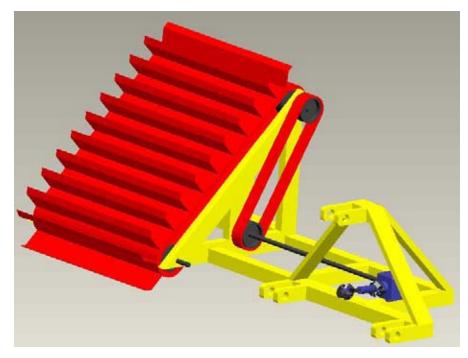


Figura 3.3. Elevadora de compost

3.3.1 Funcionamiento:

Esta elevadora se conecta a los brazos hidráulicos posteriores de un tractor y al toma fuerza, de manera que se regula la altura de la máquina subiendo o bajando los brazos posteriores del tractor. Una vez regulada la altura de la máquina se procede a elevar el compost de manera que el tractor se coloca paralelo a la pila de compostaje y este avanza a lo largo de ésta lentamente.

El compost sube a través de la correa transportadora y cae en la parte posterior oxigenándose y perdiendo calor mientras cae nuevamente al suelo.

El compost se va ordenando en forma plana debido a que la correa también lo es. El proceso termina una vez que la máquina elevadora atraviesa toda la pila.

3.4 Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas

A continuación se presenta un cuadro que nos entrega las diferentes características referidas a la funcionalidad de cada alternativa planteada, para conocer las ventajas y desventajas, a objeto de que ayude posteriormente a tomar la mejor decisión para cumplir con los objetivos planteados.

La tabla 3.1 nos permite observar las ventajas de funcionalidad que nos presenta cada alternativa.

Tabla 3.1. Ventajas de las alternativas

A	В	С
No sólo sirve	Realiza un	Voltea
para el volteo de	excelente volteo ya que	ordenadamen-te el
compost, sino que	oxigena el compost al	compost, siendo menos
también para varias	girar por sobre las 150	complejo que la pala
otras a-plicaciones	rpm, golpeando el	mecánica ya que trabaja
similares.	material contra la	menos el operario y por
Permite también	estructura metálica	ende depende menos
formar la pila por	móvil haciendo que	de la capacidad del
primera vez, ya que se	aumente la porosi-dad	trabajador.
puede acarrear la	interna de la pila.	Estropea muy
materia prima desde	Deja la pila en	poco los entre hileras
otro lugar con la pala.	forma trapezoidal.	por el hecho de no tener
Tiene poca	Es un sistema	ruedas
necesi-dad de	simple y fácil de	
mantención ya que se	transportar ya que su	
trata de un sistema	botella hidráulica eleva	
relativamen-te simple.	la parte móvil y queda	
Utiliza solo el	en forma vertical de	
sistema hidráulico del	manera que se pueda	
tractor.	transportar como un	
Puede trabajar	carro de arrastre.	
con varios tamaños de	Es mas rápido y	
pilas.	eficiente para voltear	
	que otros sistemas.	
	Necesita poca	
	man-tención.	

A continuación se entrega en la tabla 3.2 de funcionalidad con respecto a desventajas de cada alternativa.

Tabla 3.2. Desventajas de las alternativas

А	В	С
Es más complejo	Esta diseñada	Es un sistema un
el volteo con la pala, ya	solo para voltear com-	poco mas complejo que
que hay que atacar por	post, ya sea por	los anteriores, ya que
un costado la pila cada	resistencia, velocidad	esta compuesto por
vez que se voltea	de trabajo y diseño.	correas transportadoras
compost. Además, que	Está diseñada	metálicas, ruedas, ca-
depen-de del operario si	para pilas iguales y/o	denas, reductores de
la pila queda homogé-	menores que 3 metros	velo-cidad y cardán.
neamente volteada.	de ancho y 1.5 metros	No apila el com-
Es compleja su	de alto.	post en forma trape-
conexión con el tractor		zoidal, lo cual es reco-
ya que va apernada a		mendado para un buen
éste, a no ser que se		compostaje.
deje instalada perma-		Puede que quede
nentemente.		material orgánico con
Aumenta el estro-		dimensiones muy gran-
peo de los callejones de		des, ya que el sistema
entre hileras		no lo desarmaría com-
		pletamente.

3.5 Vida útil.

De acuerdo a las condiciones en las cuales estarán trabajando las máquinas y realizando una mantención adecuada tanto de pinturas como reemplazo de lubricantes en las transmisiones, las alternativas propuestas no debieran tener problema alguno durante sus años de trabajo. Según el Servicio de Impuestos Internos [Ver anexo 1], se considera una Vida Útil de 15 Años para maquinaria y equipos en general.

3.6 Impacto ambiental.

Las alternativas planteadas en el proyecto, deberán cumplir con la Ley Bases del Medio Ambiente Nº 19.300 título II artículo 10.

Debido a que la construcción de cada una de las alternativas tiene exigencias dispares ninguna de ellas amerita un estudio de impacto ambiental, debido, que al considerar como línea base del proyecto una zona industrial, los movimientos realizados en la etapa de construcción, no incidirían en la zona, de esto según la Ley Base del Medio Ambiente título II de los Instrumentos de Gestión Ambiental artículo 11.

En cuanto a la necesidad de un estudio para la etapa de funcionamiento, y según la Ley Base del Medio Ambiente título II de los Instrumentos de Gestión Ambiental artículo 11, esto no es necesario debido a las bajas potencias en cuestión.

Según lo mencionado anteriormente, es necesario reducir los posibles impactos ambientales en los lugares aledaños a la construcción, ya sea de residuos en general o ruidos.

Cada alternativa presenta una estructura completamente diferente, las cuales poseen muchos elementos metálicos. Al finalizar su vida útil serán

destinados a alguna empresa que se dedique al aprovechamiento de chatarra, permitiendo de esta manera producir alguna nueva aleación o fundición y evitando votar desechos al medio ambiente. Lo mismo con los lubricantes de desecho, deben reciclarse.

3.7 Selección de la alternativa.

La selección de la alternativa adecuada se obtiene de la que obtenga la mayor nota en una escala de 1 a 7. Esta nota se genera del promedio obtenido de la evaluación realizada anteriormente [Tabla 3.3].

Tabla 3.3. Notas

Alternativa	Ventajas	Desventajas	Vida útil	Imp. Amb.	Total
A: Pala Mecánica	6	3	6	6	5,25
B: Volteadora de compost	7	6	6	6	6,25
C: Elevadora de compost	5	5	6	6	5,5

Sobre la base de este estas calificaciones la alternativa seleccionada será la **alternativa B**, "Voltedora de Compost".

4 DISEÑO DE VOLTEADORA DE COMPOSTAJE

Luego de llegar a determinar la alternativa adecuada para el proceso de volteo de compostaje, alternativa B "Volteadora de Compostaje", se procede al diseño de ésta.

4.1 Material a compostar

Para diseñar la "Volteadora de Compostaje" hay que tener muy claro el material con el cual se va a trabajar. En este caso se va a escoger el material más pesado o más denso, ya que ésta sería la opción más desfavorable para la máquina.

Luego de una análisis de todos los materiales posibles a compostar en este proyecto, se dedujo que el más denso es el lodo orgánico obtenido de la planta de tratamientos de aguas servidas de la ciudad de Valdivia.

Según los resultados del análisis realizado a una muestra de lodo, este lodo contiene arcilla, limo y arena, con una humedad de 66.7 %.

Este lodo tiene una densidad de 1.1 gr/cm³, lo cual demuestra que se trata de un material relativamente pesado.

Este lodo tiene un olor muy fuerte a putrefacción y su destino actual es a un vertedero ubicado en la comuna de Río Bueno no teniendo un mayor aprovechamiento. Por esta razón, es que este material es considerado para el diseño de la volteadora de compost.

