



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de una cribadora para
una empresa de energías
limpias**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero mecatrónico

P R E S E N T A

Christopher Hernán Rescalvo Peña

ASESOR DE INFORME

M. en A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

Índice

	Página
• Introducción.....	1
• Objetivos.....	3
1. Acerca de G2E México.....	4
2. Diseño de ingeniería.....	6
2.1. Metodología de diseño implementado.....	7
3. Conceptos básicos.....	13
3.1. Máquinas cribadoras.....	13
3.2. Composta.....	16
3.3. Producción de composta en la CDMX.....	17
4. Definición del problema.....	19
4.1. Planta de composta UNAM.....	19
4.2. Estudio de mercado.....	21
5. Necesidades y requerimientos.....	23
5.1. Función crítica.....	25
5.2. Especificaciones.....	25
6. Conceptos de diseño.....	26
6.1. Generación de conceptos iniciales.....	26
6.1.1. Concepto 1.....	26
6.1.2. Concepto 2.....	26
6.1.3. Concepto 3.....	27
6.1.4. Concepto 4.....	27
6.1.5. Concepto 5.....	28
6.2. Selección de conceptos.....	28
6.3. Concepto elegido.....	30
7. División de subsistemas.....	31

7.1. Sistema de soporte.....	32
7.1.1. Requerimientos específicos.....	32
7.1.2. Conceptos de soporte.....	32
7.1.3. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento.....	34
7.2. Sistema de transmisión.....	36
7.2.1. Requerimientos específicos.....	36
7.2.2. Motor.....	36
7.2.3. Poleas y banda.....	37
7.2.4. Diseño de ejes.....	37
7.2.5. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento.....	40
7.3. Sistema de vibración y separación.....	40
7.3.1. Requerimientos específicos.....	40
7.3.2. Diseño de leva.....	41
7.3.3. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento.....	42
7.3.4. Selección de concepto.....	42
7.3.5. Diseño de malla.....	43
7.3.6. Elección de resorte.....	44
8. Resultados.....	46
9. Conclusión.....	47
10. Referencias.....	49
11. Bibliografía.....	49

Introducción

El siguiente reporte trata sobre mi experiencia laboral dentro de la empresa G2E México, en donde se desarrolla tecnología orientada a la creación de energías limpias, usando como recursos (materia prima) los residuos sólidos urbanos o restos de poda para los distintos proyectos que se desarrollan.

Dentro del reporte se encuentran varios capítulos en donde describo mi desarrollo laboral dentro de la empresa, enfocándome en el primer proyecto que realicé dentro de la empresa, a continuación, se resume cada uno de los capítulos:

Capítulo 1: se describe a la empresa en la que se desarrolló el presente trabajo, dando a conocer el por qué se fundó, los proyectos en los que trabaja, así como las cualidades que me solicitaron al momento de mi contratación y se explica mis funciones dentro de tal empresa.

Capítulo 2: se habla sobre el diseño de ingeniería y la metodología de la cual se hizo uso en este proyecto, se describe el cómo se llegó a dicha metodología y la importancia de usarla, ejemplificando cada uno de los pasos que se tienen.

Capítulo 3: al realizar el diseño de cualquier máquina se requiere saber el problema que se quiere cubrir, para no diseñar algo que atienda una necesidad distinta, por ello en este capítulo se aborda el problema de cribado de composta, en donde, en primera instancia se requiere tener identificado qué es una máquina cribadora, las distintas máquinas que hay en el mercado y por otra parte saber qué es la composta y cómo se produce.

Capítulo 4: una vez identificado el problema al que nos enfrentamos, ahora tenemos que ver qué es lo que necesita el cliente de acuerdo con las capacidades de producción que desea obtener, en este apartado se ejemplifica y explica cómo se obtuvieron dichos parámetros a los cuales se les llama necesidades y requerimientos.

Capítulo 5: en todo diseño se deben de tener varias opciones para ver cuál es la que mejor funciona, a esto se le llama selección de conceptos y el proceso por el cual se eligió el mejor concepto para este diseño se explica en este capítulo.

Capítulo 6: para lograr un buen diseño se debe realizar una división de sistemas, para saber cuál es la función de cada sistema e ir diseñando cada elemento de la máquina y

posteriormente unirlos en un solo diseño. En este capítulo se ejemplifica y explica cada uno de los sistemas diseñados para lograr que la cribadora funcione de manera correcta.

Capítulo 7: en este capítulo se presentan los resultados, tanto de la máquina cribadora, como de mi experiencia obtenida en el ambiente laboral y de cómo la universidad ha ayudado a dicha formación.

Objetivos

Objetivo general

- Hacer una descripción de las actividades desarrolladas en el proceso de diseño en una máquina capaz de separar las partes finas y gruesas de material de composta para incrementar su volumen actual de material cribado en planta de composta de Ciudad Universitaria.

Objetivos particulares

- Ejemplificar y platicar acerca de cómo se llegó a la identificación de los requerimientos y necesidades de la máquina cribadora.
- Dar una breve explicación del proceso de selección de los elementos adecuados para el diseño de la máquina.
- Ejemplificar por medio de imágenes de las simulaciones el cómo los programas de diseño nos ayudan a verificar el comportamiento de la máquina.

1. Acerca de G2E México

G2E se especializa en el diseño, desarrollo e implementación de proyectos de gasificación, hidro carbonización y producción de energías mediante el aprovechamiento de biomasa y de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

La empresa obtuvo su registro en el año 2014, mismo año en que empezó sus labores cuando en conjunto con el Instituto de Ingeniería y SAGARPA, pusieron en marcha la planta piloto de gasificación, la razón por la cual se tuvo la iniciativa de construir esta planta es por buscar una manera ecológica de generar energía con base en la biomasa o restos de poda y obteniendo como producto secundario biocarbón, que es un carbón vegetal cuya finalidad es ser integrado al suelo para el mejoramiento del mismo, generando una alternativa ecológica para el uso de los desperdicios antes mencionados.

Actualmente G2E cuenta con una planta de gasificación, ubicada en la puerta 3 de Ciudad Universitaria, a un costado de la planta de composta de la UNAM, siendo esta una planta piloto, la cual se desarrolló en conjunto con SAGARPA y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, buscando usar los restos de biomasa producidos en los campos, bosques y zonas forestales como una fuente de energía sustentable, contribuyendo a disminuir la contaminación a través de la producción de biocarbón y gas de síntesis, el primero se usa como fertilizante para suelos, mientras que el gas se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el uso de un motor generador.

Mi puesto dentro de la empresa se encuentra en el área de ingeniería de proceso y diseño, estoy encargado de realizar el diseño de distintos equipos, los cuales se ocupan dentro de los procesos, además de realizar y revisar la manufactura con empresas externas, así como de realizar los dibujos 3D (CAD) de dichos equipos y de la planta que actualmente se está diseñando.

Al momento de entrar me solicitaron las siguientes cualidades:

- Uso de programas CAD
- Lectura de planos
- Uso de herramientas
- Conocimiento de procesos de soldadura

- Conocimiento para el diseño mecánico

Al momento de la entrevista me comentaron que las actividades que iba a realizar dentro de la empresa era el realizar los dibujos 3D, para tener una idea de los espacios que se ocuparían, además de supervisar y realizar la manufactura de equipos del proceso, así como conocer el proceso completo de la planta actual y ser capaz de operar los distintos equipos, actualmente he realizado todas las tareas que me dijeron, además de cotizar y tener reuniones con empresas externas, las cuales nos venden o manufacturan equipos que se encuentran fuera de nuestro alcance. En la figura 1 se muestra el organigrama de la empresa G2E México, en donde se observan las distintas áreas que se tienen en la empresa.

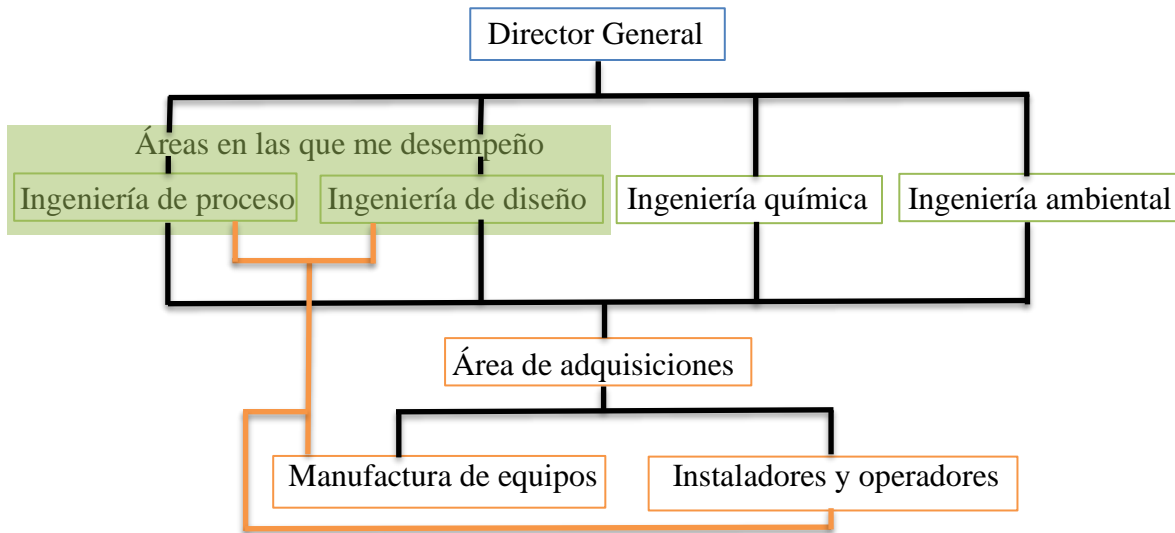


Figura 1. Organigrama de G2E México

2. Diseño de ingeniería

El diseño dentro de la ingeniería es una parte importante, gracias a él se pueden crear o mejorar distintas cosas, como máquinas, productos electrónicos, vehículos, etc., con el fin de lograr un buen diseño se debe de tener claro el objetivo o la función del producto, para ello es importante recolectar información acerca de la necesidad a cubrir por parte del producto y llevar a cabo un proceso o metodología, y así poder llegar a tener la mejor solución al problema.

Con el objetivo de poder llevar a cabo el diseño de un producto se debe preguntar: ¿Cuál es el propósito del producto?, ya que, si no se tiene claro el propósito o para qué va a servir el producto a diseñar es imposible dar alguna solución óptima al problema, debido a ello, durante el diseño se establecen diversas ideas o actividades que nos ayuden a cumplir con el propósito de diseño del producto.

El diseño de ingeniería se divide en operaciones, las cuales son cada una de las actividades a desarrollar a lo largo del diseño, desde la idealización del producto, hasta llegar a la fase final de manufactura.

Al momento de empezar el diseño encontraremos los requerimientos o necesidades a cumplir por parte del producto a fin de llegar a un buen diseño, estos requerimientos y necesidades van a ser las primeras en ser identificadas y con base en estas se buscará la información necesaria para poder llevar a cabo cada una de las operaciones y con ello lograr un buen producto, llegando de esta manera a un resultado o solución, por tanto puede cumplir o no con el resultado esperado, en caso de no cumplir se volverán a rediseñar las operaciones tantas veces como sea necesario, con el propósito de obtener múltiples soluciones y escoger la mejor para el producto a diseñar. En la figura 2 se muestra el módulo básico en el diseño de ingeniería, el cual se debe de replicar en los distintos pasos de diseño.

