



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

UNIDAD ACADÉMICA PROFESIONAL TIANGUISTENCO

***“DISEÑO Y VALIDACIÓN VIRTUAL DE UN REACTOR
AEROBIO ELABORADO CON POLIETILENO DE ALTA
DENSIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA”***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN PLÁSTICOS

PRESENTA

JOSÉ CARLOS NIETO TRUJILLO

DIRECTOR:

ING. OCTAVIO A. ISLAS MARES

Resumen

La presente tesis establece y define un conjunto de pasos o actividades con el objetivo diseñar virtualmente un producto, denominado como reactor aerobio (compostero aerobio), para la producción de composta.

Así mismo se hace énfasis en el uso de materiales plásticos (en este caso de polietileno de alta densidad) como propuesta para la elaboración virtual de cada uno de los componentes necesarios para hacer funcional el compostero. Con la finalidad de realizar pruebas virtuales por medio de un software, analizando el comportamiento tanto de los componentes como de los materiales propuestos, de forma que se obtenga un modelo que resista los requerimientos contemplados, generando un prototipo físico.

El desarrollo que involucra cada una de las actividades para el diseño del reactor aerobio atiende a una metodología que es descrita en los diversos capítulos que contiene el documento y que se basa en las siguientes etapas:

- Identificar las necesidades del producto.
- Proponer los materiales para la elaboración del producto.
- Definir las características y propiedades del material a emplear que satisfaga las necesidades del producto.
- Establecer y definir el proyecto para la elaboración del producto.
- Desarrollar el concepto del producto.
- Realizar el diseño virtual del producto.
- Validar virtualmente el producto.
- Establecimiento de propuestas y cambios en el diseño.
- Generación de prototipos y dibujos de detalle.

Índice

Introducción	1
Capítulo I. Marco teórico	3
1.1. Identificación de las necesidades del reactor aerobio	4
1.1.1. Compostaje de residuos orgánicos.....	4
1.1.2. Proceso productivo del compostaje.	5
1.1.3. Sistemas de compostaje.....	6
1.1.4. Fases del proceso del compostaje.....	8
1.1.5. Factores que intervienen en el proceso de compostaje.....	10
1.1.6. Materiales para compostar.....	13
1.1.7. Factores a considerar para el diseño de un compostero de tambor rotatorio.....	14
1.2. Selección de materiales para la elaboración del reactor aerobio	17
1.2.1. Materiales plásticos.	21
1.2.2. Clasificación de los plásticos.	24
1.2.2.1. Clasificación térmica de los plásticos.	25
1.2.3. Efecto de la temperatura sobre los materiales plásticos.....	29
1.2.4. Propiedades mecánicas de los materiales plásticos.....	32
1.2.4.1. Resistencia mecánica.....	32
1.2.4.2. Diagrama esfuerzo (σ) deformación (ϵ).....	33
1.2.4.3. Comportamiento esfuerzo-deformación en materiales dúctiles y frágiles.	37
1.2.4.4. Diseño de elementos sometidos bajo tensión o compresión.....	38
1.2.4.5. Esfuerzo permisible o Factor de seguridad.	39

1.2.4.6. Especificación del material adecuado para la elaboración de un componente.....	40
1.2.5. Diseño de productos plásticos.....	42
1.3. Empleo de un material plástico como propuesta para el diseño del reactor aerobio.....	47
1.3.1. Polietileno de alta densidad (HDPE).....	47
1.3.1.1. Propiedades del HDPE.....	48
1.3.1.2. Características del HDPE como propuesta para el diseño del reactor aerobio.....	53
1.4. Uso del APQP para administrar las actividades relacionadas al proyecto del diseño del reactor aerobio.....	55
1.4.1. Planeación avanzada de la calidad de un producto (APQP).....	56
1.4.1.1. Fases del APQP.....	57
1.4.1.2. Etapas del APQP.....	59
Capítulo II: Procedimiento experimental.....	61
2.1. Plan y definición del proyecto para la elaboración del reactor aerobio....	62
2.1.1. Establecimiento del proyecto.....	62
2.1.2. Misión del proyecto.....	64
2.1.3. Identificación del Cliente.....	65
2.1.4. Requerimientos del producto.....	66
2.1.5. Clasificación de los requerimientos del cliente.....	68
2.1.6. Traducción de los requerimientos del reactor aerobio.....	71
2.1.7. Metas de diseño.....	73
2.2. Desarrollo del concepto del reactor aerobio.....	75
2.2.1. Definición funcional del modelo.....	75
2.2.2. Benchmarking.....	77

2.2.3.	Patentes.....	80
2.2.4.	Diseño conceptual del reactor aerobio.....	83
2.2.5.	Definición funcional y concepto de los principales componentes del reactor aerobio.....	84
2.3.	Diseño virtual del reactor aerobio.....	86
2.3.1.	Diseño asistido por computadora (CAD).....	86
2.3.2.	Listado preliminar de materiales	90
2.3.3.	Descripción preliminar del proceso.....	92
2.3.4.	Diagrama preliminar de flujo del proceso.....	100
2.3.5.	Elaboración y descripción de los componentes del reactor aerobio por CAD.....	102
2.3.6.	Ensamble de componentes.....	106
	Capítulo III Resultados y discusión.....	111
3.1.	Validación virtual del reactor aerobio.....	112
3.1.1.	Ingeniería asistida por computadora (CAE)	112
3.1.2.	Pruebas para el análisis en CAE	114
3.1.3.	Modelos de elemento finito	115
3.1.4.	Proceso del CAE.....	118
3.1.5.	Reportes CAE	119
3.1.6.	Lista de comprobación para el diseño del reactor.....	120
3.1.7.	Elaboración del CAE del reactor aerobio	122
3.1.8.	Resultados obtenidos caso 1	130
3.1.9.	Resultados obtenidos caso 2	131
	Capítulo IV Conclusiones.....	132
4.1.	Reporte CAE del reactor aerobio.....	133
4.2.	Conclusiones.....	136

4.2.1. Conclusión 1: resistencia de los materiales propuestos.	136
4.2.2. Conclusión 2: diseño del reactor aerobio.	138
4.3. Propuestas, comentarios finales y futuros cambios en el diseño.....	138
4.4. Dibujos de detalle.....	140
4.5. Prototipo físico del reactor aerobio.....	154
Referencias Bibliográficas.....	157

Índice de figuras

Figura 1 Producción de composta. [2].....	5
Figura 2 Depósito del material a compostar.....	8
Figura 3 Rotación del compostero para la fabricación de composta.....	8
Figura 4 Fases del proceso de compostaje. [5]	9
Figura 5 Factores que intervienen en la producción de composta.....	11
Figura 6 Familias de materiales. [8].....	17
Figura 7 Clasificación de termoplásticos. [12]	23
Figura 8 Efecto de la temperatura en la estructura y en el comportamiento de los materiales termoplásticos. [18]	29
Figura 9 Calor en función a la temperatura.....	31
Figura 10 Grafica esfuerzo-deformación típica de un plástico. [21].....	35
Figura 11 Curvas esfuerzo-deformación para el PMMA. [18].....	36
Figura 12 Diagrama esfuerzo-deformación para materiales ductil y fragil. [27]....	38
Figura 13 Proceso del Diseño de un producto. [8]	42
Figura 14 Ciclo de la planeación de la calidad de un producto. [37].....	55
Figura 15 Fases del APQP. [37]	58
Figura 16 Entradas y salidas de la fase 1 plan y definición del programa.....	58
Figura 17 Entradas y salidas de la fase 2 diseño y desarrollo del producto.....	59
Figura 18 Prototipo de compostero de tambor rotatorio.....	63
Figura 19 Diagrama funcional del reactor aerobio.....	76
Figura 20 Descomposición funcional de reactor aerobio.....	76
Figura 21 Concepto de patente dispositivo de compostaje rotativo.....	81
Figura 22 Concepto de patente dispositivo de compostaje con aireación interna.....	82
Figura 23 Concepto del reactor aerobio.....	83
Figura 24 Esquema del proceso clásico del diseño. [54].....	89
Figura 25 Productos rotomoldeados. [55].....	92
Figura 26 Proceso de rotomoldeo. [56].....	93
Figura 27 Máquina de flama abierta [62]	98
Figura 28 Máquina de rotomoldeo tipo shuttle. [62].....	98
Figura 29 Máquina de rotomoldeo tipo rock & roll. [62]	99

Figura 30 Máquina de rotomoldeo tipo carrossel. [62].....	99
Figura 31 Sistema macho-hembra	106
Figura 32 Ensamble de cuerpo y puerta deslizable.....	106
Figura 33 Ensamble del eje central y las aspas.	107
Figura 34 Ensamble de la estructura.....	107
Figura 35 Ensamble del eje central y el cuerpo del reactor aerobio.....	108
Figura 36 Ensamble de los engranes y el eje superior.....	108
Figura 37 Colocación de los componentes en la estructura.	109
Figura 38 Colocación de la manivela.	109
Figura 39 Reactor aerobio ensamblado.	110
Figura 40 Elemento CAD analizado mediante métodos CAE.....	113
Figura 41 Elemento CAD mallado mediante FEA. [67].....	115
Figura 42 Ejemplo de análisis de cargas en un producto.	117
Figura 43 Proceso del CAE.	118
Figura 44 Componente a validar: cuerpo del reactor aerobio.....	122
Figura 45 Asignación de las características del material a validar	123
Figura 46 Cambio del CAD al CAE.	123
Figura 47 Cambio del CAD al CAE.	124
Figura 48 Asignación del mallado al modelo.	124
Figura 49 Mallado del cuerpo del reactor aerobio.	125
Figura 50 Herramienta de restricción de movimiento Pin.....	125
Figura 51 Restricción del cuerpo del reactor aerobio.....	126
Figura 52 Herramienta de asignación de carga.....	127
Figura 53 Asignación de la carga al cuerpo del reactor aerobio.....	127
Figura 54 Herramienta para la aplicación del análisis.	128
Figura 55 Tipos y condiciones del análisis.	128
Figura 56 Status y ejecución del análisis.	129
Figura 57 Asignación de las características del material a validar.	129
Figura 58 Cambio de resinas vírgenes por materiales plásticos reciclados.	139
Figura 59 Prototipo físico del reactor aerobio.....	154
Figura 60 Desplazamiento de las puertas laterales de reactor aerobio.....	155

Figura 61 Transmisión del movimiento del sistema de engranes.....	156
Figura 62 Deslizamiento de la puerta del cuerpo del reactor aerobio.	156

Índice de tablas

Tabla 1 Factores para el diseño y la utilización de un compostero.	14
Tabla 2 Familias y clasificación de los materiales.	18
Tabla 3 Propiedades de los materiales y sus unidades de medida.	20
Tabla 4 Clasificación de los plásticos.	24
Tabla 5 Clasificación materiales termoplásticos.	25
Tabla 6 Diferencia entre termoplásticos y termofijos.	28
Tabla 7 Lista de comprobación para el diseño de productos.	44
Tabla 8 Ficha técnica general del polietileno de alta densidad.	49
Tabla 9 Etapas del APQP.	59
Tabla 10 Declaración de la misión del proyecto.	64
Tabla 11 Traducción de los requerimientos.	71
Tabla 12 Metas de Diseño.	73
Tabla 13 Benchmarking de las alternativas existentes de compostero.	78
Tabla 14 Función de los componentes del reactor aerobio.	84
Tabla 15 Listado preliminar de materiales.	90
Tabla 16 Listado preeliminar de proveedores.	91
Tabla 17 Etapas en el proceso del rotomoldeo.	93
Tabla 18 Diagrama de flujo del reactor aerobio.	100
Tabla 19 Componentes del reactor aerobio elaborados por CAD.	102
Tabla 20 Lista de comprobación del reactor aerobio.	120
Tabla 21 Reporte CAE del reactor aerobio.	133
Tabla 22 Resistencia de los materiales propuestos.	137

Introducción

En México como en el mundo existe un grave problema ocasionado por la generación y acumulación de residuos orgánicos, los cuales pueden considerarse susceptibles para ser recuperados para su tratamiento y reutilización, mas sin embargo esto no es así. Se sabe que el compostaje es el medio para tratar los residuos orgánicos y convertirlos en composta que es un abono natural.

Los composteros son el medio actual para llevar a cabo el proceso del compostaje y pese a que hoy en día existe a nivel mundial una creciente cantidad de composteros desarrollados con todo tipo de materiales, novedosos sistemas de funcionamiento y diseños innovadores, en México no se ha logrado fomentar el uso de los mismos y esto se debe a que la mayoría de la gente no conoce información acerca del tema y las personas que han intentado emplear este sistema para tratar sus residuos encuentran composteros en el mercado con características muy básicas o por otro lado composteros de muy buena calidad pero con elevados costos puesto que son productos de importación.