Por todas estas razones este lodo es adecuado para su compostación, ya que esta disponible para llegar a obtener algún tipo de subproducto de él.

4.2 Cálculo estructural de la volteadora de compostaje

El diseño de esta máquina va a depender mucho de cómo se voltee el lodo. Por lo tanto, de la forma que este configurado el rotor.

El rotor va a ser el conjunto de piezas que voltea el lodo, de modo que se puedan controlar las variables como temperatura, humedad, porosidad, liberación de CO₂ y dimensiones de la pila.

El rotor es pieza primordial en el desarrollo de esta máquina y por esta razón es el punto de entrada al diseño de ésta y de los datos obtenidos del análisis de los lodos.

4.2.1 Características del rotor

Este rotor debe mantener la forma de la pila (trapezoidal), la misma sección transversal antes o después del volteo, debe homogenizar el material, debe hacer que todo el material pase por la misma temperatura para que finalizado el proceso el producto sea estable.

En la tesis realizada en la escuela de agronomía de la Universidad Austral de Chile denominada "Diseño de una unidad de compostaje de residuos orgánicos como parte de una estación experimental de agricultura orgánica" se llegó a determinar que las dimensiones adecuadas de las pilas de la estación serían: ancho de 3 metros y alto de 1.5 metros y de sección trapezoidal. Es por esto que el rotor se ha diseñado con un ancho de 3 metros conformado por paletas configuradas en distintas direcciones de modo que se cumplan las necesidades del volteo.

Estas paletas están diseñadas de manera que van apernadas a los soportes de paletas soldados al eje del rotor. Este eje lo conforma un tubo de

acero ASTM A37-24ES de 5 pulgadas de diámetro y 5 milímetros de espesor, que tiene soldado en sus extremos planchas de acero ASTM A37-24ES de 5" de diámetro y 5 mm de espesor cada una, las cuales también van soldadas con barras sólidas del mismo acero en el centro de éstas, las cuales se montan en los soportes de rodamientos soportados por la estructura móvil (ver figura 4.1). La estructura móvil soporta al rotor que será analizado mas adelante.

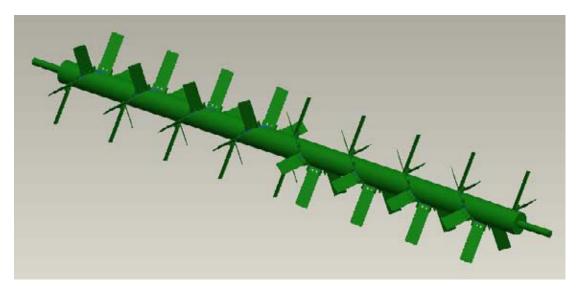


Figura 4.1. Rotor

Las paletas y los soportes de paletas nombrados anteriormente son perfiles de acero ASTM A37-24ES cortados de tal manera y montados en el tubo de acero en todo su contorno, formando dos anillos helicoidales que apuntan hacia la mitad del tubo simulando dos tornillos sinfín; de modo que se pueda acarrear el material de los extremos hacia el centro y que de este modo el rotor forme una pila de tipo trapezoidal.

Para dimensionar el rotor con todas sus piezas, primero que nada es necesario calcular las cargas que ejerce el lodo en cada una de las paletas del rotor, de modo de poder realizar un análisis de esfuerzos y deformación, y poder determinar los espesores adecuados para que el rotor resista las cargas totales.

4.2.2 Cálculos de las cargas ejercidas por el lodo

Primero que todo se debe tener en cuenta el tamaño de las paletas que entrarán en contacto con el lodo. Éstas miden 22 cm de largo y 7 cm de ancho (ver Figura 4.2).

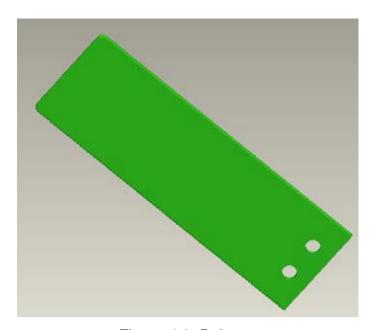


Figura 4.2. Paleta

Considerando siempre el caso mas desfavorable, se tomará como opción razonable, que toda la paleta entra en contacto con el lodo, por lo tanto se considera la superficie total de ésta para efectos de cálculo.

La paleta va inclinada con respecto al eje del rotor, en 45°, lo cual influirá al momento de determinar el volumen del material que levanta cada paleta (Ver Figura 4.3)

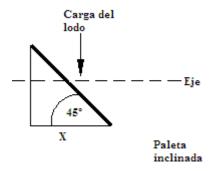


Figura 4.3. Diagrama de carga

Por lo tanto, para obtener el volumen de material sobre la paleta se debe considerar solo una fracción del ancho de la paleta, entonces:

Cos
$$45^{\circ} = x / 7$$

 $x = 7 * Cos 45^{\circ}$
 $x = 4.95$

Como se aprecia en la figura 4.4, sobre la paleta hay 121 cm de lodo.

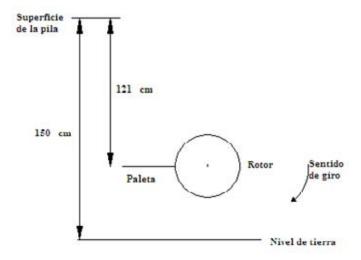


Figura 4.4. Altura de lodo

Entonces para obtener el volumen total sobre cada paleta se obtiene de la siguiente manera:

```
V = (largo-paleta) * (altura de lodo) * x
V = 22 * 121 * 4.95
V = 13177 [cm<sup>3</sup>]
```

Y sabiendo que la densidad del lodo es de 0.0011 [Kg / cm³], por lo tanto la masa total es de:

```
m = V * \rho

m = 13177 * 0.0011

m = 14.5 [Kg]
```

Que al multiplicarlo por 9.81 [m / seg²], equivalen a 142 [N].

Esto quiere decir que cada paleta tiene que ser capaz de levantar un máximo de 14.5 [Kg].

Cabe señalar que para este caso solo interfieren en el cálculo las componentes verticales de las fuerzas generadas por el lodo, ya que las componentes horizontales de anularían debido a que en el otro extremo del rotor existe una paleta a la cual se le genera una componente horizontal de la misma magnitud con sentido contrario.

4.2.3 Análisis de las paletas

Luego de haber obtenido el valor de entrada para realizar el primer análisis de resistencia de las paletas, se procede a diseñar y analizar el diseño propuesto a través del software Pro/engineer Wildfire 2.0 mediante el método de elementos finitos.

Una vez diseñado el modelo de la paleta se procede a ingresar los valores de las diferentes variables que influyen en este proceso, como lo son

el tipo de material, las cargas antes analizadas, las restricciones, las mallas a utilizar, el espesor adecuado, entre otras (Ver Figuras 4.2 y 4.5).

Se pueden apreciar las cargas y las restricciones, y el material utilizado es acero (steel) con características predeterminadas por el software.

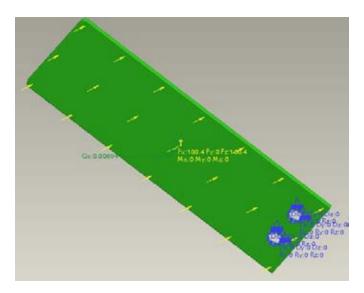


Figura 4.5. Paleta con cargas y restricciones

Con un espesor de 4 mm, además que el límite de fluencia para el acero ASTM A37-24ES es de 235 [N / mm 2] y considerando un coeficiente de seguridad de 1.5, se obtuvieron los siguientes resultados:

```
\sigma_{trabajo} = \sigma_{fluencia} / F. S.
\sigma_{trabajo} = 235 / 1.5
\sigma_{trabajo} = 157 [ N / mm^{2} ]
```

Esfuerzos de Von Mises 111 [N / mm 2] [Ver Anexo 3], una deformación de $0.000675~\rm mm$ y un desplazamiento máximo de $1.2~\rm mm$.