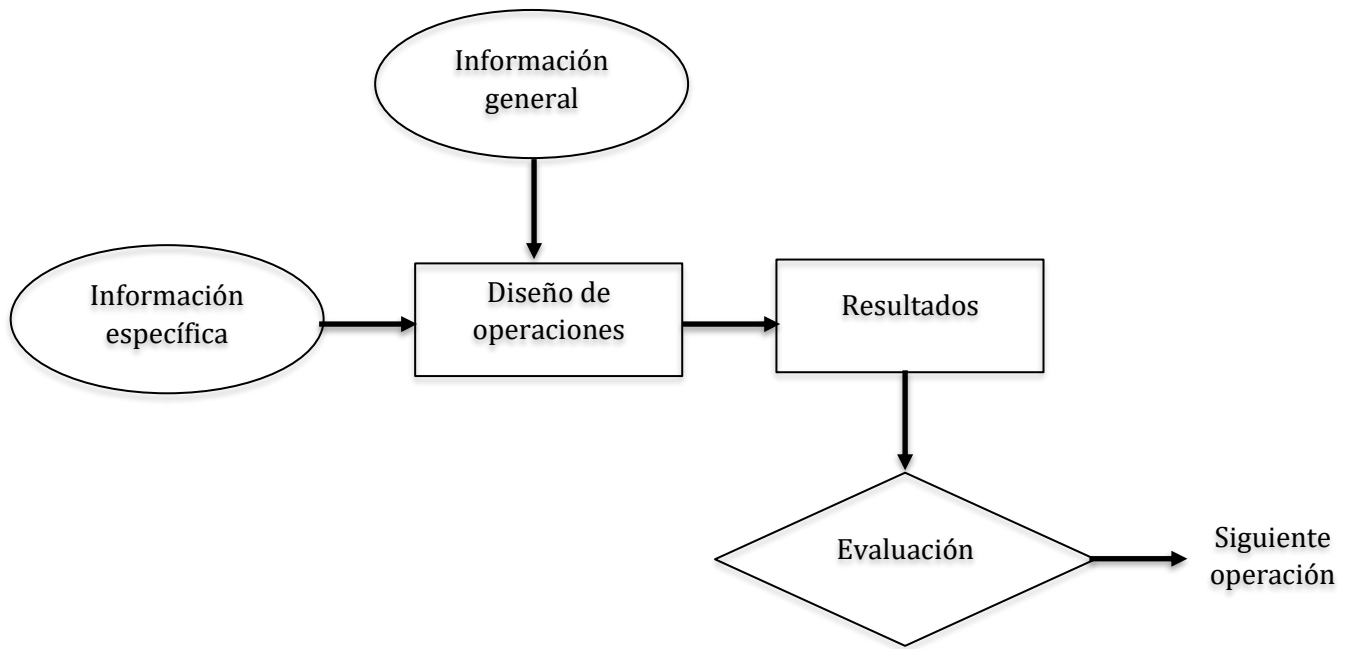


Figura 2. Módulo básico para cualquier operación en el diseño de ingeniería [1]

2.1. Metodología de diseño implementada

Las metodologías de diseño son una serie de pasos a seguir con el objetivo de lograr dar una solución óptima, sin llegar a ser demasiado amplia, evitando dotar al producto de funciones distintas a las establecidas en un principio, de tal manera, al seguir esta serie de pasos se logra cumplir un objetivo específico y satisfacer las necesidades del cliente o usuario final del producto.

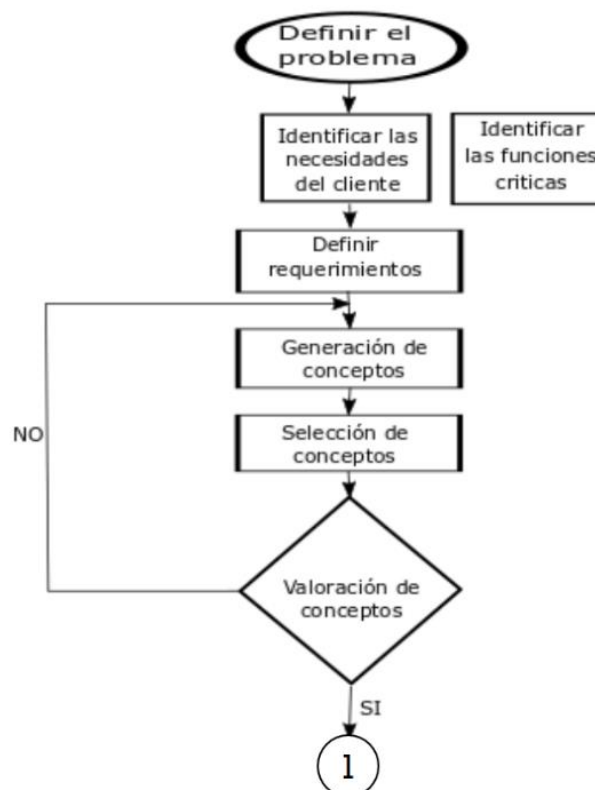
La metodología implementada para el diseño de la máquina cribadora, se realizó en conjunto entre la ingeniera María de los Ángeles Rodríguez Cortés y Christopher Hernán Rescalvo Peña, tomando en cuenta los conocimientos de ambos se llegó a una nueva metodología de diseño, con el propósito de garantizar que el problema de diseño se satisfaga correctamente, los pasos a seguir en la nueva metodología son: definir el problema, identificar las necesidades del cliente, definir los requerimientos del cliente, generar y seleccionar los conceptos de diseño, valoración de conceptos, identificación y designación de subsistemas, definir requerimientos específicos, análisis de ingeniería, verificación de cumplimiento, selección de subsistemas, integración de subsistemas, generación de plan de manufactura, estos pasos se ejemplificarán de manera más amplia en los apartados siguientes, explicando

el proceso de diseño implementado en el desarrollo de la máquina cribadora, ayudando al lector a comprender la metodología y el proceso de diseño.

Como ya se mencionó, el primer paso en el proceso de diseño es definir un problema, para este caso debemos de tener claro dos conceptos (máquinas cribadoras y composta), pues ambos juegan un papel muy importante a fin de lograr una buena solución.

Es necesario seguir una metodología de diseño, por esta razón el equipo de trabajo de la empresa, debatió sobre la metodología que mejor se adaptara a este proyecto y llegamos a la conclusión de realizar una propuesta en conjunto, tomando como referencia la metodología proyectual de Munari, el cual nos dice que todo problema de diseño se puede descomponer en distintos subsistemas y abordar cada uno, para al final poder unirlos y resolver el problema inicial de diseño, y basándonos en nuestros conocimientos obtenidos en proyectos anteriores sobre el diseño de ingeniería.

A continuación, en la figura 3, se muestra el diagrama de la metodología propuesta y se da una breve explicación de cada uno de los pasos a seguir.



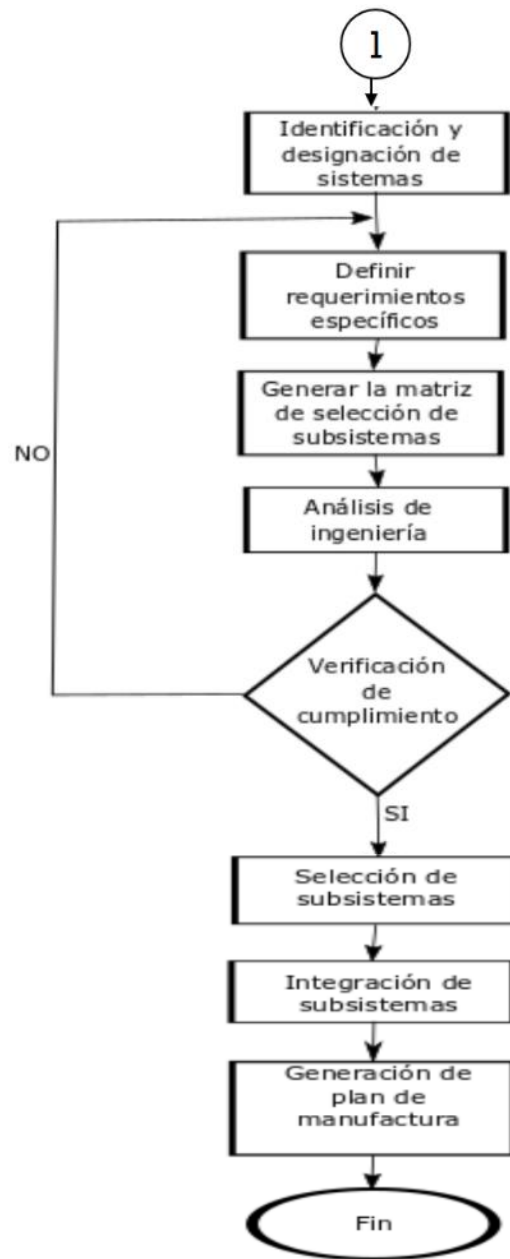


Figura 3. Diagrama de la metodología propuesta [2]

Los pasos a seguir con la metodología de diseño propuesta son los siguientes:

1. Definir el problema: al momento de realizar un diseño siempre se va a buscar el propósito o la función del producto, así como saber cuál es la tarea que se desea cubrir y evitar

realizar un diseño sin llegar a cumplir con esta, o cumpla con un mayor número de tareas y no cubra la tarea para la cual fue diseñado.

2. Identificar las necesidades del cliente: todo producto se diseña con un fin, por ello es de suma importancia identificar cuáles son las necesidades de nuestro cliente y de esta manera poder establecer los requerimientos, tomándolos como base para realizar el diseño.

Las necesidades son cualitativas e independientes del concepto, debido a esto se basan en las peticiones del cliente y en primera instancia no se sabe si se puede o como se pueda resolver.

- 2.1. Identificar las funciones críticas: con la finalidad de lograr el diseño de un producto, primero se debe saber cuál es la función principal para desempeñar y lograr delimitar las posibles soluciones.

3. Definir los requerimientos: los requerimientos son cuantitativos y dependientes del concepto, cada uno de ellos se enfoca en cubrir las necesidades del cliente para poder dar atributos a los conceptos o prototipos.
4. Generación de conceptos: los primeros conceptos se realizan con el objetivo de ver cuáles son las partes que componen el producto a diseñar, realizando una lluvia de ideas acerca de cómo se puede resolver el problema.
5. Selección de conceptos: con base en las necesidades y requerimientos identificados en los pasos anteriores, se hace la elección de los conceptos obtenidos en la lluvia de ideas, el concepto seleccionado debe cubrir de la mejor manera posible las necesidades y requerimientos.
6. Valoración de conceptos: en este paso se realiza una matriz de selección, ponderando los requerimientos y evaluando cada uno de ellos en los distintos conceptos, para elegir el concepto con mayor ponderación.

La ponderación se realiza con calificaciones de 0 a 5, en donde 0 no cumple con el requerimiento evaluado y 5 lo cumple completamente.