Con la importancia que tendría el hacer un compostero y lograr meterlo en el mercado nacional surge la necesidad de diseñar un compostero (denominado reactor aerobio) que permita adaptar las características necesarias (como materiales, mecanismos, accesorios, innovaciones en los sistemas de compostaje, etc.) para producir composta de forma fácil y rápida. Por tal motivo, en este trabajo de investigación se pretende generar el diseño de un compostero cuya innovación radique en:

- La aplicación de materiales plásticos, en este caso de polietileno de alta densidad, para la fabricación de los componentes del producto puesto que estos materiales son muy consumidos a nivel mundial, de bajo costo en comparación con el metal o la madera, además que sus propiedades y características como su alta resistencia al impacto, su gran resistencia química y térmica permitirían permitirán resistir el proceso del compostaje.

- Con respecto al diseño y la funcionalidad, el reactor aerobio estará basado en los composteros de tambor rotatorio y constará de un contenedor que estará sujetado por un eje (que permitirá la rotación) y tendrá un sistema de engranes que permitirán la rotación manual tanto del compostero como del eje de forma independiente. El principio de funcionalidad del reactor de forma rotatoria permitirá facilitar el mezclado, gracias a la adaptación de ranuras en el contenedor y aspas en el eje que permitirán acelerar el proceso del compostaje. El reactor aerobio estará diseñado para su uso en hogares, restaurantes, escuelas y tendrá una capacidad será de 150 L y sus componentes estarán diseñados para resistir una producción de 60 kg.

El diseño del reactor aerobio se va a llevar a cabo a través de una serie de actividades relacionadas con la ingeniería de producto, que van desde el establecimiento de las necesidades hasta la fase del diseño y validación del producto para la obtención de un diseño virtual y su prototipo físico. Para ello, se diseñará el reactor aerobio con base a los requerimientos obtenidos de un estudio teórico relacionado con el proceso de compostaje con la finalidad de traducir dichas necesidades en unidades medibles y generar los requerimientos del producto que serán los puntos clave para obtener un producto final.

El siguiente paso consistirá en el uso de la información previamente recaudada para crear el concepto del reactor aerobio y cada uno de sus componentes capaces de generar un diseño virtual y funcional previo del producto. Una vez obtenido el diseño se realizarán pruebas virtuales al componente más crítico (componente sometido a mayores esfuerzos o deformaciones) para probar el diseño y los materiales propuestos.

Finalmente se realizará un prototipo físico a escala del reactor aerobio una vez que haya sido validado.



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Identificación de las necesidades del reactor aerobio.

El primer paso requerido cuando se pretende diseñar un producto (sin importar la aplicación, uso, mercado, etc.) consistirá en describir toda la información requerida para establecer (en pasos futuros) las necesidades del producto, servicio o cliente que se pretenden desarrollar. El estudio de la información entorno al producto, permitirá conocer mejor las condiciones de uso, operación y servicio que tendrá una vez en el mercado, con la finalidad de planear y definir un conjunto de características requeridas para diseñar y desarrollar el mismo.

A continuación se describe la información necesaria para la elaboración de este trabajo de investigación, la fase inicial en el proceso del diseño del reactor aerobio consiste en conocer toda la información relacionada con el proceso del compostaje.

1.1.1. Compostaje de residuos orgánicos

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica, se produce cuando los materiales de origen vegetal o animal se descomponen o pudren por la acción de bacterias, hongos y otros microorganismos.

La palabra composta tiene su origen en el latín y significa poner juntos. Tiene su explicación pensando que el proceso de compostaje junta un sinnúmero de materiales diversos, que en conjunto inician un complicado proceso de fermentaciones y descomposiciones, dando lugar a un elemento conocido como composta [1].

Es una técnica que imita a la naturaleza, basada en un proceso biológico (lleno de vida), con suficiente humedad y en ausencia de suelo, que asegura una transformación higiénica de los residuos orgánicos. Esta transformación puede llevarse a cabo de forma doméstica en cualquier lugar mediante un compostero, sin ningún tipo de mecanismos, ningún motor, ni ningún gasto de mantenimiento, ningún gasto de energía.

La producción de composta se puede hacer en 2 formas:

- Con microorganismos que necesitan oxígeno. El proceso se llama aeróbico.
- Con microorganismos que necesitan que no haya oxígeno. El proceso se llama anaeróbico.

Es por ello que el compostaje es un proceso controlado y acelerado de descomposición de residuos orgánicos bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas como consecuencia biológica de calor, que puede ser tanto aeróbico como anaeróbico.

Durante este proceso se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos que actúan en cada fase del compostaje, proporcionando la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos.

1.1.2. Proceso productivo del compostaje.

La producción de composta involucra tres etapas principales:

1. Preparación.
2. Proceso del compostaje.
3. Acondicionamiento final.



Figura 1 Producción de composta [2].

La preparación se refiere al acondicionamiento necesario para separar las impurezas provenientes con los residuos. Suele tratarse de una clasificación separando plásticos, vidrios y metales de los residuos orgánicos.

El proceso del compostaje se genera a través de los sistemas de compostaje (véase en punto 1.1.3. Sistemas de compostaje) donde una vez elegido el sistema, el proceso de transformación de materia orgánica se lleva a cabo (véase punto 1.1.4. Fases del proceso del compostaje).

El acondicionamiento final consiste en realizar un cribado o un triturado del material, para separar las últimas impurezas presentes y lograr obtener como producto final la composta.

1.1.3. Sistemas de compostaje.

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de parámetros operacionales, para obtener un producto final con la suficiente calidad. El acortamiento del tiempo del proceso, el control del material a compostar y la disminución de los requisitos de espacio son también factores decisivos para el diseño de estos sistemas de compostaje.

Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: abiertos y cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones que pueden ser estáticos o por volteo, mientras que en los segundos, la fase de degradación se realiza en reactores que pueden trabajar en forma continua o discontinua.

1.1.3.1. Sistemas abiertos

Dentro de los sistemas abiertos, se ha de diferenciar dos tipos de sistemas, de compostaje abierto con pilas dinámicas ventiladas y pilas estáticas ventiladas.

El sistema de pilas aireadas mediante volteos es el más utilizado a nivel industrial y agropecuario. El material a compostar se dispone en grandes pilas que regularmente son oxigenadas mediante volteos mecánicos (con palas excavadoras o con volteadoras especializadas).

La gran diferencia con el sistema de pilas dinámicas ventiladas reside en que en este la ventilación se realiza haciendo pasar aire por su interior mediante una bomba y una red de tuberías, sin mover la pila de material orgánico.

1.1.3.2. Sistemas Cerrados

El sistema de compostaje cerrado más utilizado es el compostaje en reactores o tambor rotatorio.

Este tratamiento consiste en realizar el proceso de forma aerobia y controlada dentro de un contenedor cerrado totalmente, proporcionando mayor control del proceso y tiene varias ventajas sobre los sistemas abiertos, equipados generalmente con mecanismos combinados, diseñados para permitir frecuentes mezclas de residuos (tambores, tanques o cámaras de mezcla). La mezcla genera la distribución de la masa sometida a compostaje, lo que conlleva a un mejor contacto con los microorganismos, incrementándose el potencial de biodegradación.

Los sistemas cerrados son más modernos y tienen la ventaja de su rapidez, control y limpieza, pero su elevado coste económico hace difícil su difusión.

1.1.3.2.1. Composteros de tambor rotatorio.

Este sistema consta de un recipiente, como pequeños tanques de acero o plástico, de forma cilíndrica, un eje y una estructura que permite una fácil rotación. Una vez comenzando el proceso del compostaje, la rotación del contenedor permite controlar y acelerar el proceso de degradación, al mismo tiempo que se controla la temperatura del proceso, la humedad y se oxigena el material a compostar. Este sistema permite un mayor control sobre las condiciones operativas del sistema.

El residuo orgánico, una vez clasificado, es descargado en la zona de recepción del recipiente como se muestra en la figura 2. Desde aquí se deposita, sin más preparación, directamente al alimentador del tambor de compostaje. La alimentación del residuo y su distribución dentro del tambor se realiza de forma manual.

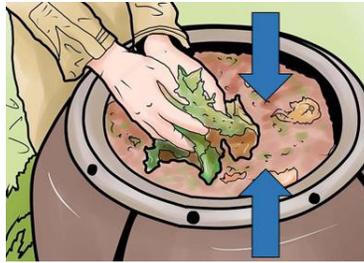


Figura 2 Depósito del material a compostar.

El proceso de descomposición tiene lugar dentro del tambor de compostaje gracias a la rotación intermitente de la unidad de compostaje como se muestra en la figura 3, el material es desenredado, homogeneizado y desfibrado de forma selectiva con un resultado óptimo.

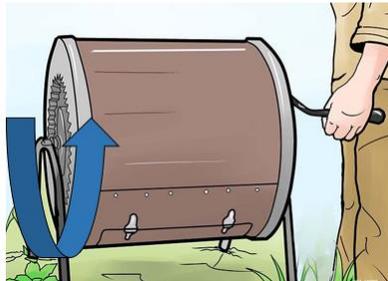


Figura 3 Rotación del compostero para la fabricación de composta.

El propósito principal de este sistema es el de reducir sustancialmente el tiempo de la biodegradación, pasando de 60 o 90 días a 48 o 72 horas. El período de maduración conserva su duración [3].

1.1.4. Fases del proceso del compostaje.

El proceso de compostaje pasa por varias etapas (fases mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración) y en cada etapa actúa una familia específica de microorganismos que llevan a cabo la degradación y estabilización de la materia orgánica. [4]

Los microorganismos que intervienen en el proceso son muy diversos ya que, en general, provienen de la flora autóctona de los materiales de partida. En las primeras etapas predominan las bacterias, pero en las fases finales son los hongos adquieren gran importancia.

Inicialmente la pila está a temperatura ambiente, pero conforme se va biodegradando la materia orgánica, se genera calor y también se consume oxígeno, la temperatura puede aumentar por encima de los 60°C como se observa en la Figura 4.

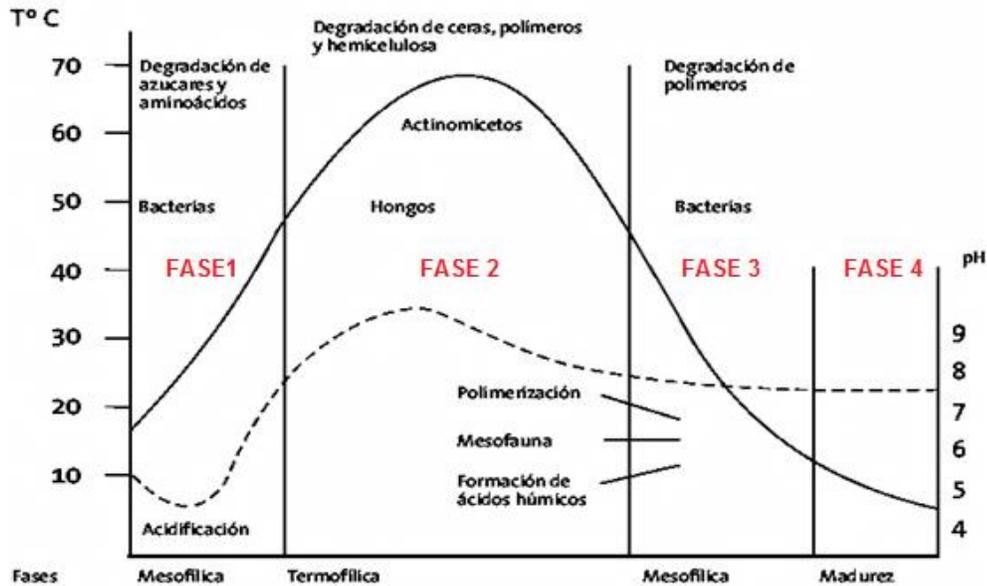


Figura 4 Fases del proceso de compostaje [5].

El proceso del compostaje puede dividirse en cuatro fases:

1.1.4.1. Fase 1 Mesófila.

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno generando calor, la descomposición de compuestos solubles, como azúcares produce ácidos orgánicos haciendo que el pH baje (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) [6].

1.1.4.2. Fase 2 Termófila o de Higienización.

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su

mayoría bacterias, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH sube. A partir de los 60 °C aparecen las bacterias, esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y el sistema donde se lleva a cabo la composta.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal, dando lugar a un producto higienizado.

1.1.4.3. Fase 3 de Enfriamiento o Mesófila II.

Agotadas las fuentes de carbono y de nitrógeno en el material, la temperatura desciende hasta los 40 °C. Al bajar la temperatura, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

1.1.4.4. Fase 4 de Maduración.

Es un período que puede demorar meses a temperatura ambiente, durante el cual se estabiliza y polimeriza la composta, desciende el consumo de oxígeno y desaparece la fitotoxicidad. Se llevará a cabo a temperaturas frías o tibias (no más de 20 o 30° C) y durante el mismo, se multiplican insectos, lombrices y otros pequeños animales que se nutren de los microorganismos, restos vegetales y diversos invertebrados. Cuatro o seis meses más tarde, se podrá vaciar el compostero.

1.1.5. Factores que intervienen en el proceso de compostaje.

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen a lo largo del proceso biológico del compostaje. El debido conocimiento de cada uno de ellos permitirá facilitar el proceso.