Con la paleta analizada y comprobada su resistencia, continuamos analizando el soporte de paleta.

4.2.4 Análisis del soporte de paleta

Luego se diseñó un par de soportes de paleta debido a que las paletas están configuradas en dos direcciones, por lo tanto fue necesario crear dos tipos similares pero que encajaran correctamente sobre el tubo del rotor.(Ver Figuras 4.6, 4.7 y 4.8).

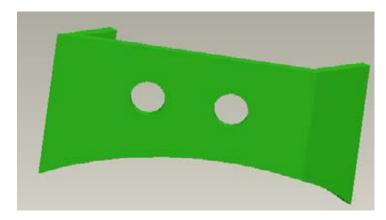


Figura 4.6. Soporte A

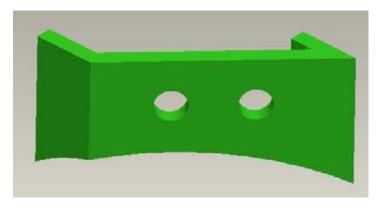


Figura 4.7. Soporte B

Una vez diseñadas se le ingresaron las cargas, que son las reacciones que se ejercen en las paletas, solamente que son ingresadas dependiendo del sistema de coordenadas de cada pieza. Además los materiales y coeficientes de seguridad son los mismos.

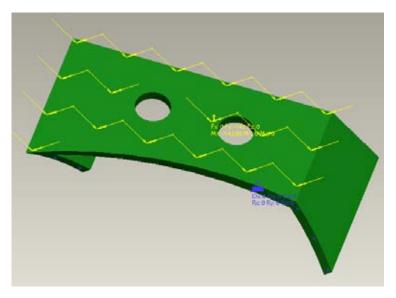


Figura 4.8. Soporte A con cargas y restricciones

Para un espesor de 3 mm, los resultados obtenidos en este análisis son:

Esfuerzo Von Mises: 9.4 [N / mm²]

Desplazamiento: 0.005 [mm]

Deformación máxima: 0.000037

Cabe señalar que los resultados para ambos soportes son muy similares. [ver anexo 4].

4.2.5 Análisis del rotor

El rotor esta formado por un tubo y los soportes de paletas. El tubo tiene un espesor de 5 mm y un diámetro de 5" de acero ASTM 37-24ES, por lo tanto los limites de resistencia son los mismos que en los análisis anteriores. (Figura 4.1)

En la figura anterior se aprecia el rotor completo, pero para efectos de análisis solo se analizará el tubo con los soportes.

En la figura 4.9 se aprecian las cargas sobre los soportes de paletas.

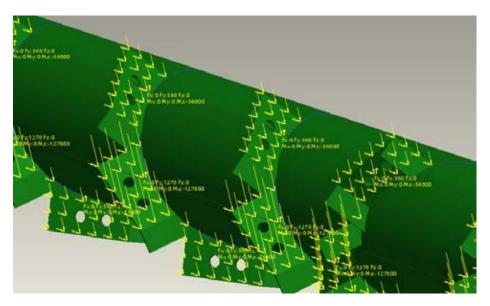


Figura 4.9. Rotor con cargas

Las cargas ingresadas corresponden a las ejercidas por el lodo sobre las paletas con sus respectivos momentos ejercidas por la fuerza y la distancia del lodo sobre los soportes.

Finalmente se obtuvieron los siguientes resultados [Anexo 5]:

Esfuerzo de Von Mises: 113 [N / mm²]

Desplazamiento: 0.2 [mm]

Deformación: 0.00054

Por lo tanto cumple con los requisitos de resistencia para el material.

4.2.6 Análisis de la estructura móvil

La estructura móvil es la que soporta al rotor y está diseñada principalmente con perfiles rectangulares de 60x40 de 5 mm de espesor. También está compuesta por planchas pero no cumplen una función estructural, sino mas bien que para el buen funcionamiento del volteo.

En la figura 4.10 se puede apreciar como es el montaje del rotor sobre la estructura móvil, denominada así debido a que puede moverse para el traslado de la máquina.

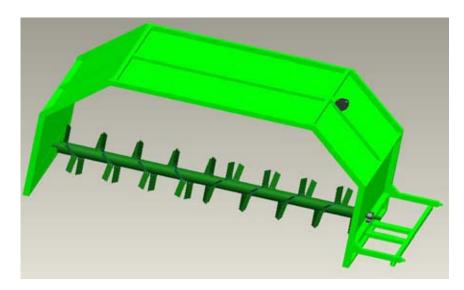


Figura 4.10. Estructura móvil y rotor

Los perfiles son de acero ASTM 37-24ES y las cargas provienen del peso del mismo rotor y de la fuerza ejercida por el lodo sobre el mismo. La estructura final y su malla de elementos respectiva es como se muestra en la figura 4.11.

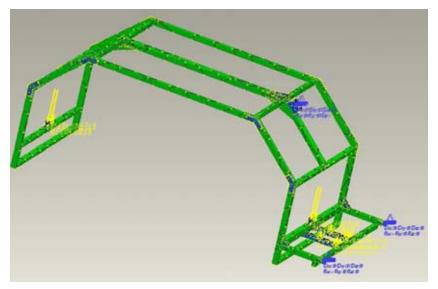


Figura 4.11. Estructura móvil con malla de elementos

38

Cabe señalar que se consideró la opción más desfavorable para la

estructura que es cuando el extremo izquierdo de la estructura, no está aun

en contacto con el piso.

Las cargas son ingresadas donde van los soportes de rodamientos del

rotor y donde va montada la caja reductora, y esta restringido en las uniones

de donde gira la estructura y del soporte de la botella hidráulica.

Para éstas condiciones los resultados son los siguientes [Anexo 6]:

Esfuerzo de von mises: 161 [N / mm²]

Desplazamiento: 2.7 [mm]

Deformación: 0.00086

Debido a estos resultado se comprueba que la estructura resiste la

peor condición de carga.

4.2.7 Análisis de la estructura base

La estructura base esta formada por perfiles rectangulares de acero

ASTM 37-24ES y esta diseñada de modo que sirva de carro de arrastre para

la volteadora tanto para el transporte como para el proceso de volteo en si.

Esta estructura va montada sobre ruedas en su parte posterior y tiene

un enganche frontal para conectarlo a un tractor. (Figura 4.12)

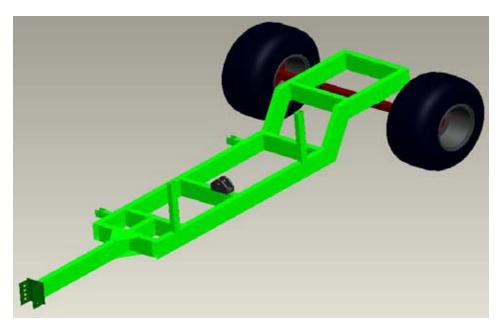


Figura 4.12. Estructura base y eje

Esta estructura se le ingresó la carga suponiendo la condición que la estructura móvil se encuentre en posición de transporte, es decir, verticalmente sobre ella.