7. Identificación y designación de sistemas: al tener un concepto seleccionado, se divide el problema de diseño en distintos subsistemas, los cuales ayudaran a resolver de una manera más sencilla el diseño.
8. Definir requerimientos específicos: al tener los distintos subsistemas se deben de identificar los requerimientos de cada uno de ellos. Cada subsistema cumplirá con tareas específicas dentro del sistema completo.
9. Análisis de ingeniería: se realizan análisis de elementos finitos (FEM) con ayuda de softwares especializados a cada concepto diseñado, para ver el comportamiento de éste, con las condiciones de trabajo del producto diseñado.
10. Verificación de cumplimiento: se analizan los resultados obtenidos en los análisis FEM, pudiendo realizar distintos análisis a un mismo concepto, cambiando el material en cada uno de ellos, para ver cuál concepto tiene un mejor comportamiento.
11. Selección de subsistemas: se da una calificación a los requerimientos más importantes, para seleccionar el concepto que cubra de mejor manera cada uno de ellos y cuente con una mayor ponderación total de todos los requerimientos.
La ponderación es igual al caso de la evaluación de conceptos antes mencionada, en donde realiza con calificaciones de 0 a 5, en donde 0 no cumple con el requerimiento evaluado y 5 lo cumple por completo.
12. Integración de subsistemas: se unen todos los conceptos seleccionados, haciendo las modificaciones necesarias a cada uno de ellos, logrando la existencia de compatibilidad entre los distintos subsistemas.

13. Generación del plan de manufactura: se realiza un plan de trabajo para la manufactura del producto diseñado.

En el siguiente capítulo se hablará más a detalle de cada uno de los pasos a seguir en la metodología de diseño, ejemplificando cada uno de ellos con el trabajo realizado, durante el diseño de la máquina.

3. Conceptos básicos

Durante el diseño de la cribadora para la planta de la composta UNAM, se va a hacer uso de la metodología antes mencionada, implementando cada uno de los pasos definidos en ella anteriormente, con el propósito de dar solución de la mejor manera posible al problema de diseño a lo largo del proceso.

Para lograr el diseño de una máquina cribadora de composta se debe seguir la metodología explicada en el punto 2.1 para lograr llegar al objetivo de una manera adecuada, además se debe de tener claro qué son y cómo funcionan este tipo de máquinas y el tipo de material a cribar, buscando información que nos ayude a comprender sus características y con lo cual vamos a obtener ideas para empezar a resolver el problema para buscar cubrir la tarea deseada.

3.1. Máquinas cribadoras

Las máquinas cribadoras sirven para limpiar impurezas en el material a cribar, usando un sistema de mallas, en donde se quedan las partes más gruesas o con más impurezas y dejando pasar las partes más finas o limpias del material.

Los principales materiales cribados son semillas para la agricultura como trigo, maíz, frijol, etc., materiales de construcción como grava, tierra, arena, etc., minerales, sales, azúcar, abono o residuos.

Las primeras cribadoras (ver figura 4) se usaban para procesos de separación de granos, fueron inventadas en la antigua Egipto, las cribadoras estaban hechas con un cilindro o caja de madera con agujeros de distintos tamaños en el fondo, los cuales dependían del tipo de material cribado.

El funcionamiento de estas cribadoras era completamente manual, el operador tenía que mover las manos de un lado a otro para lograr el cribado del material.



Figura 4. Cribadora de la antigua Egipto [3]

En el siglo XVIII se creó la primera máquina cribadora, esta máquina usaba el principio de la fuerza centrípeta al girar y estaba constituida por dos aros metálicos, uno en cada extremo, unidos por una malla metálica fabricada con alambres de hierro, el material a cribar se depositaba dentro de la malla y su funcionamiento se realizaba girando una manivela, provocando el giro de todo el cilindro y logrando la salida del material por los laterales de la malla, con el paso de los años a este tipo de máquinas se le colocó un motor en lugar de la manivela para un cribado más rápido y efectivo (ver figura 5).

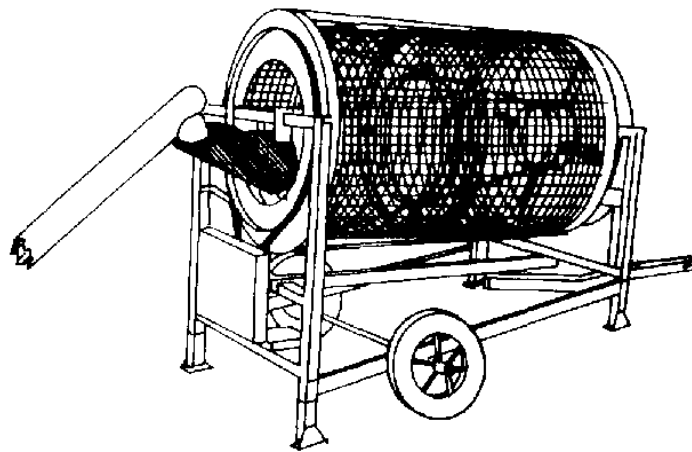


Figura 5. Máquina cribadora manual cilíndrica [4]

Posteriormente se inventaron las máquinas vibratorias, como su nombre lo indican su principio de funcionamiento se basa en la vibración, usando una malla o tamiz, el cual se encuentra inclinado y en donde se deposita el material a cribar.

La vibración de este tipo de máquinas se da mediante el movimiento de la malla, ayudado por resortes para amortiguar dicho movimiento.

Este tipo de cribadoras se usan principalmente cuando se desea trabajar con una gran cantidad de material o se requiere obtener una buena calidad de material cribado.

Existen numerosos tamaños de este tipo de cribas, algunas de ellas tienen más de una malla para cribar, dependiendo del volumen y de la calidad de cribado requerida.

Las ventajas de este tipo de cribadoras, respecto a las cribadoras giratorias es el bajo costo de mantenimiento, mayor capacidad de trabajo, mayor calidad de cribado, facilidad de cambios de mallas y facilidad de operación.

Los aspectos importantes para el diseño de este tipo de cribadoras son:

- Método de alimentación: la alimentación a la cribadora vibratoria se debe hacer lo más cerca posible, con el objetivo de tener el material extendido uniformemente por a toda la malla.
- Ángulo de inclinación: la malla se monta en posición inclinada con respecto a la horizontal. La pendiente óptima es aquella que mantiene las partes de mayor tamaño en la parte superior de la malla y retira las partes de tamaños menores.
Entre mayor sea el ángulo, mayor será la velocidad de desplazamiento del material a lo largo de la malla.
- Frecuencia de vibración: la frecuencia de vibración se debe diseñar para transportar el material adecuadamente y evitar el atascamiento del material en la malla.

La frecuencia de vibración se relaciona con el ángulo de inclinación y el tamaño de los agujeros de la malla. El objetivo es ver la correcta extensión del material en la malla de forma adecuada para lograr un proceso de separación sea más eficiente.

3.2. Composta

La composta es un abono orgánico, usado como fertilizante natural para áreas verdes y suelos, de acuerdo con la Real Academia Española, el nombre correcto de la composta es compost, cuyo significado es humus (sustancia creada a partir de la descomposición de materias orgánicas presentes en la capa superficial de un suelo) obtenido artificialmente a través de la descomposición de diversos residuos sólidos orgánicos como:

- Hojas secas, ramas, aserrín, papel triturado, césped recién cortado, hojas verdes, residuos de verduras y frutas.
- Tierra, su objetivo es darle cuerpo a la mezcla de todo lo anterior
- Agua, su objetivo es mantener la composta levemente húmeda, pero no encharcada ni mojada.

La materia orgánica cuando se está descomponiendo genera un calor de aproximadamente 70° C, esto sirve para matar los huevecillos de insectos y la mayoría de los microorganismos causantes de enfermedades.

La composta se define como producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos, se trata de un material que no representa ningún riesgo sanitario para el medio ambiente, su producción se da mediante condiciones controladas de temperatura, humedad, etc., de acuerdo con la calidad deseada durante el proceso.

Como ya se mencionó anteriormente la composta se usa principalmente como fertilizante de suelos, mejorando sus características en beneficio del desarrollo del mismo, por ejemplo:

- Favorece la aireación y la retención de humedad.
- Mejora la estructura del suelo. Esta característica permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.
- Favorece el almacenamiento de nutrientes y su disponibilidad para los vegetales.
- Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año.

Para producir la composta se hace uso de los residuos sólidos orgánicos, obtenidos a través de los desechos orgánicos, producidos por las distintas actividades de los habitantes del planeta.

3.3. Producción de composta en la CDMX

Según datos de la secretaría del medio ambiente (SEDEMA) durante el 2018 se generaron 13,073 toneladas de residuos sólidos urbanos (basura) por día en la Ciudad de México, siendo 6,500 toneladas de residuos orgánicos, de los cuales aproximadamente el 22% se usan para la generación de composta.

Dentro de la CDMX se encuentran 5 plantas de composta en distintas alcaldías (Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa, Milpa Alta, Xochimilco) y una planta más en el Bordo Poniente, pertenecientes al gobierno de la ciudad y encargadas de procesar 1,400 t/d de residuos sólidos orgánicos para la producción de composta, la cual se usa para darle mantenimiento a las distintas áreas verdes y parques de la ciudad, además de dos plantas pertenecientes a instituciones educativas (UNAM e IPN), donde se procesan únicamente los desechos orgánicos producidos dentro de sus campus centrales (Ciudad Universitaria y Zacatenco, respectivamente).

A continuación, se presenta en la tabla 1, la producción de composta generada diariamente en cada planta.

Tabla 1. Plantas de composta de la Ciudad de México [5]

Planta	Residuos orgánicos recibidos [t/día]	Residuos orgánicos recibidos [t/año]	Composta producida por día [t/día]	Composta producida por día [t/año]
Álvaro Obregón	5.90	2153.5	4.71	1719.5
Cuajimalpa	6.10	2226.5	3.05	1113.25
Iztapalapa	5.96	2175.4	0.62	226.3
Milpa Alta	5.33	1945.45	1.05	383.25
Xochimilco	5.76	2102.4	1.24	452.6
Bordo Poniente	1025.24	374212.6	394.72	144072.8
Total	1054.30	384819.5	405.38	147963.7
UNAM	42 m ³	15330 m ³	8 m ³	2920 m ³
IPN	N/D		N/D	

Ninguna de las 8 plantas mencionadas anteriormente cuenta con las condiciones necesarias de trabajo, debido a la falta de personal, recursos y equipo, provocando una producción de composta lenta.

En el siguiente apartado se hablará de los problemas que tiene la planta de composta de la UNAM en su producción.

4. Definición del problema

4.1. Planta de la composta UNAM

La planta de la composta UNAM (ver figura 6), fue creada en 1994, con el objetivo de dar un uso a los desechos orgánicos producidos en toda Ciudad Universitaria, los cuales se encuentran contaminados hasta en un 80% con basura como envases, empaques de refresco, vidrio, latas de aluminio, partes de coches, etc. Dicha planta procesa 8 m^3 de composta diariamente, usada para el mantenimiento y mejoramiento de las áreas verdes de la institución.

Para poder llevar a cabo la descontaminación de los desechos orgánicos se realiza un proceso industrial conocido como filtración, cuyo objetivo es separar dos o más materiales o sustancias.

Para ello se requiere el uso de algún tipo de método de filtración como el cribado, realizado con una malla de tela hecha con alambre entretejido y tiene aberturas cuadradas de tamaño uniforme.



Figura 6. Planta de la composta [6]

La planta de la composta cuenta con una cribadora completamente manual, por lo cual el proceso de cribado de los residuos es complicado y poco efectivo.