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje pueden ser clasificadas en dos tipos:

- Parámetros de seguimiento: son aquellos que han de ser medidos y seguidos durante todo el proceso, como la temperatura, humedad, pH, aireación.
- Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato: son aquellos que han de ser medidos y adecuados al inicio del proceso, como la naturaleza del material a compostar, tamaño de partícula, relaciones C/N.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas y el sistema de compostaje.

A continuación se describen los factores que intervienen en el proceso del compostaje.

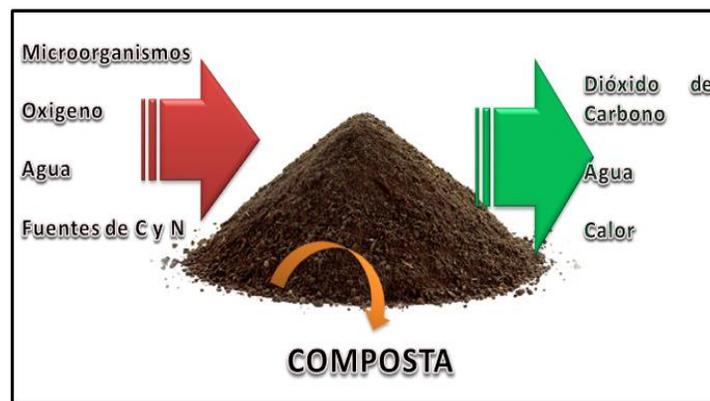


Figura 5 Factores que intervienen en la producción de composta.

1.1.5.1. Temperatura

Varía ampliamente a lo largo del proceso y resulta de gran importancia para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso.

Se consideran óptimas para el compostaje las temperaturas comprendidas entre 20-60 °C. Para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y malezas se debe mantener una temperatura de 60 °C durante una semana en sistemas cerrados [7].

1.1.5.2. Humedad

Es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que el agua es vital para la vida y en el proceso es utilizada como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos.

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos entre el 40-60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento.

1.1.5.3. pH

Este parámetro afecta a las reacciones enzimáticas, por tal motivo es un indicador importante durante la evolución del compostaje. Las reacciones que más influyen en el pH son las de liberación de CO₂, de ácidos orgánicos y de iones alcalinos.

El pH depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso. En las primeras etapas del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos, la mayor actividad bacteriana se produce a pH 6- 7.5 mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5-8 El rango ideal es de 5.8 a 7.2. [6]

1.1.5.4. Oxigenación

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. La necesidad de oxígeno varía durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. La presencia de aire resulta necesaria por lo cual se recurre al volteo periódico o a la ventilación forzada.

1.1.5.5. Microorganismos

En el compostaje intervienen diversas especies de bacterias y hongos, cuyas poblaciones crecen o disminuyen a lo largo de las distintas fases del proceso.

1.1.5.6. Naturaleza química del sustrato

La naturaleza de los compuestos influye en la velocidad del proceso de degradación. Así, cuando predominan los compuestos tales como la lignina, celulosa, grasas, etc. la degradación de los subproductos es mucho más lenta que cuando predominan los compuestos orgánicos de bajo peso molecular. Así mismo, el contenido y proporción de los nutrientes esenciales para el metabolismo microbiano (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.) también presentan una gran influencia en la velocidad del compostaje.

1.1.6. Materiales para compostar.

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables, con la condición de que no se encuentre contaminados. Generalmente estas materias primas proceden de:

- Restos de cosechas, ramas trituradas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos, heno y hierba, césped o pasto.
- Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral.
- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas): alimentos estropeados o caducados, cáscaras de huevo, restos de café, restos de té e infusiones, cáscaras de frutos secos, cáscaras de naranja, cítricos o piña, papas estropeadas, podridas o germinadas.
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).
- Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como:

- Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).

1.1.7. Factores a considerar para el diseño de un compostero de tambor rotatorio.

La tabla 1 muestra los factores a considerar para el diseño de un sistema de compostaje tomando como referencia la norma ambiental aplicada en el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 que establece los requerimientos para establecer la gestión integral y valorización los residuos orgánicos en condiciones controladas de producción.

Una vez considerados los requerimientos de producción, cuando se realice la fase del diseño, se deberá considerar la utilización de materiales que permitan brindar las características necesarias para soportar las condiciones a las que estará expuesto durante el proceso, sin correr el riesgo de tener fallas durante su funcionamiento. Como se vio en los puntos anteriores de este trabajo y como lo muestra la norma NADF-020-AMBT-2011, a lo largo del proceso de fabricación y obtención de composta, son muchos y muy complejos los factores involucrados en el mismo, por tal motivo, es necesario considerar los puntos mencionados en la tabla 1 cuando se pretende realizar un sistema de compostaje:

Tabla 1 Factores para el diseño y la utilización de un compostero.

Concepto	Descripción
Características del sitio.	Para instalar una planta de compostaje debe considerarse el principio de proximidad a fin de que el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos se realice en la medida de lo posible, cerca de la fuente generadora. Así mismo, la ubicación se debe considerar el mismo principio hacia los posibles usuarios de la composta.
Ubicación del sitio.	Se debe considerar el diseño de un compostero que permita ser empleado en las fuentes generadoras como lo son casas, escuelas, restaurantes, entre otros.

Principio de funcionalidad.	En los sistemas de tambor rotatorio se debe de tomar en cuenta un diseño que permita mezclar el material a la vez que este es oxigenado. El factor clave en estos sistemas es la aireación forzada, por tal motivo, se debe considerar la adaptación de un mecanismo manual que permita realizarla de forma fácil y sin complicación alguna para el usuario.
Capacidad de compostaje.	Se debe considerar el nivel y la escala de producción de composta para con ello establecer las características del sistema de compostaje a emplear. Se debe considerar la elaboración de un compostero con capacidades tolerables para que cualquier persona pueda llevar a cabo el proceso de obtención sin problema alguno.
Control de los parámetros.	Se debe llevar el control de los parámetros de temperatura, aireación, humedad y mezcla inicial (parámetros establecidos en la NADF-020-AMBT-2011).
Condiciones ambientales.	Debido al tipo de aplicación de los composteros, estos deben de ser resistentes a las condiciones ambientales como la lluvia, el polvo, el sol, etc., ya que estos se utilizan por lo general al aire libre.
Materiales a compostar.	Puesto que todo material orgánico tiende a descomponerse, los composteros deben de impedir que la segregación de sustancias afecte su funcionalidad y sus componentes, deben evitar la propagación de malos olores y brindar la posibilidad de ser limpiados fácilmente.
Carga de trabajo.	El tiempo que tarda el proceso para la fabricación de composta es uno de los principales factores a considerar cuando se trata de diseñar un compostero, debido a que este debe de resistir estar sometido a cargas contantes al contener los materiales a compostar, sin sufrir algún desgaste o deformación, durante periodos prolongados de tiempo (tiempo que tarda el proceso de fabricación de composta).

Temperatura.	<p>El compostero debe de resistir estar expuesto a las diferentes temperaturas que se alcanzan a lo largo de las fases del proceso, es por eso que se debe considerar el empleo de materiales que permitan soportar las temperaturas sin sufrir deformación o degradación alguna en un periodo prolongado de tiempo.</p>
Humedad.	<p>Se debe considerar emplear materiales en cada uno de los componentes involucrados, que permitan estar en contacto con agua sin correr el riesgo de oxidarse o sufrir algún desgaste.</p>
Oxigenación.	<p>El proceso de compostaje necesita oxígeno, por esa razón es necesario considerar un diseño que permita la fácil entrada y salida del mismo.</p> <p>El material con el que se fabricará el compostero debe permitir que el oxígeno fluya a través del mismo, sin que este sufra algún cambio en sus características.</p>
Microorganismos.	<p>Los materiales a utilizar deben presentar estabilidad e inercia frente a los microorganismos y se deben considerar emplear materiales que no sean biodegradables, es decir, que no sean degradados masivamente por los microorganismos presentes en el proceso del compostaje (bacterias, mohos y levaduras).</p>
Ataques químicos.	<p>El compostero debe de estar elaborado con materiales que permitan resistir a todos los tipos de ataques químicos de las sustancias provenientes de los materiales orgánicos a compostar.</p>

1.2. Selección de materiales para la elaboración del reactor aerobio.

Elegir el material idóneo para cada aplicación garantiza un óptimo funcionamiento del producto y un sinnúmero de ventajas económicas ante otras posibles propuestas. Al seleccionar el material, se debe tener presente la función a realizar, el tipo de ambiente en el cual se va a desempeñar y cada una de las propiedades necesarias para la aplicación requerida.

La selección de materiales como posibles candidatos para la elaboración de un producto se realiza como una etapa temprana en el diseño. El material que mejor se adapte a las necesidades del diseño debe de cumplir con un cierto perfil de propiedades.

Los diversos materiales se clasifican en seis grandes familias como se muestra en la Figura 6. Los miembros de una familia comparten ciertas características en común como lo son:

- Propiedades (físicas, químicas, mecánicas, etc.)
- Procesos de obtención.
- Procesos de transformación.
- Aplicaciones.

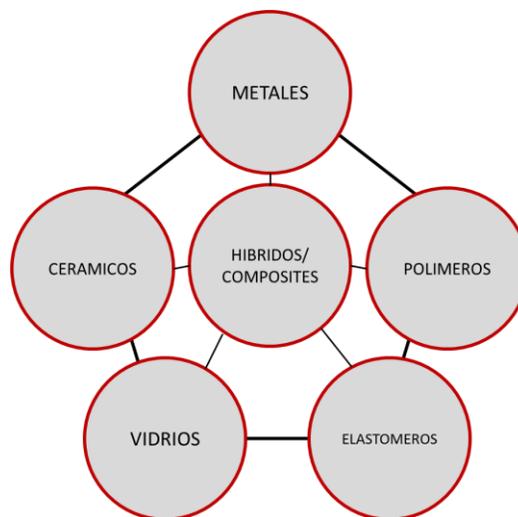


Figura 6 Familias de materiales. [8]

Hoy en día existe una gran cantidad de materiales, algunos se muestran de acuerdo a su calificación en la tabla 2.

Tabla 2 Familias y clasificación de los materiales.

FAMILIA	CLASE	Nombre corto
Metales (metales y aleaciones de ingeniería)	Aleaciones de aluminio	Aleaciones de Al
	Aleaciones de cobre	Aleaciones de Cu
	Aleaciones de magnesio	Aleaciones de Mg
	Aleaciones de níquel	Aleaciones de Ni
	Aceros al carbón	Aceros
	Aceros inoxidable	Aceros inox.
	Aleaciones de estaño	Aleaciones de Sn
	Aleaciones de titanio	Aleaciones de Ti
	Aleaciones de tungsteno	Aleaciones de W
	Aleaciones de plomo	Aleaciones de Pb
	Aleaciones de zinc	Aleaciones de Zn
Cerámicos Cerámicos técnicos (cerámicas finas para aplicaciones que soportan de cargas)	Alúmina	Al ₂ O ₃
	Nitruro de aluminio	AlN
	Carburo de boro	B ₄ C
	Carburo de silicón	SiC
	Nitruro de silicón	Si ₃ N ₄
	Carburo de tungsteno	WC
Cerámicos no-técnicos (cerámicos porosos para construcción)	Ladrillo	
	Concreto	
	Piedra	
Vidrios	Vidrio de soda de lima	
	Vidrio de bosorilicato	
	Vidrio sílice	
	Vitrocera mica.	
Polímeros (termoplásticos y termofijos)	Acrilonitrilo butadieno estireno	ABS
	Celulosa	CA
	Ionómeros	
	Resinas epoxicas	
	Resinas fenólicas	
	Poliamidas (nylons)	PA
	Policarbonato	PC

	Poliésteres	
	Poliéter éter cetona	PEEK
	Polietileno	PEEK
	Polietilentereftalato	PET
	Polimetilmetacrilato	PMMA
	Polioximetileno (acetal)	POM
	Polipropileno	PP
	Poliestireno	PS
	Politetrafluoroetileno (teflon)	PTFE
	Policloruro de vinilo	PVC
Elastómeros (cauchos sintéticos y naturales)	Caucho butílico	
	Etilenvinilacetato	EVA
	Isopreno	
	Caucho natural	
	Policloropreno (neopreno)	
	Poliuretano	PU
	Elastómeros de silicón	
Híbridos	Polímeros reforzados con fibra de carbono	CFRP
	Polímeros reforzados con fibra de vidrio	GFRP
Composites	Carburo de silicón reforzado con aluminio	Al-SiC
	Espuma de polímero flexible	
Espumas	Espumas de polímero rígida	
Materiales naturales	Corcho	
	Bambú	
	Madera	

Fuente: [8]

Cada material puede ser considerado como único, esto es debido a que cada uno tiene un conjunto de atributos o propiedades que lo diferencian de los demás.

Cuando se pretende diseñar un producto se busca un material con base a las características que este puede brindar. Dicho material debe de cubrir un cierto perfil de propiedades que mejor se adapte a las necesidades del diseño.

Las principales propiedades de los materiales así como sus unidades de medida se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Propiedades de los materiales y sus unidades de medida.