Por ello se ingresaron el peso de la estructura móvil sobre los apoyos y las restricciones se ingresaron en el enganche y donde va el eje trasero. La malla de la estructura y las cargas se pueden ver en la figura 4.13

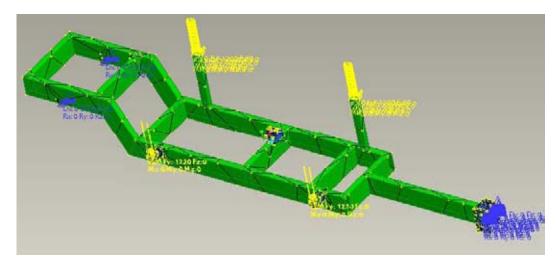


Figura 4.13. Estructura base y malla de elementos

De este modo se procedió a realizar los análisis pertinentes obteniendo los siguientes resultados [Anexo 7]:

Esfuerzo de von mises: 110 [N / mm ²]

Desplazamiento: 0.8 [mm]

Deformación: 0.00045

De este modo se finaliza con los análisis para las estructuras y se obtienen resultados satisfactorios.

Con esto, la máquina volteadora de compost queda estructuralmente de este modo: (Figuras 4.14 y 4.15)

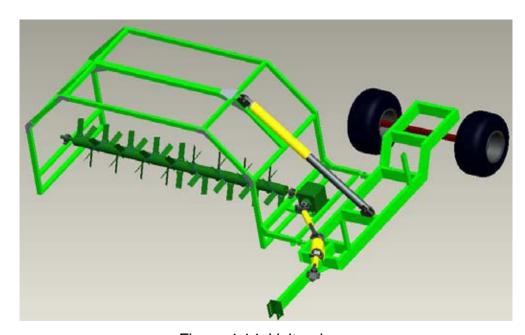


Figura 4.14. Volteadora

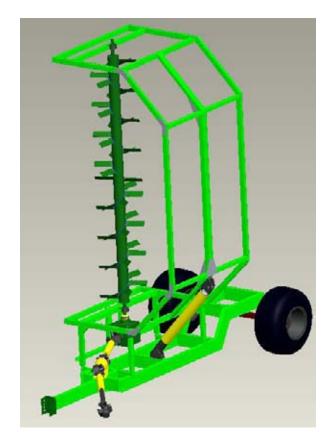


Figura 4.15. Volteadora vertical

5 ANÁLISIS DE COSTOS

Este análisis consta de los costos de materiales, piezas por selección y mano de obra de construcción de la volteadora, y posteriormente se hará una comparación con las alternativas disponibles en el mercado nacional.

5.1 Costos de Materiales

Los perfiles fueron cotizados en Sodimac Valdivia y aceros Küpfer Valdivia al 15 de marzo de 2006.

Tabla 5.1 Costos de materiales.

Materiales	Medidas	cantidad	Unidad	Valor unit.	Total
Perfil Rect.	70x40x5	31,5	m	10.313	324.870
Perfil Rect.	80x40x4mm	1,8	m	5.333	9.600
Perfil Rect.	150x50x6mm	10,2	m	14.500	147.900
Plancha	1,5mm	8,5	m2	7.050	59.925
Plancha	10mm	0,2	m2	80.000	16.000
Plancha	4mm	0,8	m2	24.152	19.322
Plancha	3mm	0,2	m2	9.287	1.857
Plancha	5mm	0,25	m2	25.872	6.468
Tubo	5pulg.	3	m	12.000	36.000
Pernos c/tuerca	10mm	110	unit	70	7.700
Pernos c/tuerca	25mm	2	unit	1.376	2.752
Barra redonda	1 1/2"	1	m	8.500	8.500
Barra cuadrada	1 3/4" x 1 3/4"	1,7	m	27.000	45.900
	1	l .		Total	686.794

5.2 Costos mano de obra

El costo de la mano de obra de construcción de la estructura e instalación de implementos tiene un valor de \$460.000, cotizado en Maestranza Gatica ubicada en Ruta T-70 s/n, La Unión.

5.3 Costos de piezas de selección

Cotizaciones realizadas en Ferosor Osorno, Hidrocamión Santiago, Importadora Eladio Tazbaz Osorno y Comercial Rodagro La Unión al 15 de marzo de 2006.

Tabla 5.2 Costos piezas por selección.

Piezas	Medidas	cantidad	Unidad	Valor unit.	Total
Neumáticos	31x11x16	2	unit.	84.000	168.000
Neumáticos	31x6x16	1	unit.	74.000	74.000
Masas	aro 16	3	unit.	76.541	229.623
Llantas	aro 16	3	unit.	47.231	141.693
Botella Hidráulica	2 metros máx.	1	unit.	860.000	860.000
Cardán	64 hp	2	unit.	102.480	204.960
Soporte Cardán		1	unit.	35.000	35.000
Reductor	1:1.95	1	unit.	265.000	265.000
Acople piñon 2	1/2 30 dientes	1	unit.	17.400	17.400
Soporte Rod. Pie	UCP 208	1	unit.	13.500	13.500
Soporte rod. Final	USFL 208	1	unit.	12.500	12.500
	•			Total	2.021.676

5.4 Costo total

Por lo tanto, la construcción de una máquina "Volteadora de compost" tiene un costo total de:

Costo materiales = \$ 686.794 Costos mano de obra = \$ 460.000 Costo piezas selección = \$ 2.021.676

TOTAL = \$ 3.168.470 IVA incl. (19 %)

5.5 Comparación otras alternativas

Existen otras alternativas disponibles en el mercado nacional. La primera opción consiste en una máquina marca Sandberger modelo ST 300, autopropulsada cuyo valor (al 11 de enero de 2006) corresponde a \$14.187.117 IVA incluido (cotizada en Bioland Chile). Esta alternativa tiene una capacidad de procesar hasta 1.400 metros cúbicos por hora teóricamente, siendo accionada por un motor de 70 hp [ver Anexo 8].

Tiene un peso aproximado de 2.500 kilos y un ancho de trabajo de 3 metros y una altura máxima de 1.7 metros. Ver figura 5.1.



Figura 5.1 Volteadora Sandberger

Otra alternativa es una máquina de fabricación nacional marca Cima modelo RAC 250 para conectar a toma fuerza por un valor (al 12 de febrero de 2006) de \$8.437.100 IVA incluido.

Esta máquina tiene un ancho de trabajo de 2.5 metros y una altura de 1.3 metros. El diámetro del rotor es de 65 centímetros diseñado para una potencia superior a 75 hp. Su peso aproximado es de 1.600 kilos. Tiene una capacidad para procesar hasta 600 metros cúbicos por hora. Ver figura 5.2.



Figura 5.2 Volteadora RAC 250

Se puede apreciar que las alternativas existentes tienen diferencias entre si, como es el ancho de trabajo, velocidad de trabajo y muy importante que una de ellas es autopropulsada. Por lo tanto la alternativa mas semejante a la proyectada es la de fabricación nacional, con la cual se puede realizar una mejor comparación.

La volteadora de compost diseñada tiene una ancho de trabajo de 3 metros y 1.5 metros de alto. Esta diseñada para trabajar con una potencia de 50 hp a una velocidad de trabajo máxima de 280 rpm ya que tiene un reductor de velocidad con relación 1:2 y la velocidad del toma fuerza del tractor es 540 rpm. Ver figura 3.2.

Por lo tanto por capacidad, tamaño y precio (Ver Tabla 5.3), el diseño propuesto es el mas adecuado para el problema planteado.

Tabla 5.3. Precios de alternativas

Volteadora de Compost	\$ 3.168470
Volteadora Cima	\$ 8.437.100
Volteadora Sandberger	\$ 14.187.117

6 CONCLUSIÓNES

Del presente proyecto se puede concluir que:

- Con la ayuda de Pro/Engineer Wilfire es posible diseñar este tipo de máquinas y analizarlas estructuralmente de modo de reducir los gastos en material y conocer su estructura sin necesidad de crear un prototipo a escala.
- Es posible diseñar, analizar y construir una maquina volteadora de compost en la región con la tecnología y materiales existentes a bajo costo, incluso menor que otras alternativas ya existentes.
- Se comprueba que la alternativa de fabricación nacional es un 266 % mas costosa que la alternativa propuesta, y la alternativa importada es un 447 % más cara que la máquina diseñada en este proyecto.
- Se cumplió con los objetivos propuestos, debido a que se identificaron los requerimientos de volteo de una planta piloto de la Universidad Austral de Chile, se diseñó y analizó con un software con tecnología de punta, y se realizó un estudio de costos de construcción de la máquina y se comparó con alternativas existentes en el mercado nacional.
- Teóricamente, con el diseño de una volteadora de compost se da solución al problema planteado y se afirma la hipótesis planteada.