El funcionamiento de la cribadora se da por medio de un tensor simple, este tensor tiene que ser jalado por el usuario para lograr levantar la rejilla de cribado, al mismo tiempo una pala mecánica a base de gasolina (bobcat) deposita los residuos en la cribadora, por esta razón los costos en la operación son elevados (ver figura 7).



Figura 7. Cribadora de la planta de la composta [7]

La planta de la composta requiere mejorar la calidad de la composta y eficiencia de cribado, sin embargo, no cuenta con el capital necesario para adquirir una máquina comercial, capaz de cubrir la necesidad de la planta.

Para definir el problema del diseño de la cribadora se realizó una entrevista al Biólogo Javier Flavio Montoya Gómez encargado de la planta, como resultado se lograron identificar diversos problemas que presenta la planta: el volumen de composta obtenido con la cribadora actual ($3 \text{ m}^3/\text{día}$), se logró conocer esta cribadora y se observó su funcionamiento, el cual consiste en jalar un laso (ver figura 8) para levantar la reja de la cribadora y que por sí sola regrese a su posición original, provocando un golpe entre la base y la reja, logrando que caiga al suelo la composta limpia y dejando en la reja residuos inorgánicos (botellas, partes de auto, platos, vasos, etc.), los cuales contaminan la composta.



Figura 8. Funcionamiento de la cribadora [8]

El principal problema de la cribadora es el funcionamiento, según palabras del biólogo Montoya, realizado de manera manual, como se describe en el párrafo anterior, para resolver este problema se busca realizar un proceso de cribado automático de los residuos, sin

necesidad de tener a un trabajador moviendo la cribadora, para lograr un mayor volumen de cribado diario y de esta manera no tener problemas de almacenamiento de residuos debido a la ineficiencia de la máquina actual.

Para poder llegar a una solución de diseño se requiere realizar análisis e investigaciones, llamados estudios de mercado, para poder abordar el problema, realizándolo en pequeños casos individuales y poder definir los medios por los cuales se llegará a la resolución de cada uno de ellos, para finalmente integrarlos en un solo diseño y lograr cumplir con la función establecida.

4.2. Estudio de mercado

El estudio de mercado dentro del diseño de ingeniería se realiza para conocer los productos similares ya existentes en el mercado, realizando una búsqueda de información para saber las especificaciones, funcionamiento, usos, materiales, precios o cualquier tipo de dato útil al momento de realizar nuestro diseño.

Para el diseño de la máquina cribadora de biomasa, se realizó el estudio de mercado buscando información en las distintas páginas web de fabricantes de cribadoras y recolectando datos de 10 modelos de cribadoras verticales de distintas marcas, así como viendo videos del funcionamiento de cada una de ellas. Dentro de los datos obtenidos tenemos:

- A. Motor
- B. Potencia del motor
- C. Combustible
- D. Capacidad de cribado
- E. Dimensiones
- F. Tipo de sujeción de malla
- G. Sistema de transmisión
- H. Precio

El realizar el estudio de mercado ayudó a identificar parámetros compartidos entre la mayoría de cribadoras que actualmente se encuentran en el mercado, como son:

- Frecuencia de funcionamiento: la frecuencia manejada por la mayoría de las máquinas cribadoras se encuentra entre los 20 Hz y 25 Hz, diseñando la máquina cribadoras bajo estos mismos parámetros.
- Angulo de inclinación de la malla: la mayoría de las máquinas del mercado cuentan con una malla fija, variando de 20° a 30° entre ellas, dependiendo del material cribado, por esta razón se decidió hacer una malla con ángulo variable, para lograr un cribado de varios materiales.
- Mallas: al leer las opiniones de los clientes de las cribadoras se logró identificar que muchos de ellos dicen que el material que criban se atasca y en algunas ocasiones es difícil limpiar las mallas o al ser mallas fijas no se pueden cribar distintos materiales, llegando a la conclusión de que es mejor colocar una malla intercambiable en el nuevo diseño. En la figura 9 se presentan algunos modelos comerciales de máquinas cribadoras.



Figura 9. Máquinas comerciales [9]

5. Necesidades y requerimientos

Actualmente; existen muchas soluciones al problema de cribado, sin embargo, como ya se mencionó, con el estudio de mercado realizado se lograron identificar algunas características compartidas entre las máquinas cribadoras vendidas en la industria, dichas características nos ayudarán a establecer requerimientos con base en las necesidades del cliente (planta de composta de la UNAM).

Para lograr establecer las necesidades y requerimientos del diseño de máquina cribadora, se hizo uso de la información otorgada por el biólogo Montoya en la entrevista realizada en el interior de la planta de la composta, donde se platicó acerca del uso que se le va a dar a la cribadora, además de intercambiar distintas ideas entre cliente y empresa para lograr llegar al diseño que satisfaga lo que el cliente quiere.

En dicha entrevista el encargado mencionó las necesidades y requerimientos importantes para el cribado de composta, además se identificaron otras necesidades no mencionadas por el biólogo, pero de igual manera son importantes.

Se analizaron algunos puntos importantes a considerar como:

- Usuario: será una cribadora fácil de utilizar, debido a la falta de capacitación de los trabajadores con este tipo de máquinas, especialmente para su mantenimiento.
- Materiales: para el diseño de la cribadora se usarán principalmente materiales que el cliente ya tiene, como el motor de gasolina y estos serán fáciles de reemplazar.
- Mecanismo: El mecanismo de la cribadora será automático, solo se requerirán la intervención de trabajadores, los cuales con ayuda del bobcat, viertan la composta en la cribadora, el movimiento de la cribadora permitirá la desintegración de la tierra comprimida en pedazos más pequeños.
- La malla o filtro: La malla será intercambiable con la finalidad de manejar distinta granulometría en la cribadora.

- Ambiente: La cribadora se encontrará a la intemperie, pero no será operará bajo la lluvia, soportará agentes corrosivos intrínsecos en la composta, humedad y el impacto de rocas, tierra o cualquier otro posible material pesado que caiga sobre la cribadora.

En la tabla 2, se ejemplifican los requerimientos y necesidades obtenidos gracias a la entrevista.

Tabla 2. Requerimientos y necesidades

Necesidades	Requerimientos
Trabajar a la intemperie	Acero
Volumen de biomasa de entrada	Rango de operación de volumen de entrada
Tamaño de grano a la salida	Volumen de salida / Granulometría
Usar Motor Diésel	Motor diésel de 9 hp
Facilidad de operación	Resistencia mecánica de las mallas
Robustez	Resistencia mecánica de la estructura
Diferentes tipos de mallas	Tamaño de mallas
Resistencia de las mallas al impacto	Tornillos de sujeción para mallas
Cambio fácil entre mallas	Peso máximo de la cribadora
Adaptabilidad a modificaciones futuras	Altura máxima de la cribadora
Dimensiones de la cribadora	Largo mínimo del compartimiento de la tierra en la cribadora
Facilidad de movilidad	Ancho mínimo del compartimiento de la tierra en la cribadora

5.1. Función crítica

Después de realizar la entrevista dentro de la planta de composta, se logró identificar la función principal para realizar el diseño, el cual es lograr un buen cribado de la composta, eliminando todos los residuos no deseados (botellas, bolsas, plástico, uncel, etc.) que se encuentran en ella.

Además de añadir varias características deseadas por el cliente para lograr un buen funcionamiento y obtener buenos resultados de producción de composta

5.2. Especificaciones

Las especificaciones identificadas durante la entrevista y al comparar el estudio de mercado y los requerimientos del cliente, así como áreas de oportunidad son:

- Capacidad de carga: 1.5 toneladas.
- Capacidad de cribado: 24 m^3 de composta.
- Costo de la máquina: No se tiene un presupuesto amplio.
- Diseño para intemperie: Recubrimiento anticorrosivo.
- Mantenimiento operativo: mantenimiento fácil debido a los problemas de presupuesto de la planta de composta.
- Versatilidad: Facilidad de moverla con ayuda de las máquinas existentes en la planta de composta.

Todo ello tomando en cuenta diversos factores, ya que como se mencionó anteriormente, la entrevista se realizó en las instalaciones donde va a operar la máquina, por lo que logré observar las condiciones de trabajo que se tienen.

Es muy claro que no se pueden cubrir al 100% todas las especificaciones, sin embargo, el trabajo de integración consiste en cubrir de la mejor manera posible las necesidades y requerimientos identificados.

6. Conceptos de diseño

6.1. Generación de conceptos iniciales

Para realizar los conceptos del diseño de la cribadora se hizo uso del software de diseño asistido por computadora (*Inventor*), se hicieron 5 conceptos iniciales, analizando los pros y los contras de cada uno e investigando el tipo de cribado más eficaz para el tipo de material que se va a usar.

6.1.1. Concepto 1

El primer concepto (ver figura 10) realizado por el grupo de CAD-CAM, se trata de una cribadora rotacional, este concepto cuenta con un soporte y un cilindro, el cual va a girar para lograr cribar la composta.

La alimentación de la cribadora se realiza por un extremo con ayuda del bobcat y el material cribado será expulsado por los orificios del cilindro.

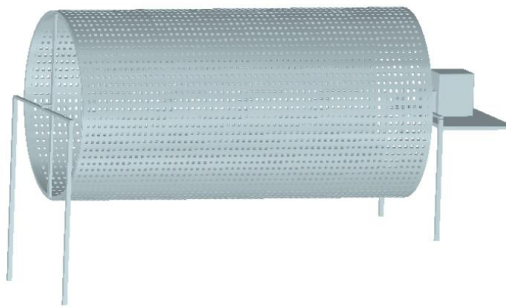


Figura 10. Concepto 1 [10]

6.1.2. Concepto 2

El segundo concepto realizado por el mismo grupo (ver figura 11), es una cribadora vibratoria vertical, cuenta con un soporte de acero, donde se encuentran 8 resortes para amortiguar la vibración generada por el eje ubicado en el centro de la cribadora.

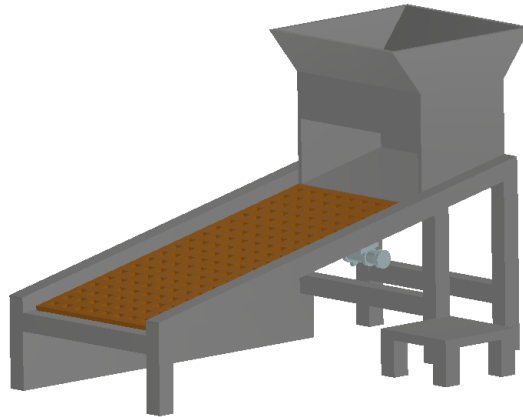


Figura 11. Concepto 2 [11]

6.1.3. Concepto 3

El tercer concepto realizado por el grupo (ver figura 12), es una segunda versión del concepto anterior, reforzando el soporte y agregando una tolva para la alimentación de la cribadora.