Clase	Propiedad	En ingles	Símbolo	Unidades
Generales	Densidad	Density	ρ	kg/m ³ o mg/m ³
	Precio	Price	Cm	\$/kg
Mecánicas	Módulo de Young	Young's shear	E, G, K	GPa
	Esfuerzo de deformación	Yield strength	σ_y	MPa
	Esfuerzo ultimo	Ultimate strength	σ_u	MPa
	Esfuerzo de compresión	Compressive strength	σ_c	MPa
	Esfuerzo de falla	Failure strength	σ_f	MPa
	Dureza	Hardness	H	Vickers
	Elongación	Elongation	ϵ	-
	Resistencia a la fatiga	Fatigue endurance limit	σ_e	MPa
	Tenacidad a la fractura	Fracture toughness	K _{IC}	MPa m ^{1/2}
	Tenacidad	Toughness	G _{IC}	kJ/m ²
Térmicas	Punto de fusión	Melting ponit	T _m	C° o K°
	Temperatura de transición vítrea	Glass temperature	T _g	C° o K°
	Temperatura máxima de servicio	Maximum service temperature	T _{max}	C° o K°
	Temperatura mínima de servicio	Minimum service temperature	T _{min}	C° o K°
	Conductividad térmica	Thermal conductivity	λ	W/mK°
	Calor específico	Specific heat	C _p	J/kgK°
	Coefficiente de expansión térmica	Thermal expansion coefficient	α	K ⁻¹
Eléctricas	Resistencia eléctrica.	Electrical resistivity	ρ_e	Ω m o $\mu\Omega$ cm
	Constante dieléctrica	Dielectric constant	ϵ_d	-
	Voltaje de ruptura	Breakdown potential	V _b	10 ⁶ V/m
	Factor de potencia	Power factor	P	-
Ópticas	Óptica, transparencia, Translucido, opacidad.	Optical, transparent, translucent, opaque	Yes/No	
	Índice de refracción	Refractive index	n	-
Ecológicas	Energía requerida por kg	Energy/kg to extract material	E _f	MJ/kg
	CO ₂ emitido por kg	CO ₂ /kg to extract material	CO ₂	kg/kg

Ambientales	Oxidación	Oxidation rates	Very low, low, average.	
	Corrosión	Corrosion rates	High, very high	
	Desgaste	Wear rate constant	K_A	Mpa^{-1}

Fuente: [8]

1.2.1. Materiales plásticos.

En el mercado existe un gran número de estos materiales y se adicionan más a cada momento. Este número es suficiente para tener una gran gama de materiales a escoger cuando se pretende diseñar un producto. Solo un pequeño porcentaje en realidad son candidatos para emplearlos en una aplicación.

Existen varias definiciones sobre los materiales plásticos, para los fines que se pretenden en este trabajo de investigación el principal enfoque de la definición de plásticos está orientado principalmente hacia las características y propiedades que estos ofrecen al ser sometidos a temperaturas o algún tipo de fuerzas, por tal motivo, podemos definir a los materiales plásticos como aquellos compuestos principalmente de polímeros de origen natural o de polímeros hechos artificialmente, que contienen aditivos como fibras, cargas, pigmentos y otros similares que permiten mejorar sus propiedades térmicas, mecánicas, etc. [9]

Los plásticos son materiales capaces de ser moldeados ante la presencia o la exposición de una determinada temperatura permitiendo ser adaptado en las formas más diversas y complejas.

Entre las características más comunes de los plásticos están:

- Son materiales muy ligeros en comparación con otros materiales como el metal o el vidrio.
- Excelentes aislantes eléctricos, debido a que no son conductores de calor.
- Se pueden lavar o limpiar fácilmente.
- No se degradan.
- Son económicos en comparación con otros materiales.

- Los diferentes tipos de plásticos existentes hoy en día permiten brindar una amplia variedad de propiedades.
- Son fáciles de procesar.
- Pueden ser utilizados en diferentes ámbitos como en la medicina, la ingeniería, los alimentos, entre otros, gracias a que cuentan con una amplia variedad de aplicaciones.
- Son reciclables. [10]

Los materiales plásticos se producen mediante procesos químicos de polimerización. Se conoce como polimerización al proceso mediante el cual pequeñas moléculas de una sola unidad (conocidos como monómeros) o de unas cuantas unidades, se unen químicamente para crear moléculas de cadenas largas (conocidos como polímeros), permitiendo determinar la estructura, las propiedades y el comportamiento del polímero obtenido. [11]

Las propiedades de los materiales plásticos se pueden ajustar para satisfacer las necesidades requeridas haciendo variaciones en su:

- Estructura polimérica.
- Peso molecular o Grado de polimerización.
- Ordenamiento de las cadenas.
- Grado de cristalinidad.

Cada día existen mayores demandas y consumo de este tipo de materiales gracias a la gran gama de propiedades y características que estos brindan permitiendo ser empleados en muchas aplicaciones sustituyendo productos elaborados con otro tipo de materiales como los metales o cerámicos.

En general la utilización de estos materiales radica en su costo, ya que muchos de ellos son más baratos en el mercado que otros materiales. El costo de los plásticos se incrementa con el mejoramiento de sus propiedades térmicas o mecánicas. Los plásticos más baratos y los más usados son conocidos como commodities o estándar como se muestra en la figura 7. Con base a sus propiedades y sus aplicaciones,

existen también plásticos de ingeniería y especializados, destacando que estos tienen un mayor costo y sus aplicaciones son más reducidas y exclusivas.

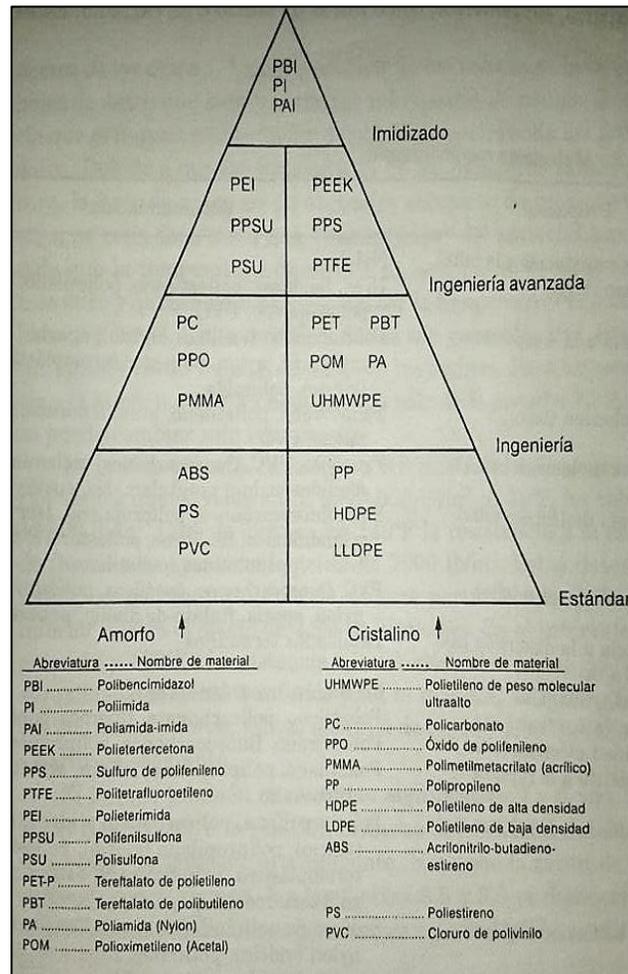


Figura 7 Clasificación de termoplásticos. [12]

Los materiales plásticos son una parte importante en nuestros días. Se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones que van desde sofisticadas prótesis de cadera, partes automotrices hasta prendas de vestir, juguetes, cubiertos desechables.

1.2.2. Clasificación de los plásticos.

Dada la gran variedad de materiales plásticos provenientes de investigaciones científicas y tecnológicas, es necesario establecer una clasificación de los mismos para su mayor entendimiento y estudio.

Los materiales plásticos pueden ser clasificados según sus características como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Clasificación de los plásticos.

Clasificación	Tipo
Por su origen	Natural
	Sintético
Por su proceso de obtención	Masa
	Solución
	Emulsión
	Suspensión
Por su estructura	
	Según el tipo de monómeros
	Según la forma de sus cadenas
	Homopolímeros
	Copolímeros
	Lineales
	Ramificados
	Entrecruzados
Por su comportamiento térmico	Termoplásticos
	Termofijos
	Elastómeros
Por su consumo	Commodities
	Plásticos de ingeniería
	Plásticos de especialidad

Para interés de este trabajo de investigación se tomara como referencia el comportamiento térmico y mecánico descrito a continuación.

1.2.2.1. Clasificación térmica de los plásticos.

Las propiedades de los materiales plásticos cambian en función a la temperatura, por tal motivo, es necesario conocer en qué forma ocurren estos cambios con la finalidad de diseñar mejores componentes y guiar el tipo de técnicas de procesamiento que deban emplearse. Según su reacción al calor, los materiales plásticos se clasifican en 3 grupos:

1.2.2.1.1. Termoplásticos

Son materiales poliméricos que tienen la característica de fundirse o reblandecerse al ser calentados y solidificarse al enfriarse. Pueden ser fundidos y solidificados un ilimitado número de veces con la condición de que el material no alcance su temperatura de descomposición o degradación, permitiendo que estos materiales puedan procesarse y reprocesarse mediante la aplicación de temperatura permitiendo ser moldeados y formados en un sinnúmero de aplicaciones. [13]

Los termoplásticos se dividen en:

Amorfos: se caracterizan por que sus moléculas están en completo desorden, este arreglo molecular permite el paso de la luz siendo la razón por la cual son transparentes, se reblandecen a cierto grado de temperatura.

Cristalinos: estos materiales tienen un orden molecular relativamente bueno, este ordenamiento se opone al paso de la luz provocando que estos materiales tengan una apariencia opaca o traslúcida, tienen un punto definido al cual se funden.

Tabla 5 Clasificación materiales termoplásticos

Símbolo	Tipo de plástico	Propiedades	Usos comunes
<p>PET</p>	<p>Poliétilen Tereftalato</p> <p>(Polyethylene Terephthalate)</p>	<p>Alta transparencia y resistencia al impacto, muy buena barrera de CO₂ y compatible con usos alimentarios.</p>	<p>Envases de bebidas y textiles.</p>

 <p>HDPE</p>	<p>Poliétileno de alta densidad (High density polyethylene)</p>	<p>Baja permeabilidad y alta resistencia química, física y térmica.</p>	<p>Envases, contenedores, bolsas, cubetas, utensilios, tuberías.</p>
 <p>PVC</p>	<p>Policloruro de vinilo</p>	<p>Muy buena resistencia eléctrica y a la llama.</p>	<p>Duro (perfiles, tubos, envase) Blando (juguetes, zapatos, laminas)</p>
 <p>LDPE</p>	<p>Poliétileno de baja densidad (Low density polyethylene)</p>	<p>Es translúcido, tiene buena resistencia térmica y química, muy flexible.</p>	<p>Bolsas, embalaje, empaquetados, etc.</p>
 <p>PP</p>	<p>Polipropileno (Polypropylene)</p>	<p>Alta resistencia a temperaturas extremas, al impacto y al aislamiento.</p>	<p>Empaques de alimentos, juguetes, piezas automotrices.</p>
 <p>PS</p>	<p>Poliestireno (Polystyrene)</p>	<p>Elástico con buena resistencia mecánica, térmica y eléctrica. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.</p>	<p>Envases, vasos, platos, cubiertos, espumas.</p>
 <p>OTHER</p>	<p>Otros</p>	<p>Incluyen a los demás materiales. Sus propiedades son mejores dependiendo al tipo de plástico.</p>	<p>Componentes automotrices, textiles, etc.</p>

Fuente: [14], [15]

1.2.2.1.2. Termofijos

Son materiales plásticos que al ser calentados por primera vez forman entrecruzamientos moleculares provocando que no se fundan. Con el calentamiento fluyen para ser moldeados pero la reacción química provocada hace que se endurezcan de forma irreversible. Estas reacciones pueden ser activadas por temperatura, mezclado o catalizadores y los procesos de moldeo son diferentes a los de los termoplásticos. Estos materiales al quemarse solo se carbonizan o degradan lo que provoca que no puedan ser reciclados. [16]

Entre los materiales termofijos se encuentran:

- Poliuretanos,
- Resinas fenólicas,
- Poliésteres,
- Resinas epóxicas

Los materiales termofijos son resistentes a ataques químicos, a la fractura bajo esfuerzos, frágiles sin ductilidad, capaces de funcionar a mayores temperaturas que los polímeros termoplásticos y ya no pueden regresar a su estado original.

1.2.2.1.3. Elastómeros

Estos materiales pueden ser de origen natural (como el hule o caucho) o sintéticos (como el neopreno). Después de sufrir una deformación por acción de una fuerza, se recuperan a su forma original rápidamente, lo cual los identifica como materiales elásticos. Existen elastómeros termoplásticos y termofijos.

Los elastómeros termoplásticos tienen la facilidad de procesamiento de los termoplásticos y el comportamiento elástico de los elastómeros. Pueden ser reprocesados e incluso reciclados.