 Cabe señalar que el diseño propuesto es el más adecuado dentro de las alternativas planteadas y también dentro de las opciones existentes en el mercado, esto debido a que las características constructivas se adecuan mejor al tamaño de la pila y además a un costo mucho menor.

7 BIBLIOGRAFÍA

Avendaño, D. 2003. El proceso de compostaje. Tesis Ing. Agrónomo. Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal 38p.

Avnimelech, Y.; Eilat, R.; Porat, Y.; and Kottas, P. 2004. Factors Affecting The Rate Of Windrow Composting In Field Studies. Department of Agricultural Eng., Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

Contreras, B. 2004. Diseño de una unidad de compostaje de residuos orgánicos como parte de una estación experimental de agricultura orgánica. Tesis Ing. Agronomía. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias 91p.

Eghball, B.; and Lesoing, G. 2000. Viability of Weeds Seeds Following Manure Windrow Composting. 1. Department of Agronomy and USDA-ARS, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, Nebraska. 2. University Of Missouri, Richmond, Missouri.

INTEC. 1999. Manual de compostaje. Corporación de Investigación Tecnológica de chile. Santiago. Chile.

Natural Resourse, Agricultura, and Engineering Service (NRAES).1992. On-Farm composting handbook. 187p.

Oregon State University. 1996. Composting Grass Seeds Straw

Pace, M.; Miller, B.; Farrell-Poe, K. 1995. The Composting Process. Utah State University

Sternz, D. 1999. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la salud.

Switzenbaum, M. 1999. Wastewater Treatment. Composting.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H. y Vigil, S. 1994. V.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos. 499p.

Virginia Tech. 1997. On Farm Composting. A Guide to Principles, Planning & Opoerations. VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY

ZEMÁNEK, P. 2002. Influence of windrow composition on composting by a windrow turner. Mendel University of Agriculture and Forestry, Faculty of Horticulture, Department of Horticultural Mechanization, Bøeclav, Czech Republic.

Roger Toogood. 2001. Pro/Mechanica Tutorial Structure. Release 2001 – Integrated Mode.

Kuang-HuaChang, Ph.D. 2001. Pro/Mechanica Motion: Mechanism Design and Análysis.

ANEXO 1 TABLA VIDA UTIL

NUEVA TABLA DE VIDA UTIL DE LOS BIENES FISICOS DEL ACTIVO INMOVILIZADO

Nueva Tabla de Vida Util fijada por el Servicio de Impuestos Internos para bienes físicos del activo inmovilizado, según Resolución N°43, de 26-12-2002, con vigencia a partir del 01-01-2003

	NOMINA DE BIENES SEGUN ACTIVIDADES	NUEVA VIDA UTIL NORMAL	DEPRECIACION ACELERADA
Α	ACTIVOS GENERICOS		
1)	Construcciones con estructuras de acero, cubierta y entrepisos de perfiles acero o losas hormigón armado.	80	26
2)	Edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas.	50	16
3)	Edificios fábricas de material sólido albañilería de ladrillo, de concreto armado y estructura metálica.	40	13
4)	Construcciones de adobe o madera en general.	30	10
5)	Galpones de madera o estructura metálica.	20	6
6)	Otras construcciones definitivas (ejemplos: caminos, puentes, túnetes, vías térreas, etc.).	20	6
7)	Construcciones provisorias.	10	3
8) etc.)	Instalaciones en general (ejemplos, eléctricas, de oficina,	10	3
9)	Camiones de uso general.	7	2
10)	Camionetas y jeeps.	7	2
11)	Automóviles	7	2
12)	Microbuses, taxibuses, furgones y similares.	7	2
13)	Motos en general.	7	2
14)	Remolques, semirremolques y carros de arrastre.	7	2
15)	Maquinarias y equipos en general	15	5
16)	Balanzas, hornos microondas, refrigeradores, conservadoras, vitrinas refrigeradas y cocinas.	9	3
17)	Equipos de aire y cámaras de refrigeración.	10	3

ANEXO 2 CATÁLOGO DE PERFILES

Perfil Rectangular

imensión on mm.	Espesor on mm.	Peso teórico kg/mt.
20 x 10	1,0	0,42
20 X 10	1,5	0,59
78. 44.88		
25 x 15	1,0	0,58
	1,5	0,83
	2,0	1,05
30 x 10	1,0	0,50
220022	1,5	0,03
30 x 20	1,0	0,73
	1,5	1,06
ALCO DE LA COLONIA DE LA COLON	2,0	1,36
35 x 15	1,0	0,73
	1,5	1,06
40 x 20	1,0	0,89
	1,5	1,30
	2,0	1,68
40 x 30	1,0	1,05
	1,5	1,53
sto debrae n	2,0	1,99
50 x 20	1,0	1,05
	1.5	1,53
	2,0	1,99
50 x 30	1.0	1,20
	1,5	1,77
	2,0	2,31
	3,0	3,30
60 x 40	2.0	2,93
W A TW	3.0	4,25
70 x 30	2.0	2.93
7 U X 30	3.0	4,25
80 x 40	2,0	3,56
00 X 40	3,0	5,19
	4,0	6,71
100 x 50	2.0	4.50
100 X 50	3.0	
		6,60
	4,0	8,59
	5,0	10,48
150 x 50	2,0	6,07
	3,0	8,96
	4,0	11,73
	5,0	14,41







Barras Redondas Lisas

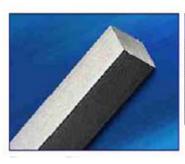
en mm.	ametro en pulgadas	Masa kg/m.	
	agrox.		
8	5/16	0,395	
10	3/8	0,617	
12	1/2	0,888	
16	5/8	1,58	
18	7/10	2.00	
19	3/4	2,23	
22	7/8	2,98	
25	1	3,85	
28,5	1 1/8	5,03	
31,7	1.1/4	6,22	
38,1	11/2	8,95	











Lac	ioe		
en mm.	en pulgadas aprox.	masa kg/m	
8	5/16	0,502	
10	3/8	0,785	
12	1/2	1,13	
14	9/16	1,54	
16	5/8	2,01	
18	7/10	2,54	
25	1	4,91	

Calidades: Comercial. Se entrega en largo de 6 m.



Rollos y Planchas Laminados en Caliente

Espesor en mm.	Peso teórico kg/m²
2,0	16,00
2.5	20,00
3.0	24,00
4,0	32,00
5,0	40,00
6,0	48,00
0,0	64,00
10,0	80,00

Calidad : A37 - 24ES Ancho : 1,000 mm Largos estándar 2 y 2.5 , 3 y 6 mts. Largos especiales a pedido.