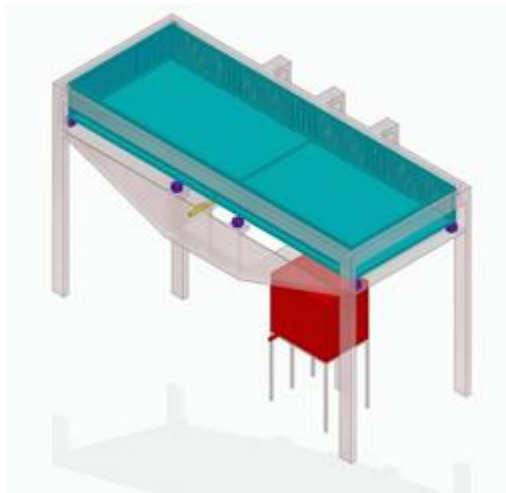


Figura 12. Concepto 3 [12]

6.1.4. Concepto 4

El cuarto concepto (ver figura 13), fue realizado por el alumno Christopher Hernán Rescalvo Peña, se trata de una cribadora vibratoria horizontal, la cual cuenta con un soporte y dos mallas paralelas, las cuales pueden colocarse a distintos ángulos de inclinación para un mejor cribado, este concepto tiene 10 resortes para amortiguar la vibración y una tolva para la alimentación de la máquina.

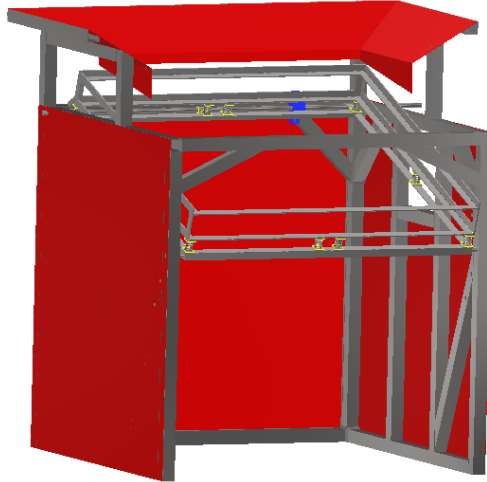


Figura 13. Concepto 4

6.1.5. Concepto 5

El último concepto (ver figura 14), es una modificación del concepto anterior cambiando el material de soporte de perfil por viga, haciéndolo más robusto y pesado, pero manteniendo los demás componentes.

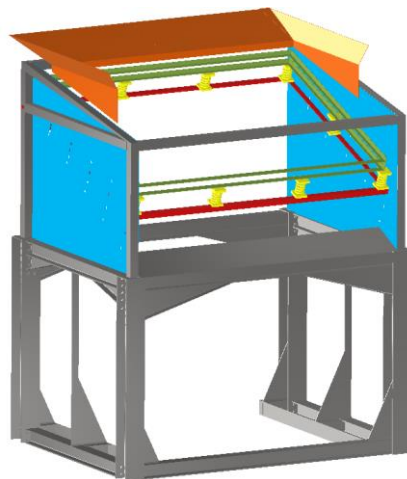


Figura 14. Concepto 5

6.2. Selección de conceptos

Cada uno de los conceptos se evaluó en una matriz de decisión de acuerdo con los requerimientos obtenidos por el cliente.

Los requerimientos evaluados fueron:

- Facilidad de alimentación: facilidad para depositar el material en la cribadora con ayuda del bobcat.
- Robustez: Durabilidad de la máquina a mal uso por parte de los operadores.
- Volumen de cribado: capacidad de cribado de acuerdo con el volumen del soporte de la cribadora
- Movilidad: facilidad de mover la máquina de un sitio a otro.
- Cambio fácil de mallas: facilidad de cambio de mallas para cribado de acuerdo con el material ocupado.
- Facilidad de operación: facilidad de uso para el personal de la planta de la composta UNAM.

En la tabla 3 se muestra la matriz de decisiones para la selección de conceptos iniciales.

Tabla 3. Matriz de decisión para selección de conceptos iniciales.

Concepto	Facilidad de alimentación	Robustez	Volumen de cribado	Movilidad	Cambio fácil de mallas	Facilidad de operación	total
1	2	2	3	3	0	2	12
2	2	3	5	3	2	4	19
3	3	3	5	3	2	4	20
4	5	4	5	5	4	5	28
5	5	5	5	4	4	5	28

Los conceptos elegidos son el 4 y 5, cuentan con una mayor ponderación respecto a los otros conceptos. Dichos conceptos solo difieren en el soporte, por esta razón se podrán usar los elementos de cada subsistema realizado en ambos conceptos y por medio de estudios FEM ver cual presenta un mejor comportamiento.

6.3. Concepto elegido

El concepto elegido tiene como base de soporte de perfil o viga, logrando un diseño robusto y pesado, pensando en el tipo de uso que el usuario le va a dar.

El uso de perfil (figura 13) o viga (figura 14) se definió de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis FEM realizados en el software de diseño asistido por computadora.

7. División de subsistemas

Una vez seleccionados los conceptos, se realizó la división de cada una de las partes del sistema, se analizó la función que cumple cada uno de ellos y se identificaron elementos faltantes en el concepto, para lograr segmentar el problema de diseño en distintos subsistemas con base en los requerimientos obtenidos, a continuación, se muestra un diagrama de los subsistemas de diseño (ver figura 15):

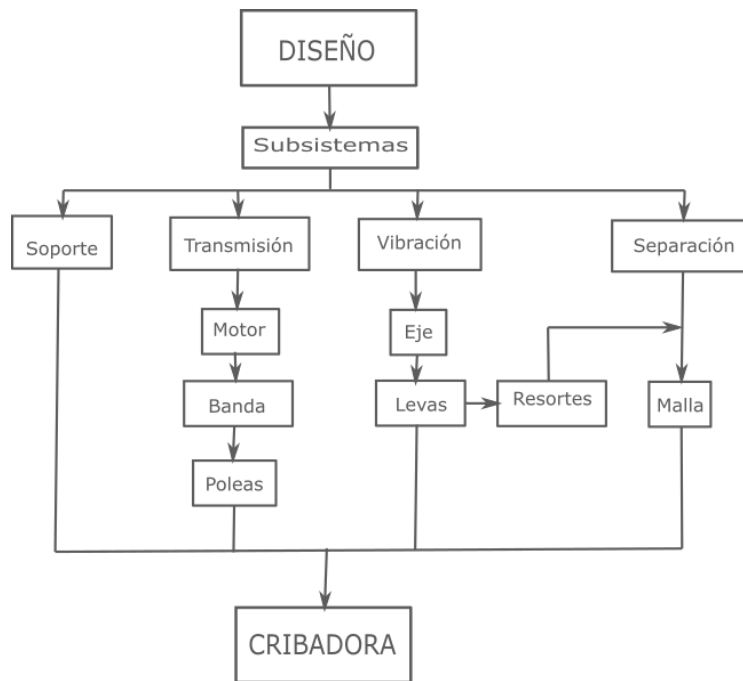


Figura 15. Diagrama de división de subsistemas para diseño

Se realizarán conceptos para cada uno de los subsistemas, para por medio de análisis FEM elegir el concepto con mejor comportamiento, de acuerdo con los requerimientos de la máquina.

Para algunos elementos de la máquina cribadora solo se realizará un concepto, debido a que se realizará los cálculos necesarios para su óptimo funcionamiento.

7.1. Sistema de soporte

La función de este sistema es dar estabilidad, robustez y resistencia a la máquina cribadora.

7.1.1. Requerimientos específicos

Este sistema es el encargado de dar estabilidad a la cribadora, siendo capaz de soportar el peso total de la máquina en funcionamiento.

En la tabla 4, se muestran los requerimientos y necesidades del sistema de soporte de la cribadora.

Tabla 4. Requerimientos y necesidades del sistema de soporte.

Necesidades	Requerimientos
Trabajar a la intemperie	Acero
Volumen de biomasa de salida	Rango de operación de volumen de salida igual a $24 m^3$
Tolerancia para depósito de biomasa	50 cm de tolerancia con respecto a la pala del bobcat para depositar el material cribado
Robustez	Resistencia mecánica de la estructura
Adaptabilidad a modificaciones futuras	Altura máxima de la cribadora
Dimensiones de la cribadora	Largo mínimo del compartimiento de la tierra en la cribadora
Facilidad de movilidad	Ancho mínimo del compartimiento de la tierra en la cribadora

7.1.2. Conceptos de soportes

Se realizaron 2 conceptos denominados amplios, con un aumento en el largo de la cribadora de 50 cm mayor al largo medido en el bobcat que deposita el material de composta en la cribadora, esta modificación fue una petición directa del cliente.

Los conceptos amplios tienen 2.1 m de largo, 1.5 m de ancho y 1.6 m de alto, con una masa total de 231.36 kg, su precio aproximado es de \$14,486.06 para el soporte con uniones de 90° y 236.55 kg y un precio aproximado de \$14,602.60 para el soporte con uniones de 45°.

Una vez dibujadas todas las piezas del soporte se ensambló cada una de ellas y se unieron con soldadura de acero cada una de ellas (ver figura 16).

La soldadura seleccionada fue por arco eléctrico, usando un electrodo E6013, ya que nos permite soldar en cualquier dirección y tiene una resistencia a la tensión superior a la obtenida en los análisis FEM realizados a este concepto.

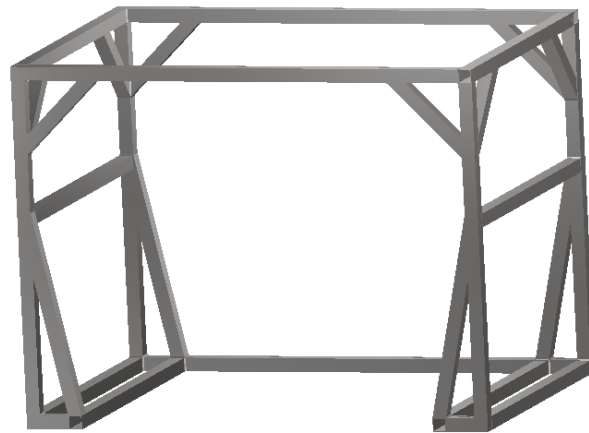


Figura 16. Boceto de soporte amplio

Para los soportes amplios se identificó un problema al momento de estar ensamblando todas las piezas, siendo la parte interior del soporte, donde se acumula la composta cribada, demasiado grande y al momento de retirar el material cribado con la pala mecánica quedará mucho material cribado en los laterales interiores debido a los 50 cm extra, solicitados por el cliente, por esta razón se decidió realizar una reducción en la parte inferior de la cribadora, dejando una tolerancia de 5 cm para que la pala del bobcat pueda recoger el material cribado.

Para solucionar este problema se decidió reducir 22.5 cm de cada lado del soporte, realizando un triángulo rectángulo de 100 cm de alto y una base de 22.5 cm.

Otro tipo de conceptos realizado fue cambiando el material y el método de unión, por lo cual para el siguiente concepto se usaron vigas IPS de dos medidas distintas, 4"x4" para la

estructura y 6"x6" para las patas y realizando las uniones entre ellas con tornillos estructurales de grado A-490, con un precio total aproximado de \$20,165.84.

Estos conceptos se realizaron para estudiarlos por medio de simulaciones FEM y ver el material y el tipo de unión más conveniente de acuerdo con las fuerzas que actúan en la cribadora y poder elegir el material con mejor adaptabilidad a los requerimientos y necesidades de diseño.

De igual manera en los conceptos amplios se tenía el problema al momento de recoger el material cribado, la solución fue similar a los conceptos con perfil PTR usando vigas de 20.6 para reducir el área donde se va a recoger el material y una placa calibre 14 (1.9 mm de grosor), la cual cubrirá todo el ancho del soporte en la zona mencionada. Para lograr que el material baje de manera correcta hasta el suelo se colocaron tres triángulos de cada lado del soporte, donde se soldara una placa de lámina de acero calibre 12 (2.66 mm de grosor) (ver figura 17).