Los elastómeros termofijos son materiales cuyas moléculas están entrecruzadas por enlaces químicos, se producen por medio de la vulcanización de compuestos que

incluyen una gran cantidad de componentes. Estos materiales no pueden ser reprocesados lo que los convierte en materiales no reciclables.

Tabla 6 Diferencia entre termoplásticos y termofijos.

	Estructura	Apariencia física	Densidad (g/cm ²)	Comportamiento al calor
Termoplásticos	Lineal 	Parcialmente cristalina: <ul style="list-style-type: none"> • Flexible a rígido. • Traslucido a opaco. • Transparente (solo las películas). 	0.9-1.4	Se reblandecen y por la acción del calor se solidifican al enfriarse. Se funden sin descomponerse.
	Ramificada 	Amorfos: <ul style="list-style-type: none"> • Incoloros, claros y transparentes. • Se pueden hacer flexibles agregando plastificantes. 	0.9-1.9	
Termofijos	Entrecruzada 	Duros: <ul style="list-style-type: none"> • Con cargas son opacos. • Sin cargas son transparentes. 	Sin carga: 1.2-1.4 Con carga: 1.4-2.0	Se descomponen sin fundirse bajo la acción del calor.

Fuente: [12], [17]

1.2.3. Efecto de la temperatura sobre los materiales plásticos.

El comportamiento térmico es propiedad importante de los materiales poliméricos termoplásticos, pues permite entender su comportamiento, definir sus propiedades y llevar a cabo diferentes procesos de transformación.

La temperatura influye en el comportamiento visco-elástico, cuando la temperatura aumenta se tiene lugar el flujo viscoso más fácilmente con menor tensión aplicada, a bajas temperaturas, el polímero se vuelve viscoso, las cadenas no deslizan y el polímero presenta un comportamiento de sólido rígido. Estos comportamientos aparecen reflejados en la figura 8.

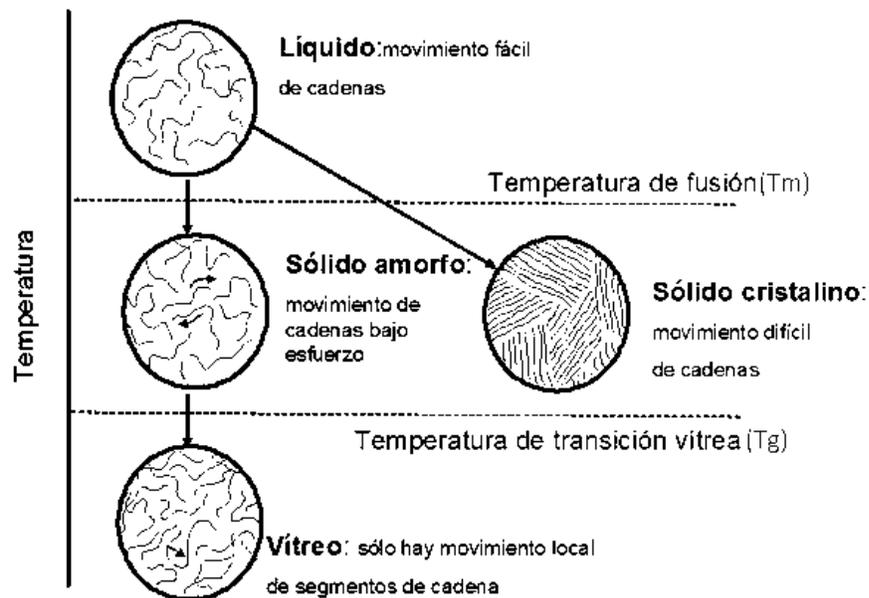


Figura 8 Efecto de la temperatura en la estructura y en el comportamiento de los materiales termoplásticos. [18]

Al dejar una cubeta o algún otro objeto de plástico a la intemperie durante el invierno se puede notar que se agrieta o rompe con mayor facilidad que durante el verano; este fenómeno es conocido como transición vítrea. Esta transición es algo que sólo le ocurre a los polímeros, lo cual los hace diferentes.

La temperatura de transición vítrea (T_g) es la temperatura a la cual un polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a un estado blando y maleable, está presente sólo

en polímeros amorfos y es diferente para cada uno. Por debajo de esta temperatura, los materiales plásticos son duros y frágiles, cuando el material se encuentra por encima de la temperatura, se adquiere mayor flexibilidad y elasticidad. La T_g es responsable de que un polímero sea blando o rígido. [19]

La temperatura de fusión (T_m) es la temperatura en la cual los materiales plásticos se funden, pasando de un estado sólido a un estado viscoso. Es una transición que se manifiesta en los polímeros cristalinos; ocurre cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado. Los polímeros cristalinos tienen alguna porción amorfa, pero lo más importante es saber que la porción amorfa sólo experimentará la transición vítrea y la porción cristalina sólo la fusión.

Cuando se calienta un polímero cristalino a velocidad constante, la temperatura aumentará a velocidad constante (la cantidad de calor requerida para incrementar en un grado Celsius la temperatura de un gramo de polímero se denomina capacidad calorífica). La temperatura seguirá aumentando hasta que el polímero llegue a su punto de fusión. Cuando esto sucede, la temperatura se mantendrá constante por un momento, aun cuando se suministre más calor. Se mantendrá constante hasta que todo el polímero se haya fundido completamente. Luego la temperatura del polímero comenzará a ascender nuevamente. El aumento se detiene porque la fusión requiere energía. Toda la energía que se le agregue a un polímero cristalino en su punto de fusión, se utilizará en la fusión y no en un aumento de la temperatura (este calor se denomina calor latente de fusión).

Una vez que el polímero fundió, la temperatura comienza a ascender de nuevo a una velocidad más lenta. El polímero fundido tiene mayor capacidad calorífica que el polímero cristalino en estado sólido, de modo que puede absorber más calor con incrementos de temperatura más pequeños. [19]

Cuando un polímero cristalino funde, absorbe una cierta cantidad de calor y experimenta un cambio en su capacidad calorífica. Cualquier cambio debido al calor que involucre un cambio en la capacidad calorífica y un calor latente, se denomina

transición de primer orden. Sin embargo sucede algo diferente cuando se calienta un polímero amorfo hasta su T_g . Primero se calienta y la temperatura se eleva a una velocidad determinada por la capacidad calorífica del polímero pero cuando se alcanza la T_g la temperatura sigue aumentando, no se detiene, no hay calor latente de transición vítrea, la temperatura sigue incrementándose.

El polímero experimenta un incremento en su capacidad calorífica luego de alcanzar la transición vítrea. Debido a que la transición vítrea involucra un cambio en la capacidad calorífica pero no un calor latente, esta transición se denomina transición de segundo orden.

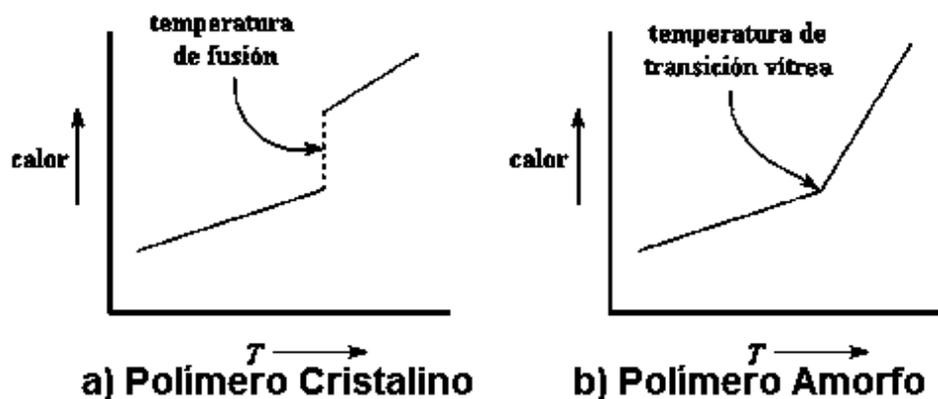


Figura 9 Calor en función a la temperatura.

Todos los materiales plásticos tienen una temperatura máxima en la cual se queman, carbonizan o degradan, esa es la temperatura de degradación (T_d). En los termoplásticos, la degradación se presenta en estado líquido, mientras que en los termoestables, en estado sólido. Esta temperatura limita la utilidad del polímero y representa la temperatura superior a la cual puede ser conformado de manera útil. [20]

1.2.4. Propiedades mecánicas de los materiales plásticos.

Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa en sus propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas de los polímeros dependen de su composición, estructura y condiciones de procesado. Existen otros factores que influyen en las mismas como el tiempo y la velocidad en la aplicación de esfuerzos, así como la temperatura. [21]

Otra propiedad importante de los polímeros, que también depende fuertemente de sus temperaturas, es su respuesta a la aplicación de una fuerza, como se indica en sus dos tipos principales de comportamiento elástico y plástico. Al ser aplicada una fuerza en un material elástico este retornará a su estado inicial, una vez que haya sido retirada la fuerza, mientras que un material plástico la deformación es permanente.

La mayoría de los polímeros termoplásticos tienen un comportamiento no newtoniano o visco elástico, esto significa que el esfuerzo y la deformación no están relacionadas linealmente. Cuando a un material termoplástico se le aplica una fuerza externa, ocurren deformaciones tanto elásticas como plásticas.

1.2.4.1. Resistencia mecánica.

La resistencia mecánica es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de un cuerpo depende de su material y de su geometría. El parámetro empleado habitualmente para valorar la resistencia mecánica de un cuerpo es el coeficiente de seguridad. [22]

La resistencia mecánica se puede presentar en varios tipos, dependiendo a las condiciones de la aplicación de las fuerzas o cargas.

- Resistencia a la tensión o tracción: un polímero tiene resistencia a la tensión si soporta cargas axiales que tienden a alargarlo. La resistencia a la tracción es importante para un material que va a ser estirado o a estar bajo tensión
- Resistencia a la cedencia: es el esfuerzo al cual ocurre un aumento de deformación pero sin ocurrir incrementos del esfuerzo sometido.

- Resistencia a la compresión: un polímero tendrá resistencia a la compresión si soporta cargas axiales que tienden a compactarlo. El concreto es un ejemplo de material con buena resistencia a la compresión. Cualquier cosa que deba soportar un peso encima, debe poseer buena resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión. Un polímero tiene resistencia a la flexión si es capaz de soportar cargas que provoquen momentos flectores en su sección transversal.
- Resistencia al impacto (tenacidad). Un polímero tiene resistencia al impacto si es fuerte cuando se le golpea o recibe un impacto y no sufre deformación o ruptura alguna. [23]

1.2.4.2. Diagrama esfuerzo (σ) deformación (ϵ)

La respuesta de un material puede ser muy diferente y esto depende del tipo de esfuerzo al que va a someterse. Para caracterizar un material para una aplicación determinada es necesario conocer su comportamiento esfuerzo deformación.

No es posible preparar una probeta o muestra para la realización de cualquier ensayo o prueba, en su lugar, los resultados de los ensayos deben reportarse de manera que puedan aplicarse a un elemento de cualquier tamaño. Los datos de la carga y la deformación se utilizan para calcular distintos valores del esfuerzo y la deformación de la muestra. La representación gráfica de los resultados produce una curva llamada diagrama esfuerzo-deformación.

Se puede determinar el esfuerzo (σ) al dividir la carga aplicada P entre el área A_0 de la sección transversal original de la probeta. En este cálculo se supone que el esfuerzo es constante en la sección transversal y en toda la longitud calibrada. Por lo tanto se entiende al esfuerzo como:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Del mismo modo la deformación (ϵ) se determina al dividir el cambio δ en la longitud calibrada de la probeta entre la longitud calibrada original L_0 de la probeta. En este

cálculo se supone que la deformación es constante a lo largo de la región entre los puntos, por lo tanto:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

Si los valores correspondientes de esfuerzo y deformación se grafican de manera que el eje vertical sea el esfuerzo y el eje horizontal la deformación, la curva resultante se llama diagrama esfuerzo-deformación convencional. [24]

La mayoría de los plásticos presentan una gráfica esfuerzo-deformación no lineal que va experimentando cambios con el aumento de la tensión, debido a que presentan un comportamiento viscoelástico. En los termoplásticos las deformaciones se manifiestan de forma complicada y dependen del tiempo y la velocidad con la que se aplica la carga. La figura 10 muestra la gráfica esfuerzo-deformación típica de los mismos.

La pendiente de la parte recta de la curva en el punto inicial hasta el punto A, se conoce como módulo de Young. Los plásticos con un módulo alto se suelen llamar plásticos duros, mientras que los que tienen un módulo bajo son plásticos blandos.

Los plásticos duros son, por ejemplo, las resinas de fenol-formaldehído (PF), polióxido de metileno (POM), policarbonato (PC) y polietilenterftalato (PET). Esta dureza no debe confundirse con la dureza superficial, que normalmente se define como la resistencia de un material a ser rayado o penetrado. Para evitar confusiones, los plásticos duros (con alto módulo) deberían llamarse plásticos rígidos. Según la norma ASTM, los plásticos rígidos son aquellos que tienen un módulo superior a 700 MPa; los semirrígidos, un módulo entre 70 y 700 MPa; y los blandos, un módulo inferior a 70 MPa. [21]

La tenacidad se puede estimar como el área total OABCDO y representa el trabajo total que debe realizarse para romper el material. Cuanta mayor cantidad de energía pueda absorber un material experimentando grandes deformaciones, más tenaz será. Por último, el término fragilidad hace referencia a la falta de tenacidad.