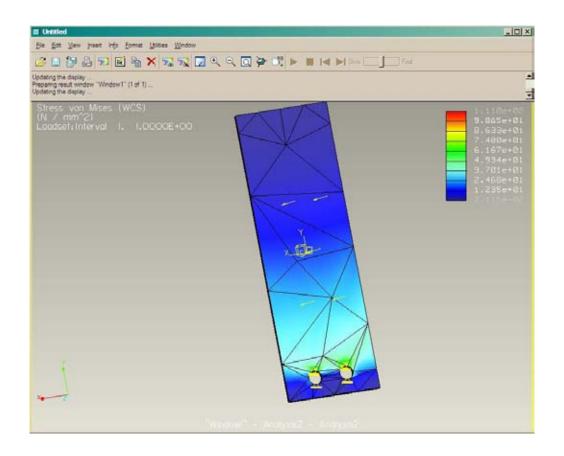
Rollos y Planchas Laminados en Frío

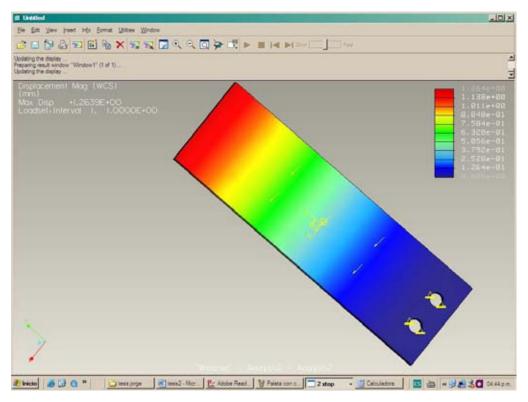


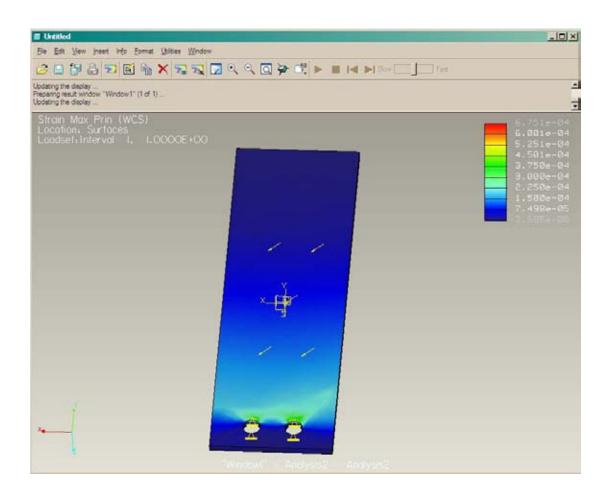
spesor en mm.	Peso teórico kg/m²
0,4	3,20
0.5	4,00
0,6	4,00
0,8	6,40
0,9	7,20
1,0	8,00
1,2	9,60
1,4	11,20
1,5	12,00
1,8	14,40
1,9	15,20

Calidades: SAE 1010, Embutido Moderado, Largos estándar 2, 2,5 Y 3mils Largos especiales a pedido Ancho: 1,000 mm.