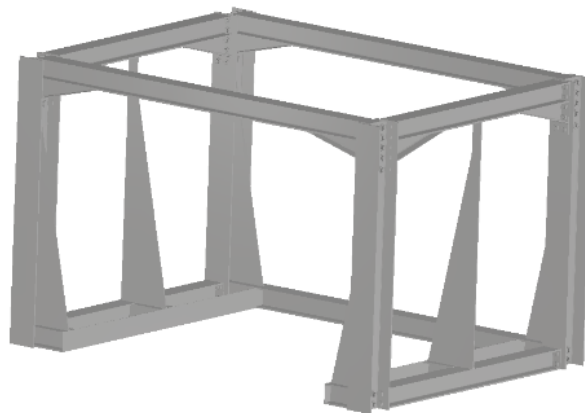


Figura 17. Concepto 5

7.1.3. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento

Para seleccionar el concepto con mejor cumplimiento de acuerdo con los requerimientos se realizó un estudio FEM a cada uno de los conceptos, usando una carga dinámica de 1 tonelada (ver figura 18), establecida por el cliente como la carga máxima para ser soportar por la máquina.

Se les realizaron estudios por medio del software a los conceptos, colocando una fuerza dinámica establecida en la parte superior del soporte de 9780 N, ya que la masa soportada por la máquina es de 2000 kg y la fuerza de gravedad es de 9.78 N/kg, además se aplicaron restricciones de tierra en la parte inferior del soporte.

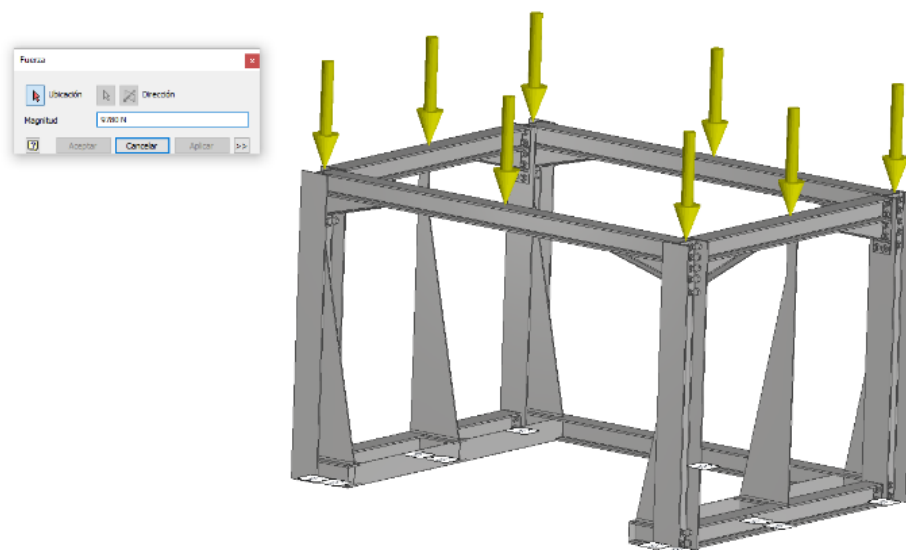


Figura 18. Aplicación de fuerza en el estudio FEM

La simulación realizada arrojó distintos valores como tensiones, desplazamientos, coeficiente de seguridad, etc., analizando los resultados para ver cuál concepto es mejor para nuestro diseño, basándonos en los resultados y en los otros requerimientos establecidos.

Para ejemplificar los estudios FEM solo se muestra la simulación de un concepto, debido a que todas las simulaciones son iguales.

Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de estudios FEM

Concepto	Tensión de Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Coefficiente de Seguridad (ul)
1	45.96	0.5346	5.44
2	71	0.5553	4.93
3	37.02	0.4097	9.45
4	64.24	0.3992	8.94
5	23.01	0.1567	15

Con base en los resultados obtenidos se concluyó cómo mejor opción el concepto 5.

7.2. Sistema de transmisión

La función de este sistema es transmitir el torque ejercido por el motor al eje para lograr la vibración deseada.

7.2.1. Requerimientos específicos

Este sistema se encarga de transmitir el par del motor al eje, haciendo uso de un sistema de banda y poleas, con una relación de 1.43, para aumentar las revoluciones del motor de 3500 rpm a 5000 rpm (Ver tabla 6).

Tabla 6. Requerimientos y necesidades de sistema de transmisión.

Necesidades	Requerimientos
Aumentar el par y las revoluciones por minuto del motor	Aumentar a 5000 RPM
Sistema de fácil mantenimiento	Sistema de banda-poleas simple

7.2.2. Motor

El motor ocupado para el diseño de la cribadora fue un motor de cuatro tiempos marca HONDA, modelo GX 270, cuyas características se muestran a continuación:

- TIPO DEL MOTOR: A gasolina, 4 tiempos, OHV, enfriado por aire, monocilíndrico 25° inclinación, eje horizontal
- DIÁMETRO Y CARRERA: 77 x 58 mm
- DESPLAZAMIENTO: 270 cm^3
- RADIO DE COMPRESIÓN: 8.5:1
- POTENCIA NETA*: 6.3 kW (8.4 hp) a 3,600 rpm
- TORQUE NETO MÁXIMO*: 19.1 N.m (1.94 kg.m) a 2,500 rpm
- ALERTA DE ACEITE: Sí
- SISTEMA DE ENCENDIDO: CDI Digital
- SISTEMA DE ARRANQUE: Retráctil
- CAPACIDAD DE GASOLINA: 5.3 litros
- FILTROS DE AIRE: Tipo dual

- CAPACIDAD DE ACEITE: 1.1 litros
- CONSUMO DE GASOLINA: 2.4 l/h
- DIMENSIONES (LARGO X ANCHO X ALTO): 380 X 429 X 422 mm
- PESO EN SECO: 25 kg

El uso de este motor es debido a que el cliente (la planta de la composta de CU) ya cuenta con él dentro de su inventario, razón por la cual solicitaron sea el motor usado en la máquina, con el fin de evitar el gastar en la compra de otro motor.

7.2.3. Poleas y banda

Para este sistema se realizó 1 solo concepto, calculando el diámetro de la polea acoplada al eje y posteriormente realizando el ajuste de distancia entre centros tomando en cuenta las longitudes comerciales de las bandas.

El primer elemento buscado fue una polea comercial para el motor, encontrando una polea de 100 mm de diámetro.

Una vez teniendo esa polea se usó la fórmula de relación de transmisión para el cálculo de la polea que va acoplada al eje.

El resultado obtenido para el diámetro de la segunda polea fue de 70 mm, con ambos diámetros se calculó la longitud de la banda teóricamente, para posteriormente ajustarla a la longitud más cercana dentro de las bandas comerciales modificando la longitud de centro entre las poleas.

7.2.4. Diseño de eje

El eje se diseñó realizando un diagrama de cuerpo libre como se muestra a continuación (ver figura 19).

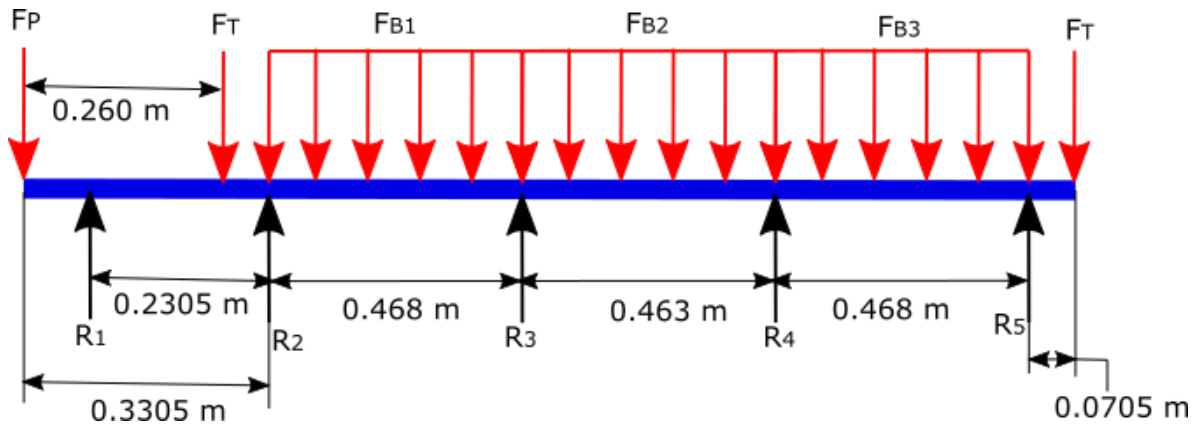


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre del eje.

Para realizar de manera más rápida el cálculo se realizaron dos programas en el software de procesamiento numérico, el primero para calcular el momento y el segundo para calcular el diámetro del eje.

Para realizar el cálculo del eje se dividió en 4 secciones el diagrama de cuerpo libre (ver figura 20), se realizó el análisis de fuerzas de cada una de las secciones y se tomó el diámetro mayor de eje entre los 4 casos para el análisis de ingeniería de este elemento, con ayuda de los programas antes mencionados ya no fue necesario realizar el análisis a mano, ingresando los datos al programa y obteniendo los resultados (figura 21).

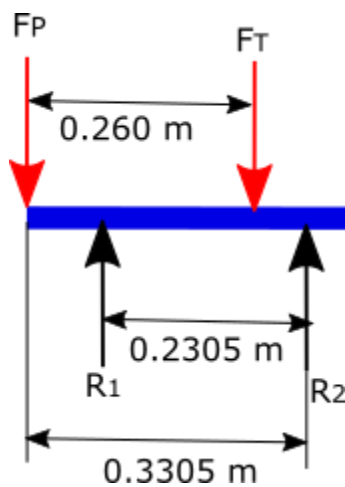


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre del eje de la sección 1.

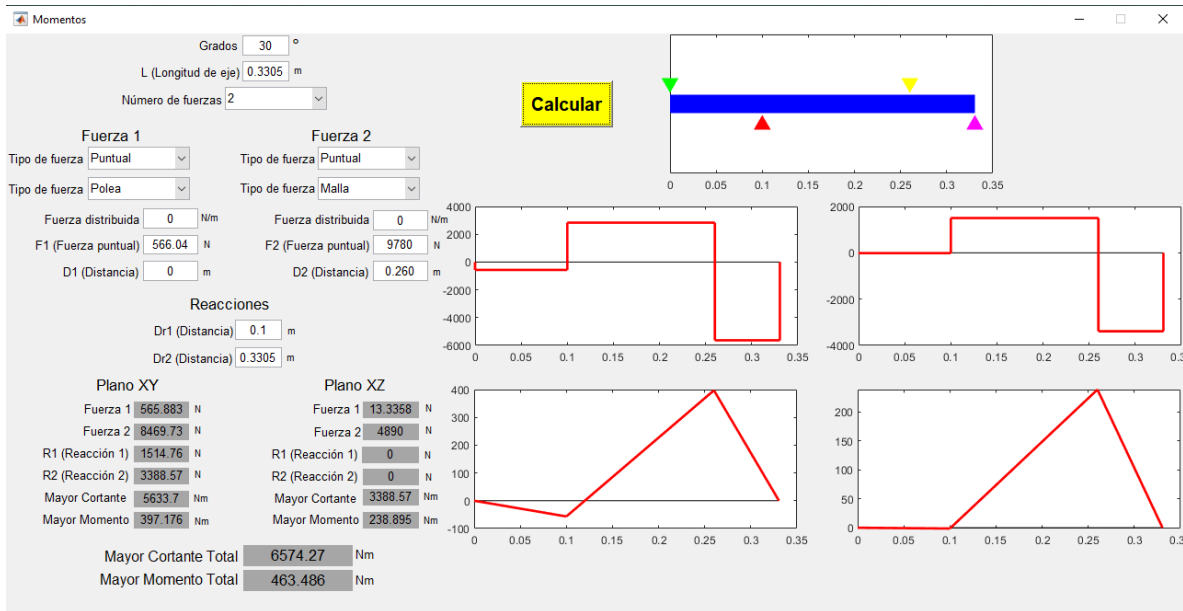


Figura 21. Programa de momentos y cortantes para la sección 1.