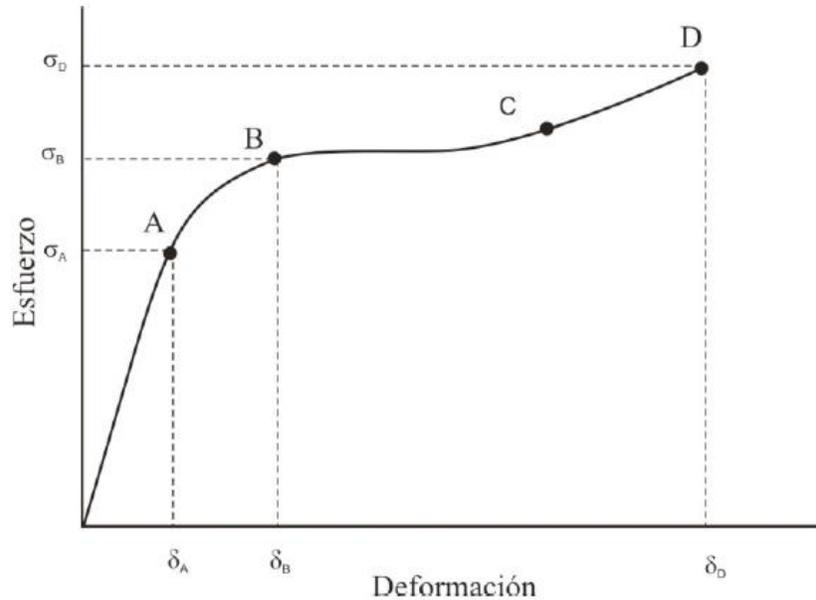


Figura 10 Grafica esfuerzo-deformación típica de un plástico. [21]

- A. Deformación elástica: es el cambio en el tamaño o forma de un material debido a la aplicación de una fuerza, esta deformación regresa a su posición original al retirar la carga. Aquí la curva es en realidad una línea recta, de modo que el esfuerzo es proporcional a la deformación.

Punto de cedencia (σ_A): es el esfuerzo al cual ocurre una gran deformación sin incremento de carga o esfuerzo. Un ligero aumento en el esfuerzo por encima del límite elástico generara un rompimiento del material y ocasionara que este se deforme de manera permanente. El esfuerzo que causa la cedencia se llama esfuerzo de cedencia o punto de cedencia y la deformación que se produce se denomina deformación plástica.

- B. Limite plástico o punto de fluencia: en este punto la deformación deja de ser elástica. Las deformaciones dejan de ser recuperables, por lo que la deformación es irreversible. El material ya no se comporta como un material elástico, si no como un sólido plástico. En este punto el material seguirá deformándose sin ningún incremento en la carga.

Deformación plástica: la gráfica que se representa entre el punto B y C es aproximadamente horizontal, como consecuencia de que el material se hace dúctil y fluye poco en comparación con el esfuerzo aplicado. Después de este punto, para que el material pueda seguir deformándose, se debe de aplicar un esfuerzo mayor.

C. Estricción: es la formación de un istmo o garganta del material antes se su falla. Mientras el material se alarga hasta llegar al esfuerzo último, el área de su sección transversal se reduce. Esta reducción es bastante uniforme, sin embargo, el área de la sección transversal comenzara a disminuir. En consecuencia se forma una constricción, istmo o cuello en dicha región a medida que la probeta se alarga más debido a la estricción.

D. Ruptura: es el esfuerzo donde ocurre la falla o rompimiento del material. Aquí el diagrama esfuerzo deformación tiende a curvarse hacia abajo hasta que la muestra del material se rompe en el esfuerzo de fractura (σ_D). [21], [24], [25]

Los termoplásticos se deforman fundamentalmente por deformación elástica por debajo de su temperatura de transición vítrea, aumentando su resistencia y por encima de esta temperatura la deformación es de tipo plástico. Esto nos indica que la temperatura es factor para que el comportamiento esfuerzo deformación se comporte de forma diferente en un mismo material. En la figura 11 se observa el comportamiento del Polimetil-metacrilato (PMMA) que es sometido a un esfuerzo en el cual se emplea temperaturas que van desde -40°C a 140°C .

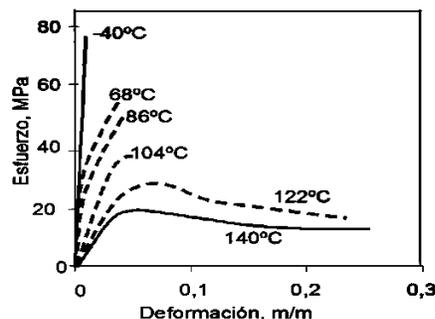


Figura 11 Curvas esfuerzo-deformación para el PMMA a diferentes temperaturas. [18]

1.2.4.3. Comportamiento esfuerzo-deformación en materiales dúctiles y frágiles.

Los materiales pueden clasificarse como dúctiles o frágiles en función a sus características esfuerzo deformación.

Cualquier material que pueda someterse a grandes deformaciones antes de fracturarse se denomina material dúctil. Son capaces de absorber los impactos o la energía, pero si se sobrecargan, presentan grandes deformaciones antes de fallar. Un material dúctil se alargará y cederá antes de fracturarse y en la sección fracturada el área de la sección transversal se reducirá notablemente. A la inversa un material frágil se fracturara de repente con poco o ningún cambio en el área de la sección fracturada. Estos materiales no presentan cedencia antes de la falla.

Una manera de especificar la ductibilidad de un material es por medio de su porcentaje de elongación o de reducción en el área al momento de la fractura. El porcentaje de elongación es la deformación a la fractura expresada en porcentaje. Por lo tanto:

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} (100\%)$$

Se considera que un material es dúctil si su porcentaje de alargamiento o elongación es de más del 5%. Un material con un porcentaje de alargamiento menor del 5% se considera como frágil. [26]

En la mayoría de las aplicaciones de diseño estructural y mecánico, el comportamiento dúctil es deseable y el porcentaje de alargamiento del material deberá de ser significativamente mayor al 5%. Las siguientes definiciones se utilizan para describir la ductibilidad:

- Un material dúctil es aquel que puede ser alargado, formado o estirado significativamente antes de fracturarse.

$$\text{Porcentaje de elongación} > 5\%$$

- Un material frágil es aquel que falla de repente bajo carga o con poca o ninguna deformación plástica. [26]

Porcentaje de elongación < 5%

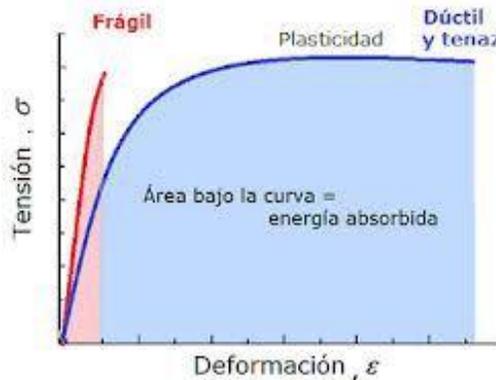


Figura 12 Diagrama esfuerzo-deformación para materiales dúctiles y frágiles. [27]

Algunos polímeros como el polimetilmetacrilato (PMMA), el poliestireno cristal (GPPS) o el poliácido láctico (PLA), entre otros, son ejemplos típicos de materiales frágiles. El tipo de rotura que ofrece un material (frágil o dúctil) depende de la temperatura. Así mientras algunos materiales como los plásticos (polietileno, polipropileno u otros termoplásticos) que suelen dar lugar a roturas dúctiles a temperatura ambiente, por debajo de su temperatura de transición vítrea dan lugar a roturas frágiles. [27]

1.2.4.4. Diseño de elementos sometidos bajo tensión o compresión.

Debido a que una de las etapas finales de este trabajo de investigación constara en validar un producto plástico, una parte fundamental del mismo consistirá en caracterizar los materiales que serán usados virtualmente. Para ello existen ciertas condiciones que ayudan a saber si un material resistirá o no las condiciones deseadas.

Es importante reconocer que el concepto de esfuerzo se refiere a la resistencia interna opuesta por un área unitaria, es decir, un área infinitamente pequeña. Se considera que el esfuerzo actúa en un punto y que puede variar de un punto a otro en un mismo cuerpo.

Un producto sometido a una carga, falla cuando se rompe o deforma en exceso, lo que hace lo inaceptable para el propósito pretendido. Por ello es necesario que el nivel del

esfuerzo aplicado nunca exceda la resistencia máxima a la tensión o a la cedencia del material.

Para calcular el diseño del esfuerzo, se deben especificar dos factores el factor de diseño (N) y la propiedad del material en el que se basara el diseño. Para ellos se utilizan varios símbolos en diferentes campos para las propiedades de resistencia de los materiales.

S_y = Resistencia a la cedencia de un material.

S_u = Resistencia a la tensión.

Por lo cual, las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el esfuerzo de diseño para un cierto valor del factor de seguridad N:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \text{ basado en la resistencia a la cedencia.}$$

$$\sigma_d = \frac{S_u}{N} \text{ basado en la resistencia a la tensión.}$$

1.2.4.5. Esfuerzo permisible o Factor de seguridad.

Para diseñar correctamente un producto es necesario limitar el esfuerzo en el material hasta un nivel que sea seguro. Para garantizar esa seguridad se requiere elegir un esfuerzo permisible que restrinja la carga aplicada a un valor que sea menor a la máxima carga que el elemento pueda soportar.

La razón para hacer esto es debido a:

- Las cargas con la cuales se diseña un elemento pueden ser diferentes a las cargas reales a las que estará sometido.
- Las medidas propuestas pueden no ser exactas debido a errores de fabricación o al montaje de las piezas que lo componen.
- Pueden ocurrir vibraciones, impactos o cargas accidentales que no hayan sido tomadas en cuenta en el diseño.

- La corrosión atmosférica, el desgaste o la exposición a la intemperie tienden a causar que los materiales se deterioren durante su uso. [26]

Un método para especificar la carga permisible en un producto consiste en usar un número llamado factor de seguridad. El factor de seguridad (F.S.) es una razón de la carga de falla sobre la carga permisible.

$$\text{F.S. o } N = \frac{F_{\text{falla}}}{F_{\text{perm}}}$$

El factor de seguridad se selecciona con base a la experiencia, de modo que las incertidumbres mencionadas anteriormente se toman en cuenta cuando el elemento se usa bajo las mismas condiciones.

1.2.4.6. Especificación del material adecuado para la elaboración de un componente.

Para elegir el material adecuado para el diseño de un componente se debe de contar con los siguientes datos:

- a. La magnitud y el tipo de carga que actúa en el componente de interés.
- b. La forma y dimensiones de la geometría del componente.

Para determinar si el material propuesto, incluida su condición, resistirá para la elaboración de un componente, se deben seguir los siguientes pasos.

- 1) Identificar la clase de esfuerzo producido por la carga dada.
- 2) Determinar la técnica de análisis de esfuerzo aplicable.
- 3) Complementar el análisis de esfuerzo para determinar el esfuerzo máximo esperado por el componente
- 4) Especificar un factor de diseño razonable al componente.
- 5) Determinar la relación de esfuerzo de diseño apropiada.
- 6) Hacer que $\sigma_{\text{max}} = \sigma_{\text{diseño}}$ y resolver para obtener la resistencia requerida del material.
- 7) Cuando el diseño está basado en la resistencia a la tensión:

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{diseño}} = \frac{S_y}{N}$$

- 8) Especificar un material apropiado que tenga la resistencia requerida.
- 9) Si el esfuerzo del diseño es mayor que el valor del material, se deberá rediseñar el componente.
- 10) Si el esfuerzo del diseño es menor que el valor del material, lo único que queda es rediseñar el componente para lograr un diseño económico que utilice menos material. [26]

1.2.5. Diseño de productos plásticos.

La elección del material idóneo para cada aplicación esta dictada por el diseño. El diseño es el proceso de trasladar una nueva idea o una necesidad existente en el mercado, en una información detallada con la cual un producto puede ser fabricado.

En el proceso del diseño de un producto el punto de partida consiste en tener una nueva idea o una necesidad del mercado y el punto final consiste en la obtención de la especificación completa del producto con la cual se cumple la necesidad requerida. Una necesidad debe de ser identificada antes de que pueda cumplirse

Entre la declaración de las necesidades y las especificaciones del producto se encuentran un conjunto de etapas como se muestran en la Figura 13.