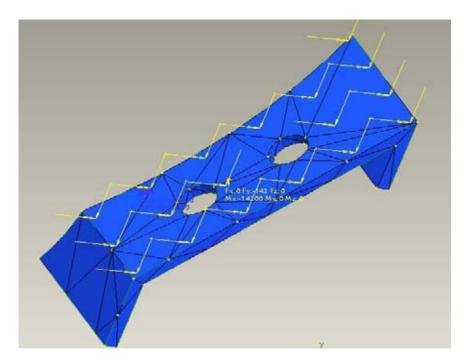
ANEXO 3 ANÁLISIS PALETA

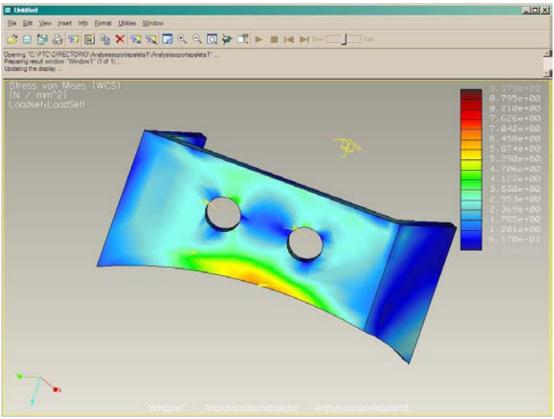


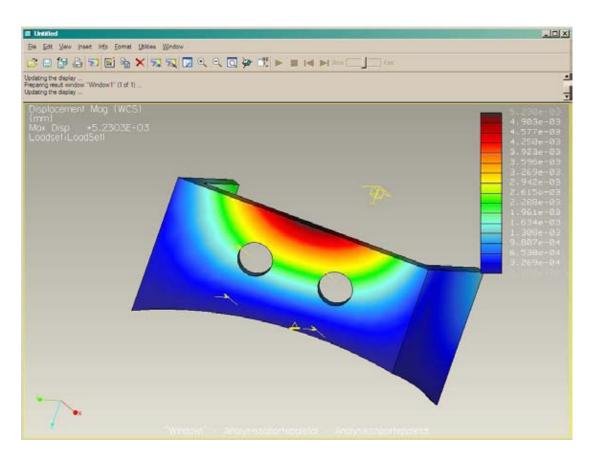


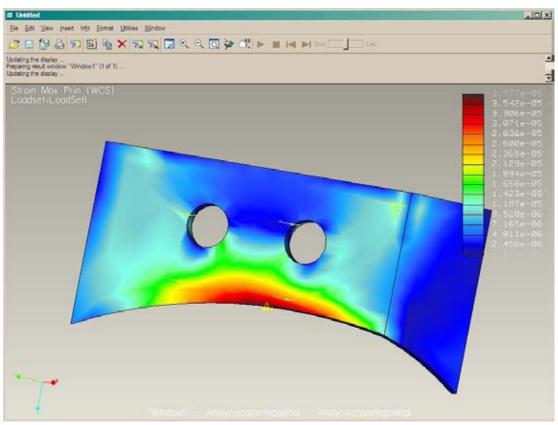


ANEXO 4 ANÁLISIS SOPORTE PALETA

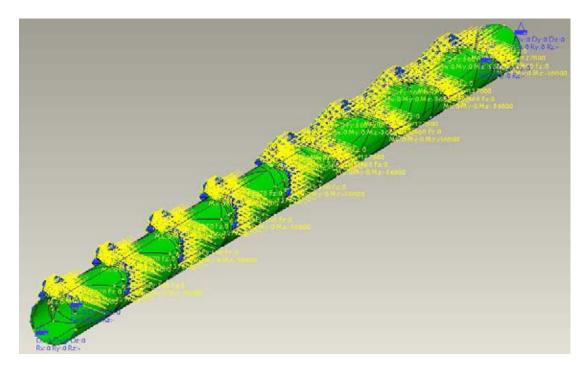


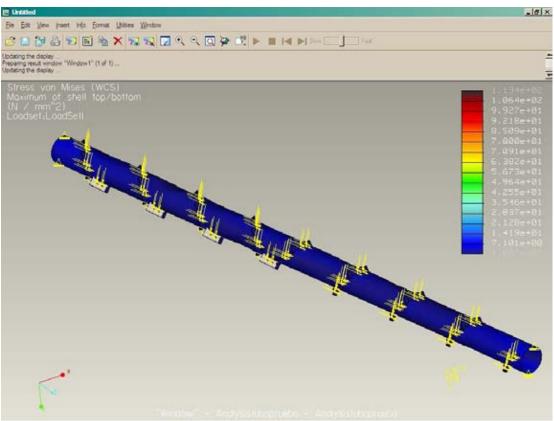


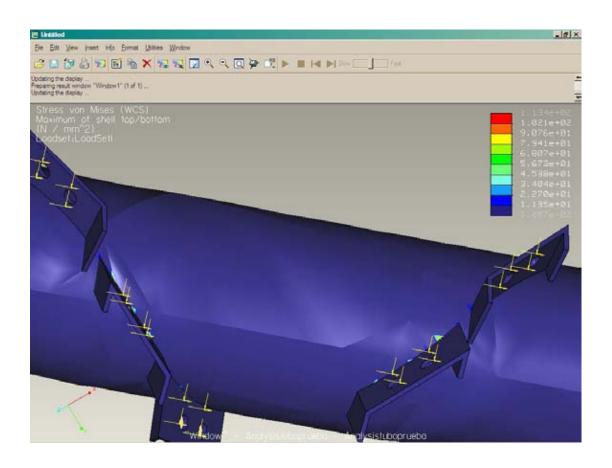


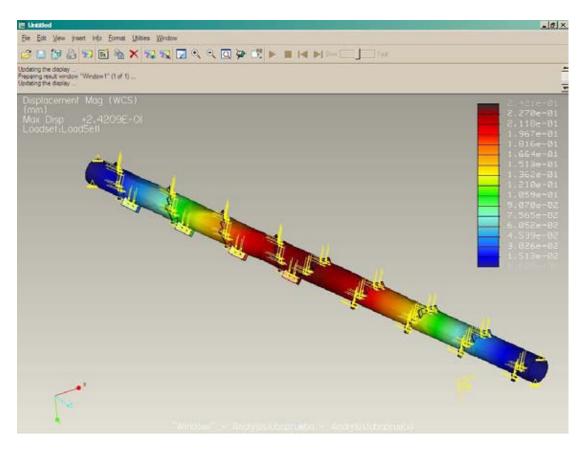


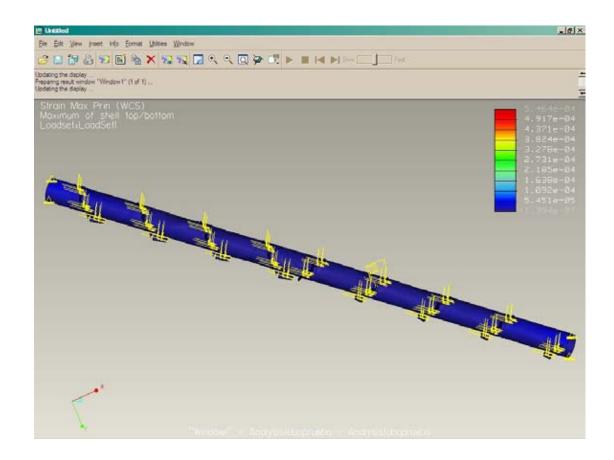
ANEXO 5 ANÁLISIS ROTOR



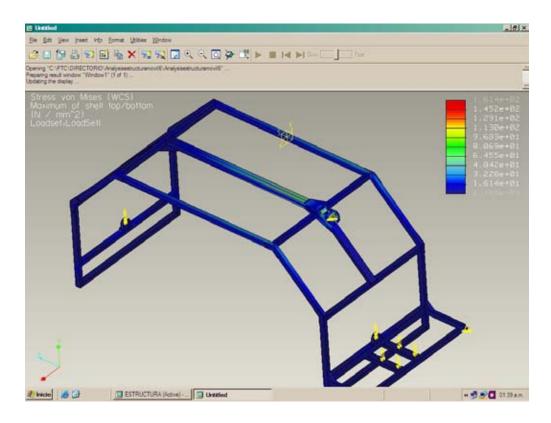


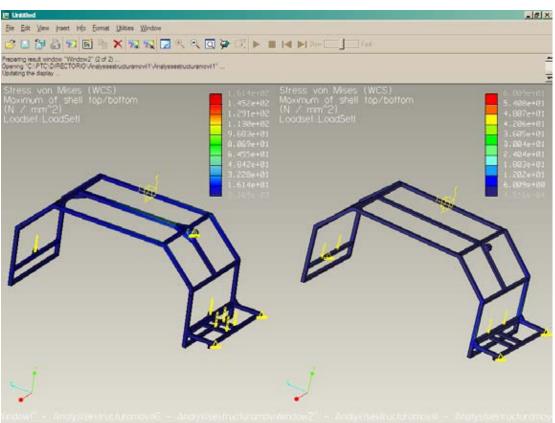


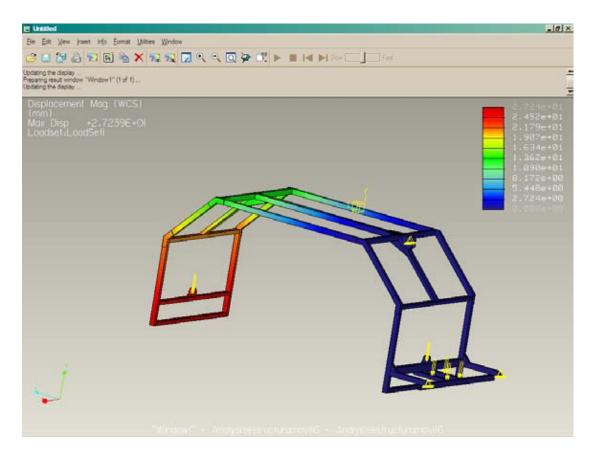


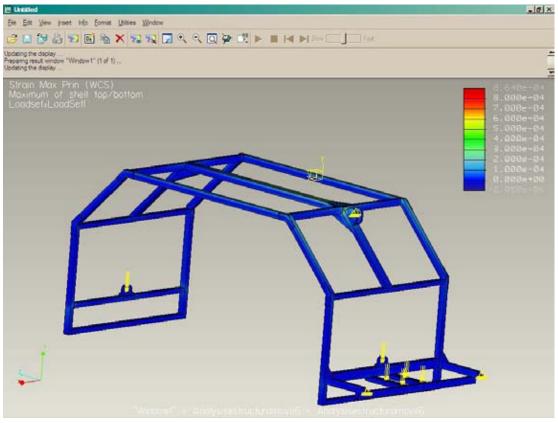


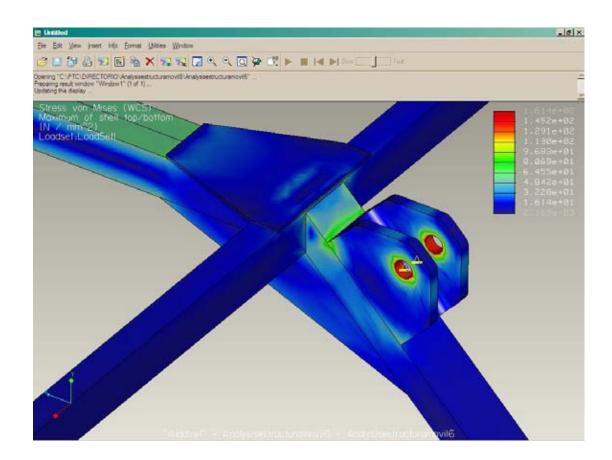
ANEXO 6 ANÁLISIS ESTRUCTURA MÓVIL



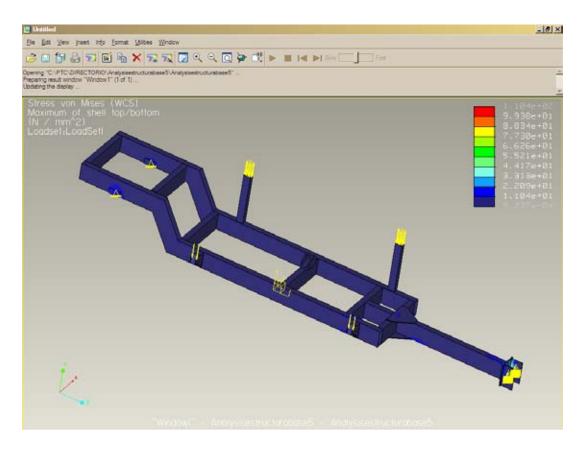


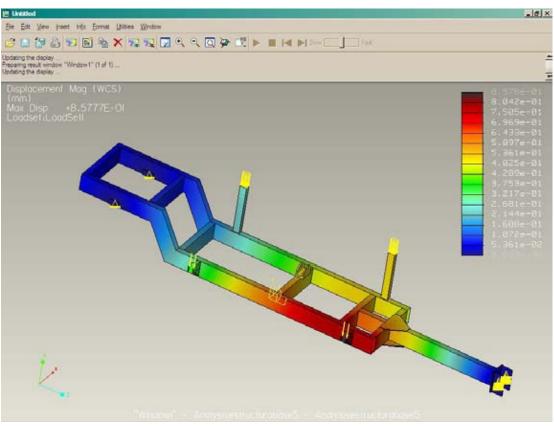


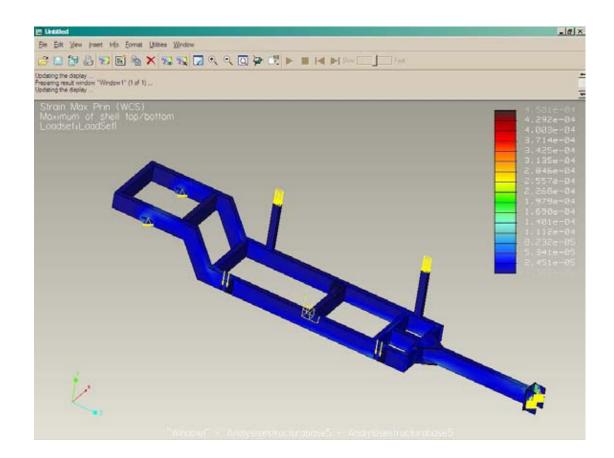




ANEXO 7 ANÁLISIS ESTRUCTURA BASE







ANEXO 8 COTIZACIONES

INGENIERÍA CIMA SAVARD Limitada

Asesoría - Análisis de proyectos agroindustriales

y fabricación de maquinaria y equipos

Las Heras 51 - SAN FELIPE - CHILE

Fono: (56-34) 510 900 Fax: 512 633

COTIZACIÓN

Nº 1208

Fecha: 13-01-06

Email: cima@tie.cl Web: www.cima.tie.cl

Señor(es):Jorge Montero

Dirección:

Giro:

Ciudad: Valdivia

FORMA DE PAGO: 50% a la orden 50% a la entrega

Fono:

Fax:

Cel: 99799214

Email: jortero@yahoo.es

Cantidad DETALLE

1 Removedor Aireador de Compost

modelo RAC 250

Sistema de propulsion hidráulico 0 a 500m/m por hora

y regulador de velocidad.

Ancho y altura de trabajo: 2.50 x 1.30 m

Diámetro rotor 65 cm con paletas orientadas para tirar

el material hacia al centro

Velocidad rotor: 300 Rpm, arrastrado por toma fuerza

tractor 75-85 Hp TDF 540 Rpm

2 ruedas aro 24" neumáticos 14,9 x 24"

1 rueda de apoyo aro 13" neumático 175x13"-6PR

Pesa aprox. 1600 Kg. sin contrapeso

Levante del túnel porta rotor por cilindro hidráulico

sin desacoplar la cardan

ACCESORIOS OPCIONALES

Velocidad avance: hasta 400 m/hora (caudal 20 l/min)

P.UNIT **VALOR**

7.090.000 7.090.000

	Capacidad: hasta 600 m ³ /hora, depende del material		
			-
	Largo total: 4.30 m		-
	Ancho posic. Traslado / Trabajo: 2.15 m / 5.20 m		-
	Alto posic. Traslado / Trabajo: 3.70 m / 1.50 m		-
			-
	PLAZO ENTREGA: 10 semanas desde la orden		
SON:	Ocho millones cuatrocientos treinta y siete mil cien pesos	Neto \$	7.090.000
	Valor puesto en fabrica	IVA\$	1.347.100
Valida hasta 12-02-2006		TOTAL \$	8.437.100

Preparado por : MANUEL CASTILLO V. V.B. Tesorero

EROSOR S.A. (F) EROSOR AGRICOLA S.A. .08 CARRERA 643)SORNO 6789520-2

COTIZACION Nro. 10551

Pr(s). : MONTERO YANEZ EUSEBIO E.

Direccion: PARCELA 11 EL CAMPEON