Calculando diámetro de eje para sección 1 (ver figura 22):

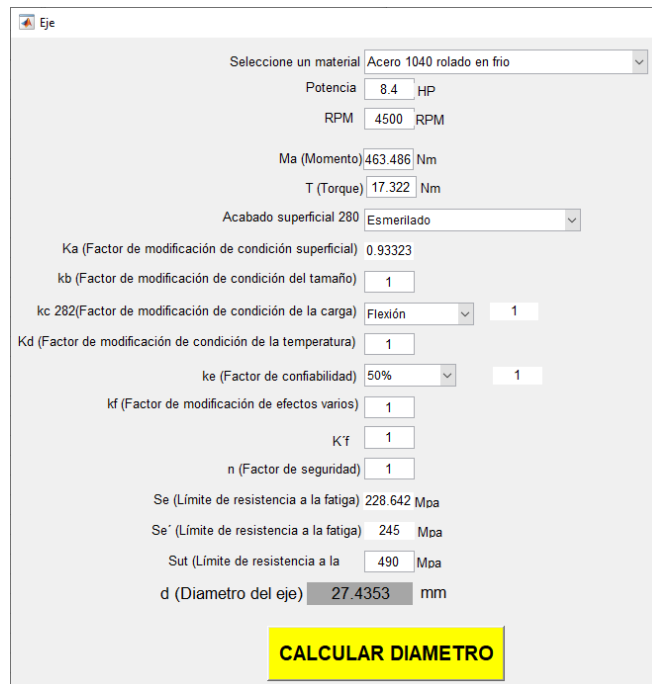


Figura 22. Programa de diámetro de eje para la sección 1.

7.2.5. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento

El análisis de ingeniería se realizó para cada uno de los ejes calculados, checando comportamiento y costo de manufactura en todos los casos, el tratamiento térmico para todos los ejes es rolado en frío, de acuerdo con la teoría de los libros consultados para el diseño de ejes recomiendan este tipo de tratamiento para ejes menores a las 3 pulgadas.

La simulación se hizo usando 5 chumaceras de apoyo en el eje, se seleccionaron los siguientes materiales para realizar las simulaciones: acero 1020, 1040 y 1060, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Matriz de decisión para selección de eje.

	Resistencia	Desplazamiento	Precio	Total
Eje 1020	3	4	5	12
Eje 1040	4	5	4	13
Eje1060	5	5	2	12

El eje seleccionado es manufacturado con acero 1040, debido a que es el de mayor ponderación en comparación con los otros dos ejes, una de las razones principales para la elección de este eje es el costo, siendo un acero económico y el diámetro del eje no es muy grande.

7.3. Sistema de vibración

En este sistema se realizó el cálculo para el diseño de las levas, del soporte para las mallas y se buscó el resorte comercial más adecuado para este sistema.

7.3.1. Requerimientos específicos

Para el diseño de este sistema no se tiene una referencia de cuál es la vibración idónea para el material, por lo cual se diseñará de manera que la vibración sea lo más constante posible, aumentándola a disminuyéndola con ayuda del acelerador del motor.

A continuación, en la tabla 8, se enlistan los requerimientos y necesidades del sistema de vibración.

Tabla 8. Requerimientos y necesidades del sistema de vibración.

Necesidades	Requerimientos
Durabilidad	Material de acero en mallas y levas
Sistema de fácil mantenimiento	Fácil instalación de mallas
Amplio volumen de cribado	$v = 24 \frac{m^3}{hr}$

7.3.2. Diseño de leva

El diseño de la leva se realizó con las ecuaciones generales de desplazamiento de la leva (ver figura 23).

Nombre	Función	Intervalo
Parabólica	$f(A) = 2L(A/A_1)^2$	$0 \leq A \leq A_1/2$
	$f(A) = L \left[1 - 2 \frac{(A_1 - A)^2}{A_1^2} \right]$	$A_1/2 \leq A \leq A_1$
Cúbica	$f(A) = 4L(A/A_1)^3$	$0 \leq A \leq A_1/2$
	$f(A) = L \left[1 - 4 \frac{(A_1 - A)^3}{A_1^3} \right]$	$A_1/2 \leq A \leq A_1$
Sinusoidal	$f(A) = \frac{L}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \cdot A}{A_1} \right) \right]$	$0 \leq A \leq A_1$
Cicloidal	$f(A) = \frac{L}{\pi} \left[\frac{\pi A}{A_1} - \frac{1}{2} \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi A}{A_1} \right) \right]$	$0 \leq A \leq A_1$

Figura 23. Ecuaciones generales de desplazamiento de la leva

Para ver el comportamiento de desplazamiento, velocidad, aceleración y sobreaceleración de cada una de las ecuaciones se decidió realizar un programa en software de procesamiento numérico, programando cada una de las ecuaciones antes mencionadas y realizando un bosquejo de la leva diseñada de acuerdo con los parámetros establecidos por el usuario en el

programa, a su vez el programa despliega una tabla con el radio de curvatura de la leva para poder realizar el CAD fácilmente en el software de diseño asistido por computadora.

7.3.3. Análisis de ingeniería y verificación de cumplimiento

Con ayuda del programa realizado se logró interpretar la leva con mejor funcionamiento, la cual fue la leva con ángulos iguales (ver figura 2).

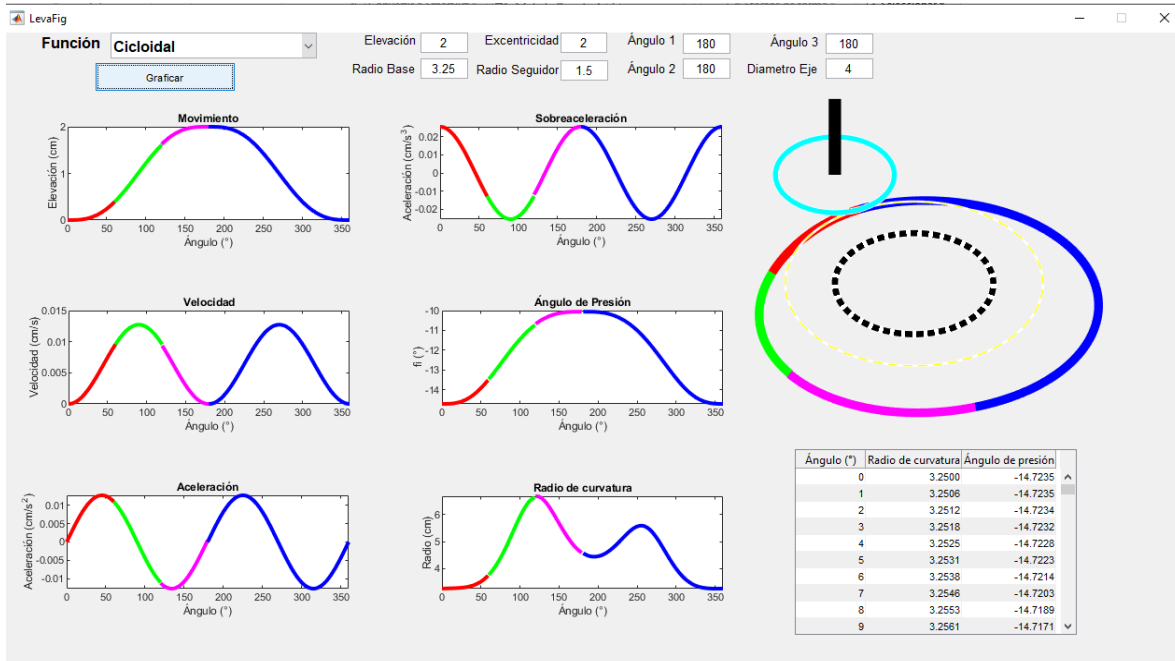


Figura 24. Leva cicloidal con ángulos iguales

7.3.4. Selección de concepto

Tabla 9. Matriz de decisión para selección de leva.

	Resistencia	Movimiento	Aceleración	Total
Leva sinusoidal	5	3	3	11
Leva cicloidal	5	3	4	12
Leva con ángulos iguales	5	5	5	15

La leva seleccionada fue la cicloidal con ángulos iguales, puesto que muestra un comportamiento más simétrico en la velocidad y aceleración, de la misma manera no presenta

un periodo de tiempo en el cual se pierda la vibración como es el caso de los otros diseños, donde se presenta un descanso entre los 90° y 180° de giro

Una vez seleccionada la leva adecuada se realizó el CAD en el software de diseño asistido por computadora, tomando como referencia el radio de curvatura calculados por el programa.

7.3.5. Diseño de malla

El soporte de la malla se diseñó tomando en cuenta las dimensiones del soporte de toda la máquina, dejando 0.5cm de espacio entre el soporte de la máquina y el soporte de la malla, para lograr un libre movimiento al cambiar el ángulo de inclinación.

El soporte se diseñó con ángulos de 90° de acero de 6mm de ancho con una medida de 1540x1546mm, usando 4 ángulos y cortando a 45° cada extremo del ángulo para poder unirlos.

Para ahorrar dinero en el diseño de la malla (ver figura 25), el cliente decidió comprar este componente ya hecho, dando las siguientes especificaciones.

- Material: acero.
- Unión: trenzado.
- Tamaño de hueco: 1/2 pulgada.

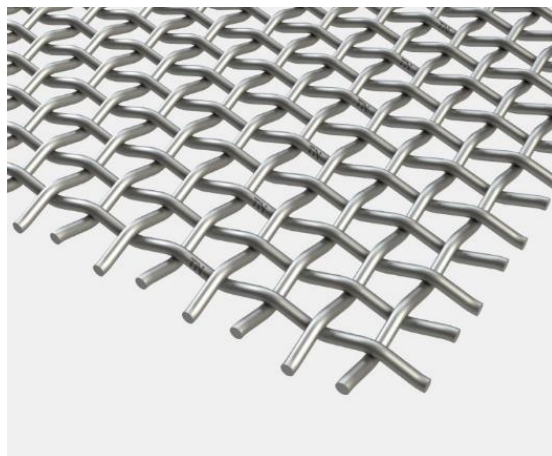


Figura 25. Tipo de unión de malla [13]

7.3.6. Elección Resortes

La elección del resorte se dio mediante el análisis de un sistema masa-resorte mostrado a Continuación (ver figura 26):

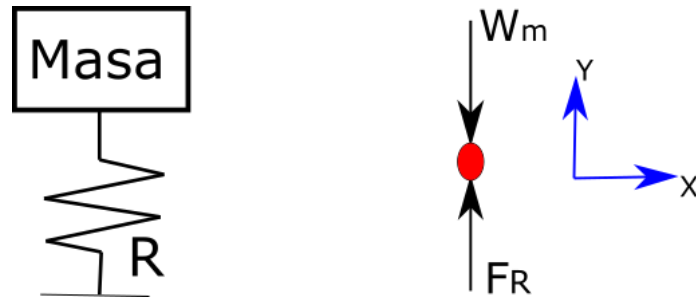


Figura 26. Esquema de un sistema masa-resorte.