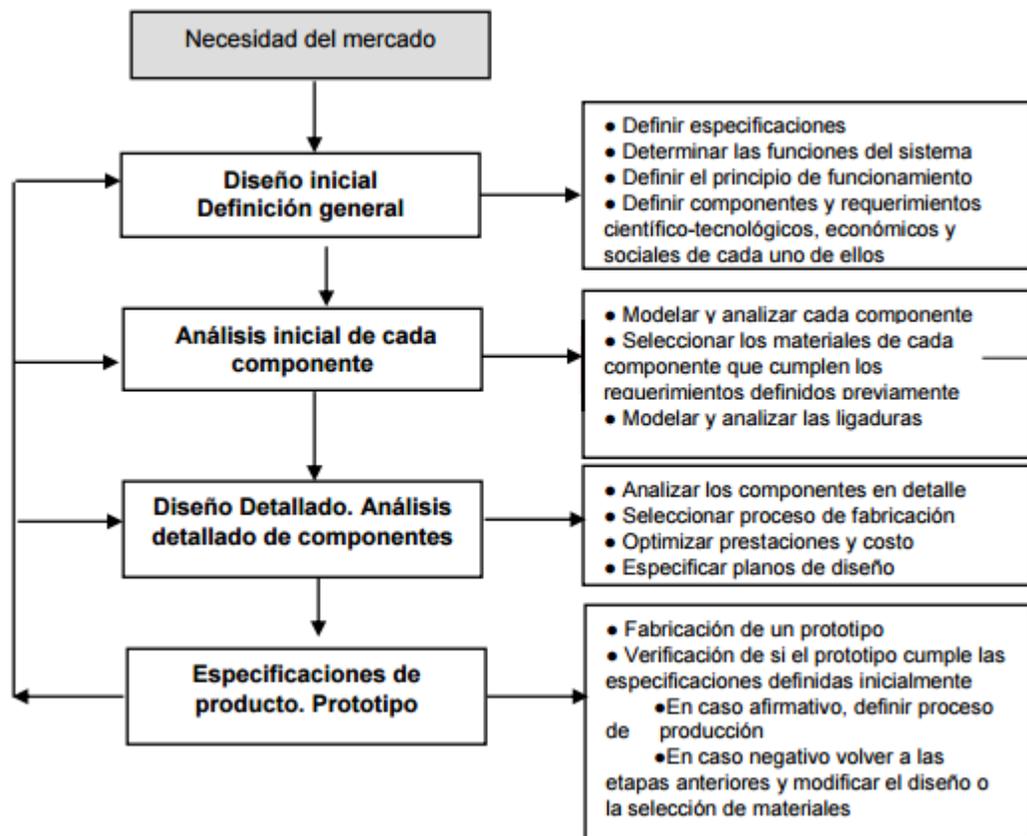


Figura 13 Proceso del Diseño de un producto. [8]

Una parte fundamental en el diseño de piezas plásticas se encuentra en la función que deba realizar el producto. El diseño de productos plásticos es más complicado y

consume más tiempo que el de los metales. Existen varias razones, las cuales se enfocan en los procesos de transformación que se emplean y la naturaleza misma de los materiales plásticos.

Debido a que el diseño de un producto plástico surge como una necesidad o un requerimiento, se deben de examinar varias propiedades características en ambos extremos del intervalo del trabajo o servicio en el cual se pretende poner a funcionar el producto.

Hay cuatro elementos principales para que un producto plástico tenga éxito:

- Selección del material.
- Diseño de la pieza.
- Herramientas.
- Proceso de transformación. [28]

Para evitar fallas en el diseño, es necesario conocer todo lo posible acerca de las condiciones a las que se expondrá el producto durante su vida útil. La mayor parte de las fallas se origina condiciones que no se previnieron en el diseño. Por tal motivo, el primer lineamiento consiste en establecer los parámetros o requerimientos de diseño, considerando las condiciones a las que el producto estará expuesto.

Un método útil para recordar todas las condiciones de operación de un producto es a través de una lista de comprobación. Esta lista puede estar adaptada según las necesidades del producto y en ella se puede describir la información necesaria para establecer todas las condiciones que pueden o no presentarse en el producto. La lista puede contener datos como limitaciones físicas, requerimientos mecánicos, térmicos, eléctricos, apariencia, ambientales, ensambles y componentes, pruebas, etc. El formato de la lista de comprobación se muestra a continuación en la tabla 7.

Tabla 7 Lista de comprobación para el diseño de productos.

Lista de comprobación del diseño de productos.			
Nombre de la pieza:			
Descripción de la aplicación:			
A. Limitaciones físicas.			
Longitud:	Ancho:	Alto:	Densidad:
Peso:	Piezas coincidentes:	Ajustes coincidentes:	
B. Requerimientos mecánicos.			
Vida funcional:		Vida no funcional (estática):	Vida de anaquel:
Resistencia a la tensión:	-10 °C	25 °C	80 °C
Resistencia a la flexión:	-10 °C	25 °C	80 °C
Resistencia a la Compresión:	-10 °C	25 °C	80 °C
Rigidez:		Dureza:	
Escribimiento plástico máximo permisible:		Deflexión:	
Resistencia al impacto:	-10 °C	25 °C	80 °C
Resistencia al esfuerzo cortante:		Resistencia a la abrasión:	
C. Limitaciones ambientales.			
Resistencia química continua:	Intermitente:	Ocasional:	
Temperatura máxima + duración:	Temperatura mínima + duración:	En operación + duración:	
Luz ultravioleta:	Inmersión en agua:	Transmisión de humedad de vapor:	
Radiación:	Inflamabilidad:		
D. Requerimientos eléctricos.			
Resistividad en volumen:	Resistividad superficial:	Constante dieléctrica:	
Factor de disipación:	Pérdida dieléctrica:	Resistencia al arco:	
Conductancia eléctrica:	Transparencia a microondas:	Escudo EMI/RFI:	

E. Requerimientos de apariencia.		
Acabado superficial interior (SPI#):	Acabado superficial exterior (SPI#):	Textura:
Color:	Translucidez:	Transparencia:
F. Requerimientos de ensamblaje.		
Piezas por ensamblar a, método preparado para (tornillos, solventes, etc.) y tipo (permanente, servicial, ocasionalmente, etc.)		
1.	2.	
3.	4.	
G. Listado de pruebas realizadas a este producto.		
1.	2.	3.
4.	5.	6.
7.	8.	9.
H. Condiciones adicionales.		

Fuente: [29]

Para el diseño de un producto plástico se debe considerar que característica o propiedad es la que tiene mayor probabilidad de presentar una falla. No todas las condiciones encontradas ocurrirán durante su uso, es por ello que algunas ocasiones debe de sacrificarse un tipo de desempeño por otro.

Es importante no solo tomar en cuenta las condiciones de funcionalidad, operación y estructurales cuando se pretende diseñar un producto plástico, existen diferentes factores que muchas veces son olvidados por los diseñadores. Estos puntos son

críticos cuando se pretende conocer las diferentes fallas que pueden presentarse a lo largo de la vida de un producto, las consideraciones a conocer son:

- Efectos del tiempo.
 - Vida funcional (el tiempo o número de ciclos que puede resistir).
 - Vida estática (lapso que podría funcionar después de haber sido usado por primera vez).
 - Vida de anaquel (el periodo que puede permanecer sin ser usado y mantener su función cuando se le use).
- Efectos ambientales.
 - Efectos de la temperatura.
 - Debilitamiento del material a altas temperaturas.
 - Impacto a bajas temperaturas.
 - Fallas por flujo plástico.
 - Exposición a la luz ultravioleta.
 - Humedad.
 - Corrosión.
 - Resistencia química.
 - Radiación. [29]

1.3. Empleo de un material plástico como propuesta para el diseño del reactor aerobio.

Como se analizó en el capítulo 1.1.7. Factores a considerar para el diseño de un compostero de tambor rotatorio, se hace mención que para elaborar el reactor aerobio se debe de emplear un material que permita soportar las condiciones de operación y funcionamiento mencionadas en ese capítulo. El empleo de un material plástico en el diseño del reactor permitirá:

- Cubrir en su totalidad, un mayor número de requerimientos deseados.
- Analizar el comportamiento del producto previo a su lanzamiento.
- Realizar un diseño innovador en el campo de los composteros.
- Realizar cambios y ajustes en el diseño con mayor facilidad.
- Sustituir materiales como la madera o el metal.
- Reducir costos.
- Poder ser reciclado en cualquier etapa del ciclo de vida del producto.

Por tal motivo, a continuación se describen las propiedades así como las características por los cuales se propone el empleo de polietileno de alta densidad como la materia prima para el diseño del reactor aerobio, como alternativa ante los requerimientos deseados.

1.3.1. Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno (PE) es el polímero de mayor producción en el mundo, es tal vez el polímero más común. Su elevada rigidez, ductibilidad, excelente resistencia química, elevada resistencia a la abrasión y al impacto, combinados con la facilidad con la que puede procesarse, hace que todos los diferentes grados de densidad del polietileno sean una elección atractiva para una gran variedad de aplicaciones. [30]

El polietileno de alta densidad, mejor conocido en el mercado por sus nombre en inglés como high-density polyethylene (HDPE), es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno cuya fórmula se representa $(-CH_2-CH_2-)_n$. En la codificación mundial está clasificado con el número 2.



El HDPE es un material parcialmente amorfo y parcialmente cristalino, que abarca un intervalo de densidades ente 0.941 a 0.967 g/cm³. Un aumento de la densidad en el material significa:

- más rigidez.
- resistencia química, al impacto y a la tensión.
- menor brillo, elongación y resistencia al rasgado.
- resistencia a las bajas temperaturas.
- no se rompe.
- es impermeable.
- no es toxico.

1.3.1.1. Propiedades del HDPE

Las propiedades del polietileno de alta densidad se rigen por sus diferentes rangos de densidad y por su peso molecular. A medida que se aumenta la densidad, se aumenta su resistencia a la tensión, rigidez, resistencia a la deformación, impermeabilidad, resistencia a la abrasión y su dureza. Por otra parte si se disminuye su densidad se incrementa la resistencia al impacto, la flexibilidad y la resistencia al resquebrajamiento por la intemperie.

La temperatura de transición vítrea T_g del polietileno está muy por debajo de la temperatura ambiente, esto le proporciona una naturaleza elástica. Debido a que el HDPE es elástico, su módulo de deformación es más importante que su módulo de flexión en la determinación de la resistencia durante el servicio de una parte hecha con HDPE que deba soportar una carga de trabajo por un periodo prolongado de tiempo (de más de 1 hora). El no considerar la deformación dentro del diseño de las partes

Environmental Stress-Cracking Resistance (73°F)	0.500 a 1130	hr	ASTM D1693
Viscosidad (73°F)	157.8 a 398.3	ml/g	ISO 1628
Contenido de carbon black	1.9 a 2.7	%	ASTM D1603
Propiedades mecánicas	Valor Típico	Unidad	Método de Ensayo
Módulo de tensión			
73°F	39000 a 186000	psi	ASTM D638
73°F	121000 a 197000	psi	ISO 527-2
Tensión			
Punto de Fluencia, 73°F	2450 a 4600	psi	ASTM D638
Punto de Fluencia, 73°F	3010 a 4580	psi	ISO 527-2
Rotura, 73°F	2020 a 5620	psi	ASTM D638
Rotura, 73°F	2100 a 5240	psi	ISO 527-2
Máximo, 73°F	3470 a 4790	psi	ASTM D638
Elongación			
Punto de Fluencia, 73°F	1.0 a 27	%	ASTM D638
Punto de Fluencia, 73°F	2.5 a 17	%	ISO 527-2
Rotura, 73°F	4.0 a 1000	%	ASTM D638
Rotura, 73°F	6.0 a 1000	%	ISO 527-2
Módulo de termodeformación plástica por tracción			ISO 899-1
1 hr	97900	psi	
1000 hr	42400	psi	
Módulo de Flexión aparente (73°F)	86600 a 171000	psi	ASTM D747
Módulo de Flexión			
73°F	101000 a 251000	psi	ASTM D790
73°F	113000 a 234000	psi	ISO 178
Resistencia a la flexión			
73°F	2680 a 6130	psi	ASTM D790
73°F	2750 a 4640	psi	ISO 178
Punto de Fluencia, 73°F	3790 a 4630	psi	ASTM D790
Coeficiente de fricción	0.20 a 0.25		ASTM D1894

Impacto	Valor Típico	Unidad	Método de Ensayo
Fuerza de Impacto Charpy			
73°F	1.0 a 13	ft·lb/in ²	ISO 179
Resistencia al impacto Charpy sin entalle (73°F)			
	0.95 a 11	ft·lb/in ²	ISO 179
Resistencia al Impacto Izod con ranura			
73°F	0.019 a 9.5	ft·lb/in	ASTM D256
73°F	0.90 a 15	ft·lb/in ²	ISO 180
Impacto Izod sin entalle (73°F)			
	0.13 a 20	ft·lb/in	ASTM D256
Resistencia al impacto			
73°F	19.2 a 164	ft·lb/in ²	ASTM D1822
73°F	28.0	ft·lb/in ²	ISO 8256
Dureza	Valor Típico	Unidad	Método de Ensayo
Dureza Rockwell (73°F)			
	45 a 60		ASTM D785
Dureza			
73°F	59 a 71		ASTM D2240
73°F	57 a 70		ISO 868
Dureza a la penetración de bola			
	5650 a 8480	psi	ISO 2039-1
Propiedades térmicas	Valor Típico	Unidad	Método de Ensayo
Temperatura de deflexión bajo carga			
66 psi, No recocido	146 a 180	°F	ASTM D648
264 psi, No recocido	98.0 a 178	°F	ASTM D648
Temperatura de fragilización			
--	-116 a -75.7	°F	ASTM D746
--	-94.9 a -76.0	°F	ISO 974
Temperatura de Ablandamiento Vicat			
--	249 a 266	°F	ASTM D1525
--	157 a 265	°F	ISO 306
Temperatura de Fusión			
--	262 a 275	°F	DSC, ASTM D3418
--	265 a 277	°F	ISO 11357-3
--	262 a 276	°F	ISO 3146