iudad : LA UNION LU.T. : 5.915.860-0 Biro : AGRICOLA

Fecha : 13/03/2006 Hora : 17:12

Nro.Vale : 667140

Vendedor : SIGISFREDO PINED Cond.Vta.: CONTADO EFECTIVO

ITEM	CANTIDAD U	N. DESCRIPCION	P.UNIT. ZDESC.	TOTAL
102630014382 -	1,00	LLANTA PARA COLOSO T40 6 HOYOS	44.100,00	44.100
102630016885 -	1,00	SEMIEJE 6 PERNOS	71.467,00	71.467

% Desc. 10 11.557

NETO : 104.01: I.V.A. : 19.76: TOTAL : 123.77:

IMPORTADORA ELADIO TAZBAZ AZAR LIMITADA

Bulnes 566 - I Comuna Osoi O COMP	0.000-5 , Venta de Nei Fono/Fax: 263 rno	umáticos, Lubrio	ēis_	43 RUT:	MES AÑO / O O O O O O O O O O O O O O O O O O
Giro:			Cond.	de venta:	
CANT.		DETALLE 16	10 pr	P. UNIT.	VALOR
Imp. César González N. Ra	umírez 426 Fosso 201375 O	some	19	SUMA \$	
n IMPORTATION	<i>f</i> .		_ S.E.ú O.	TOTAL \$	



COTIZACION Nº 2006-045-02

Santiago, 11 de Enero 2006

Sres.

UNIVERSIDAD AUSTRAL Atn: Sr. Jorge Montero jortero@yahoo.es

1 Máquina volteadora (revolvedora) de compost marca Sandberger, modelo ST 300, autopropulsada, con capacidad para procesar hasta 1.400m3/hora, accionada mediante motor de 70 hp, con un peso aproximado de 2.500 kilos



Ancho de trabajo:	3,00	mts.		
Altura de trabajo:	1,70	mts.		
			€	13.235
Barra colocadora de tela protect	tora (compost cover	r)		3.810
Dispositivo inoculador (inyector	de acelerador de o	ompost)		1.450
Barra aspersora				430
		TOTAL EX-WORK	ϵ	18.925
		Gastos a fob aprox.		850
		TOTAL FOB	€	19.775
		Flete maritimo aprox.		3.200
		Seguro aprox.		99
	TOTAL CIF	VALPSO aprox.	€	23.074
	Altura de trabajo: Barra colocadora de tela protec Dispositivo inoculador (inyector	Altura de trabajo: 1,70 Barra colocadora de tela protectora (compost cover Dispositivo inoculador (inyector de acelerador de o Barra aspersora	Altura de trabajo: 1,70 mts. Barra colocadora de tela protectora (compost cover) Dispositivo inoculador (inyector de acelerador de compost) Barra aspersora TOTAL EX-WORK Gastos a fob aprox. TOTAL FOB Flete marítimo aprox.	Altura de trabajo: 1,70 mts. € Barra colocadora de tela protectora (compost cover) Dispositivo inoculador (inyector de acelerador de compost) Barra aspersora TOTAL EX-WORK € Gastos a fob aprox. TOTAL FOB € Flete maritimo aprox. Seguro aprox.

Moneda Euro Precio: Ex-work

1 UE\$ (euro) = CHPESO:

Forma de Pago L/C irrevocable y confirmada Plazo de embarque: 60 días (por confirmar)

NOTA: A los valores arriba mencionados hay que agregarle los derechos y gastos de internación que en conjunto deben ascender a aprox 8%

635 (11/01/2006)

UE\$ (euro) = CHPESO:	635 (11/01/2006)	Valor final aprox. CHPESO	15.824.149
		+ 19 % [VA
POR BIOLAND S.A		P	OR CLIENTE