Para lograr realizar la función de cribado la malla tiene que presentar cierta inclinación, por ello la fuerza de resorte y el peso no actúan en el mismo eje (ver figura 27).

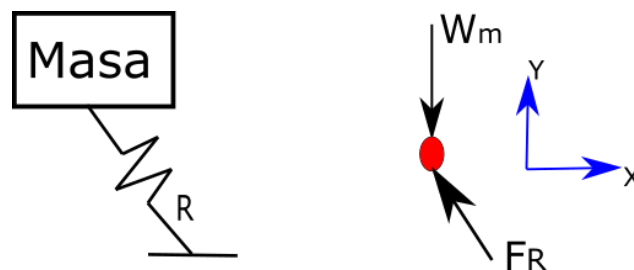


Figura 27. Esquema del sistema masa-resorte de la máquina cribadora.

Después de desarrollar el procedimiento para obtener el valor de k , realizando un programa en el software de procesamiento numérico para las iteraciones correspondientes (ver figura 28) y posteriormente se hizo uso de catálogos de resortes (ver figura 29), para buscar el que mejor comportamiento tenga de acuerdo con la constante calculada.

Masa de biomasa Kg

Masa de malla Kg

Ángulo de malla °

Wm(Peso del soporte) N

y (Desplazamiento) mm

k (constante del resorte) N/mm

CALCULAR

Figura 28. Análisis desplazamiento para leva

63	38	76	G 63 - 076	1050	13545	12.9	15960	15.2	19950	19.0	22050	1793
		89	G 63 - 089	875	13213	15.1	15575	17.8	19513	22.3	22400	1831
		102	G 63 - 102	744	12871	17.3	15178	20.4	18972	25.5	22841	30.7
		115	G 63 - 115	630	12348	19.6	14490	23.0	18144	28.8	21987	34.9
		127	G 63 - 127	565	12204	21.6	14351	25.4	17967	31.8	21618	38.0
		152	G 63 - 152	458	11816	25.8	13923	30.4	17404	38.0	21427	47.2
		178	G 63 - 178	384	11635	30.3	13670	35.6	17088	44.5	21838	55.8
		203	G 63 - 203	337	11627	34.5	13682	40.6	17120	50.8	22802	64.8
		254	G 63 - 254	263	11362	43.2	13360	50.8	16701	63.5	23043	86.7
		305	G 63 - 305	218	11314	51.9	13298	61.0	16633	76.3		105.7

* Máx. deflexión = 20% L_s

Figura 29. Elección del resorte con mejor comportamiento de acuerdo con los cálculos realizados. [14]

El resorte seleccionado cuenta con una constante $k = 337 \frac{N}{mm}$, una longitud de 152mm, al ser de carga extrapesada tiene una elongación de 17%, es decir 34.5mm.

El valor de desplazamiento se conoce debido a que no se tiene una distancia exacta para una óptima vibración, este valor se puede cambiar al momento de realizar las simulaciones y realizar nuevamente los cálculos, para facilitar el cálculo de la constante k al momento de realizar las simulaciones, se programaron en el software de procesamiento numérico las ecuaciones correspondientes.

8. Resultados

El diseño dentro de la ingeniería nos ayuda a facilitar los distintos procesos, además de realizar una misma tarea de manera más eficaz y rápida, en este caso se logró diseñar una máquina que ayudará a los trabajadores de la planta de composta de la UNAM a realizar el proceso de limpieza de tierra para composta, de la mejor manera y mejorando considerablemente el tiempo y reduciendo el esfuerzo empleado al realizar esta tarea.

Con ayuda de distintos softwares se puede simular el funcionamiento de cualquier diseño y verificar que cumpla con los requerimientos, sin necesidad de llegar a manufacturarlos.

La máquina diseñada para la planta de composta se encuentra en proceso de aprobación por parte del cliente, el cual está revisando el diseño para, en caso de ser necesario, realizar cambios y posteriormente realizar la manufactura.

Dentro de la empresa G2E México, he aprendido a realizar distintos diseños, desde máquinas, tal y como se ejemplificó en el escrito, cálculo de espesores de aislante térmico en tuberías, diseño de estructuras varias, etc., todo ello me ha ayudado a desarrollarme como ingeniero durante el tiempo que llevo laborando en dicha empresa, verificando la correcta manufactura de los distintos equipos, para en un futuro ponerlos en marcha dentro de la planta de carbonización hidrotermal que se está desarrollando en G2E, siendo este el proyecto principal en el que se está trabajando actualmente.

9. Conclusión

Como se mencionó en un principio para lograr el diseño de un producto es necesario seguir una metodología de diseño, la cual se propuso para este caso en particular, siguiendo cada uno de los pasos que se establecieron al principio y en algunos casos modificando la metodología a fin de adaptarla a las necesidades que se iban presentando a lo largo de todo el diseño.

El reunir la información necesaria es de suma importancia, empezando con una entrevista o buscando características de máquinas para darnos una idea para lograr atacar el problema y tratar de realizar una máquina con mejoras en comparación a las cribadoras que se encuentran en el mercado, para de esta manera poder atacar un sector del mercado industrial en donde las cribadoras son destinadas solo a un uso, ya sea en la construcción, agricultura, minería, etc.

Con las características de las máquinas cribadoras del mercado y las necesidades del cliente se lograron establecer los requerimientos, para diseñar una cribadora que no solo cumpla con lo deseado por el cliente y de esta manera realizar una cribadora que se puede usar en cualquier industria debido a la facilidad de cambiar la malla o tamiz, dándole un plus, con esto se podría usar la máquina en distintos departamentos de la UNAM y no solo en la planta de la composta.

Al realizar varios conceptos nos enfrentamos a un problema, el cual es que no se sabe a ciencia cierta cuál es el que presenta un mejor comportamiento de acuerdo a lo que se tiene en los requerimientos, por ello es de suma importancia la utilización de distintos software, los cuales me ayudaron a revisar el comportamiento de cada concepto por medio de simulaciones, mientras que otros softwares se usaron para realizar programas que nos ayudaran a graficar el comportamiento de algún diseño de acuerdo a su geometría o materiales, algo que me facilitó mucho el trabajo al momento de iterar y ver que concepto es el que mejor funcionaba, de esta manera ahorré tiempo, al no tener que realizar las iteraciones a mano.

De igual manera el software de diseño asistido por computadora se usó para realizar las simulaciones mecánicas para lograr verificar el cumplimiento de cada subsistema y de esta manera garantizar el correcto funcionamiento de la maquina en la vida real con la intención de mejorar los procesos que llevan a cabo dentro de la planta al tener un equipo que los ayudará y reducirá el tiempo y capacidad de biomasa cribada al día, tratando de llegar a producir los $24m^3$ de composta al día que se tienen como meta y logrando con ello un diseño satisfactorio, además de ahorrar recursos económicos al usar algunos de los materiales con los que contaba el cliente.

El principal reto que me he encontrado dentro del ambiente laboral son los trámites administrativos y la comunicación con los proveedores ya que ambas son muy lentas y en ocasiones te retrasan los tiempos, haciendo que tengas que trabajar contra tiempo para lograr cumplir con las entregas tal y como se acordaron con los clientes o al calendario interno de la empresa.

Dentro de la universidad cursé distintas materias, una de las que más me ha servido es costos e ingeniería económica, las cuales durante la carrera pensaba que no me servirían, pero es una de las que más te aporta, ya que en muchas ocasiones debes de ajustar los proyectos de acuerdo con un tope presupuestal o buscar que producto es una mejor inversión a largo o corto plazo, dependiendo del uso.

Otra de las materias que me han servido mucho es CAD-CAM, debido a que, mi principal función dentro de la empresa es diseñar y dibujar distintas piezas, a pesar de que en dicho curso se ven funciones muy básicas ayuda a darte una idea del funcionamiento de los softwares de dibujo, en general las materias de ingeniería aplicada me han aportado un poco dentro de lo que actualmente me dedico, ya que he usado desde programación hasta diseño o electricidad.

Algo que me gustaría que se pudiera cursar dentro de la carrera sería una asignatura donde nos enseñen sobre normas, tanto internacionales como nacionales, ya que, al menos en lo personal vi muy pocas normas a lo largo de mi carrera y creo que es algo que todos los ingenieros debemos de conocer, por lo menos las normas mexicanas.

10. Referencias

- [1] Diagrama de operaciones para lograr un buen diseño de ingeniería. Adaptado de Dieter, G. Schmidt, L. (2009).
- [2] Diagrama de flujo de la metodología propuesta por la ingeniera María de los Ángeles Rodríguez Cortés. Rodríguez Cortés, M. (2019).
- [3] Primera cribadora creada en la antigua Egipto con un cilindro de madera. Recuperada de <http://www.voces25s.es/cribas-evolucion-historia/>, 21 de septiembre de 2019, 8:11 hrs.
- [4] Máquina cribadora manual cilíndrica, accionada mediante una manivela. Recuperada de <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S04.html>, 21 de septiembre de 2019, 8:11 hrs.
- [5] Datos de RSU recibidos y composta producida en las plantas de la Ciudad de México, 2020.
- [6] Fotografía del interior de la planta de la composta de Ciudad Universitaria. Recupera de <http://laverdeestamuybuena.blogspot.com/2012/02/composta-aqui-composta-alla-composta-en.html>, 9 de noviembre de 2019, 7:75 hrs.
- [7] Fotografía de la cribadora que se encuentra actualmente en la planta de la composta. Fotografía de grupo de CAD-CAM 2018-2, (2018).
- [8] Fotografía del funcionamiento de la cribadora actúa que se encuentra en la planta de la composta. Fotografía de grupo de CAD-CAM 2018-2, (2018).
- [9] Máquinas cribadoras comerciales encontradas en el estudio de mercado. G2E México. (2020).
- [10] Concepto 1 de máquina cribadora vibratoria vertical con tolva. Grupo CAD-CAM 2018-2. (2018).
- [11] Concepto 2 de máquina cribadora vibratoria vertical. Grupo CAD-CAM 2018-2. (2018).
- [12] Concepto 3 de máquina cribadora vibratoria vertical. Grupo CAD-CAM 2018-2. (2018).
- [13] Malla de acero trenzada. Recuperado de <https://jacomgroup.com/mallas-industriales-harina-maiz/>, 18 de enero de 2020, 14:05 hrs.
- [14] Elección del resorte con mejor comportamiento de acuerdo con los cálculos realizados. Recuperado de <http://www.itan.com.ar/catalogos/Resortes-ITAN.pdf>, 18 de enero de 2020, 17:55 hrs.

11. Bibliografía

- R. L. Mott. *Resistencia de Materiales*. Quinta Edición. México, Pearson Educación, 2009.
- R. G. Budynas y J. K. Nisbett. *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. Octava edición. México, McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- R. L. Norton. *Diseño de máquinas, un enfoque integrado*. Cuarta edición. México, Pearson Educación, 2011.