Temperatura máxima de cristalización

(calorimetría de barrido diferencial, DSC)

--	235 a 270	°F	ASTM D3418
--	268 a 270	°F	ISO 3146

Coefficiente de dilatación térmica lineal
(CLTE) - Flujo

3.9E-5 a 1.1E-4 in/in/°F ASTM D696

Calor específico (73°F) 0.440 a 0.550 Btu/lb/°F ASTM C351

Conductividad térmica (73°F) 3.3 Btu·in/hr/ft²/°F ASTM C177

Propiedades ópticas **Valor Típico** **Unidad** **Método de Ensayo**

Brillo 5 a 120 ASTM D2457

Opacidad 3.0 a 82 % ASTM D1003

Índice de amarilleo 0.0 a 4.0 YI ASTM D1925

Parámetros de proceso **Valor Típico** **Unidad**

Temperatura de secado 174 a 185 °F

Tiempo de secado 1.9 a 3.1 hr

Humedad máx. recomendada 0.030 a 0.21 %

Temperatura de la parte trasera 364 a 452 °F

Temperatura de la parte central 363 a 478 °F

Temperatura de la parte delantera 436 a 478 °F

Temperatura de la boquilla 453 a 475 °F

Temp. de procesamiento (fusión) 356 a 484 °F

Temperatura del molde 65.2 a 116 °F

Presión de inyección 11100 a 12500 psi

Contrapresión 20.0 a 1120 psi

Velocidad del husillo 53 a 56 rpm

Resistencia química **Valor Típico** **Método de Ensayo**

Acido débil No es atacado D543

Acido fuerte Mínimamente atacado D543

Base débil No es atacado D543

Base fuerte No es atacado D543

Alcoholes No es atacado D543

1.3.1.2. Características del HDPE como propuesta para el diseño del reactor aerobio.

El polietileno de alta densidad es un polímero que se caracteriza por:

- Excelente resistencia térmica.
- Elevada resistencia química.
- Muy buena resistencia al impacto.
- No absorbe humedad.
- Es flexible, aún a bajas temperaturas, tenaz y muy ligero.
- Resiste insectos, putrefacción y microorganismos.
- No crea emisiones nocivas durante su producción o durante su uso.
- Resistente a la mayoría de los disolventes ordinarios.
- No es atacado por los ácidos. [33]

Cuenta con una rigidez adecuada para aplicaciones estructurales que soportan cargas cuando la deformación plástica se controla correctamente en la parte diseñada al aumentar el peso molecular del HDPE.

Actúa como una barrera efectiva contra la humedad impidiendo su paso y permanece sólido a temperatura ambiente, es por eso que se emplea como envoltura en un gran número de alimentos, aunque está limitado a aquellas aplicaciones en el empaquetado de alimentos que no requieren una barrera contra el oxígeno.

El HDPE tiene una muy buena resistencia química (para conocer más sobre la gama de agentes químicos que soporta el HDPE revisar [34]), es por eso que se emplea en la elaboración de todo tipo de contenedores o envases para almacenar productos químicos caseros e industriales, botellas para líquidos de limpieza personal y del hogar, cubetas para pinturas, aceites, grasas, etc.

Este material cuenta con una buena estabilidad térmica en un intervalo de -40 °C a 316 °C. Cuando se pretende emplear el HDPE en alguna aplicación que este en contacto con temperaturas elevadas, se debe considerar usar protección frente a la oxidación térmica por seguridad.

La oxidación térmica del polietileno puede reducirse o suprimirse durante algún tiempo incorporándole antioxidantes. La oxidación causada por los rayos UV produce decoloración, deterioro en las propiedades físicas y pérdida de resistencia mecánica, que conduce al agrietamiento y ruptura del producto elaborado con HDPE. Es un problema más grave que la oxidación térmica, ya que la protección no se consigue con tanta facilidad. Los antioxidantes normales son de poca utilidad y la protección más satisfactoria se obtiene incorporando negro de humo. Conviene insistir en que el polietileno no protegido no sirve para usos en los cuales estará expuesto a la luz solar.
[35], [36]

1.4. Uso del APQP para administrar las actividades relacionadas al proyecto del diseño del reactor aerobio.

Con el paso de los años y el constante avance de la tecnología es indispensable buscar las mejores alternativas para desarrollar proyectos garantizando el éxito de los productos lanzados.

Fabricar un plan que soporte y administre el desarrollo de un producto y que satisfaga a los clientes es una parte fundamental del éxito obtenido por grandes empresas hoy en día. La administración del desarrollo de productos permite a las organizaciones comunicar fácilmente los requerimientos de un producto a los proveedores y a los clientes.

Existe una metodología estructurada para desarrollar productos y/o servicios conocida como Planeación Avanzada de la Calidad de un Producto, cuya finalidad es asegurar el cumplimiento de los requisitos del cliente, involucrando a los proveedores y al cliente final.

El ciclo de la planeación de la calidad de un producto es la descripción típica de un programa que cuenta con diferentes fases en secuencia representadas a través de un esquema de tiempo planeado para ejecutar las funciones descritas como se muestra en la figura 14.



Figura 14 Ciclo de la planeación de la calidad de un producto. [37]

El propósito de un ciclo de planeación de la calidad de un producto es enfatizar en:

- La planeación anticipada a través de la validación del producto y del proceso.
- La implementación de evaluar los resultados para la determinación de clientes satisfechos y la búsqueda del mejoramiento continuo.

El mostrar la planeación de la calidad de un producto como un ciclo, ilustra la búsqueda permanente por la planeación y el mejoramiento continuo, que solo puede lograrse tomando la experiencia de un programa como lo puede ser la planeación avanzada de la calidad de un producto.

1.4.1. Planeación avanzada de la calidad de un producto (APQP).

La planeación de la calidad de un producto (por su nombre en inglés Advanced Product Quality Planning) es un método estructurado para definir y establecer los pasos necesarios para asegurar que un producto satisface al cliente. [37]

El objetivo de un planeación de calidad de un producto es facilitar la comunicación con todos los involucrados para lograr un diseño y proceso sin fallas, incrementando la productividad y manteniendo la calidad esperada por el cliente.

En la actualidad la planeación de la calidad, con relación a la planeación del producto y al diseño de nuevos productos, es parte de los requisitos que se exigen en un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) tipo ISO-9001:2000. La aplicación de la APQP tiene alto impacto al ampliar la habilidad de las organizaciones para desarrollar y producir productos y sistemas que satisfagan las necesidades de los clientes. Por lo tanto, podría ser redituable en las empresas pequeñas y medianas, sin necesidad de buscar la implantación de un SGC del tipo ISO-9001:2000. [38], [39]

La planeación de la calidad es lo mismo que desarrollo o diseño de productos y procesos. Antes de que inicie la producción y durante las fases de diseño del producto y proceso, se deben formalizar los planes para medir, alcanzar y controlar la calidad deseada del producto, toda organización requiere de tres procesos administrativos para mejorar: planeación de la calidad, control de calidad y mejora de la calidad. [40]

Las prácticas de trabajo, herramientas y técnicas involucradas están descritas en el manual del APQP y están enlistadas en una secuencia para hacer que se sigan fácilmente.

Para llevar a cabo el APQP se debe de establecer un equipo multifuncional formado por representantes de ingeniería, manufactura, materiales, compras, calidad, recursos humanos, ventas, proveedores y clientes.

1.4.1.1. Fases del APQP

El manual de APQP establece que los pasos y/o etapas de la planeación de la calidad del producto se dividen en 5 fases, estas son:

- Fase 1. Planear y definir el programa. Esta fase describe como determinar las necesidades del cliente y sus expectativas, con la idea de que sean la base para definir los objetivos del diseño. Aquí será clave apoyarse en metodologías para escuchar la voz del cliente en forma adecuada.
- Fase 2. Diseño y desarrollo del producto. En esta etapa se establecen las características del producto y se desarrolla casi en su forma final. Asegurándose que se cumple con los requerimientos y expectativas del cliente (objetivos de diseño).
- Fase 3. Diseño y desarrollo del proceso. Aquí se desarrolla un proceso que sea capaz de hacer con calidad el producto diseñado, junto con sus planes de control correspondientes.
- Fase 4. Validación del producto y proceso. Esta etapa se centra en validar el producto y el proceso de manufactura, a través de corridas de producción de prueba y todas las actividades relacionadas. Aquí se pueden detectar requerimientos adicionales, que deben ser incorporados antes de iniciar producción.
- Fase 5. Retroalimentación, evaluación y acción correctiva. Aquí se evalúan todos los resultados respecto a causas comunes y especiales de variación, con la idea de reducir la variación. En esta etapa se conoce la efectividad de la aplicación de la planeación de la calidad del producto.

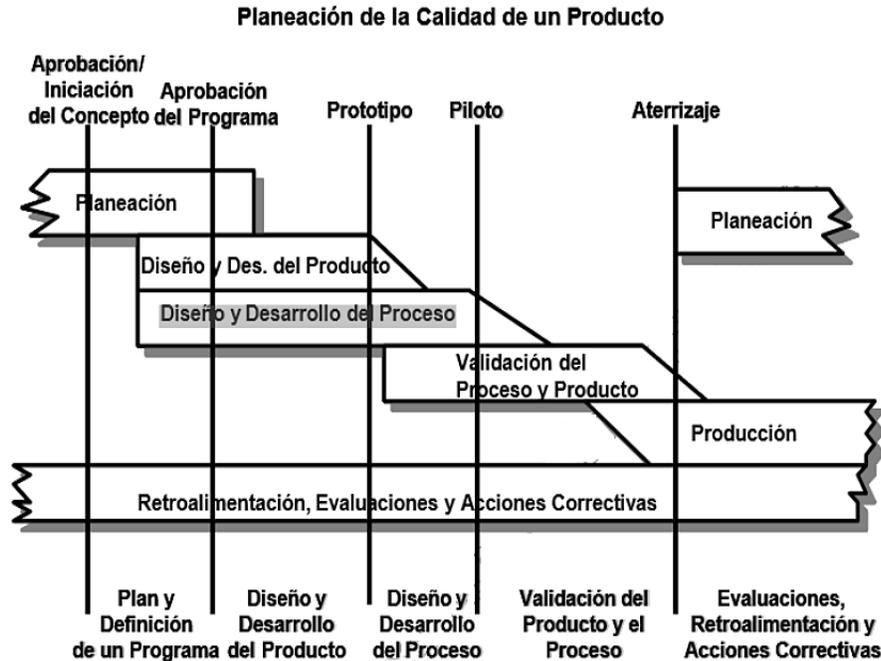


Figura 15 Fases del APQP (Manual del APQP). [37]

En el manual de APQP se define una serie de entradas y salidas para cada fase. En las figuras 15 y 16 se muestran los esquemas que ilustran las fases 1 y 2 debido a que este trabajo de investigación solo abarcara hasta la fase del diseño. Para mayores detalles sobre APQP se puede consultar el propio manual.

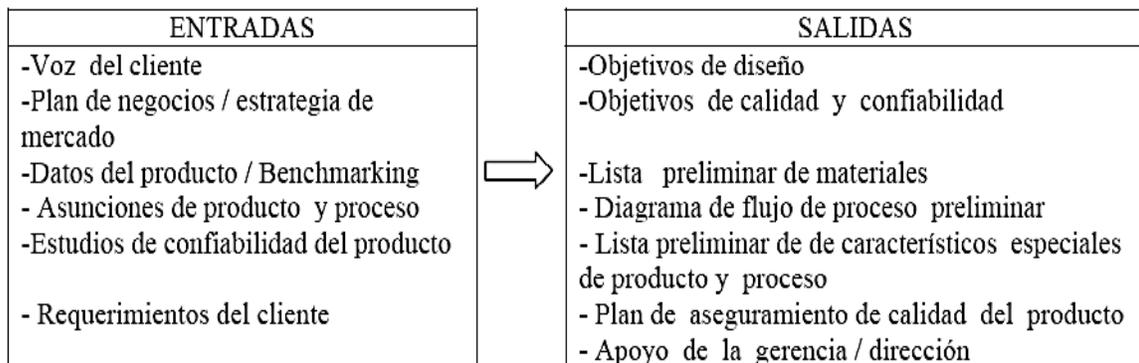


Figura 16 Entradas y salidas de la fase 1 plan y definición del programa (manual APQP).

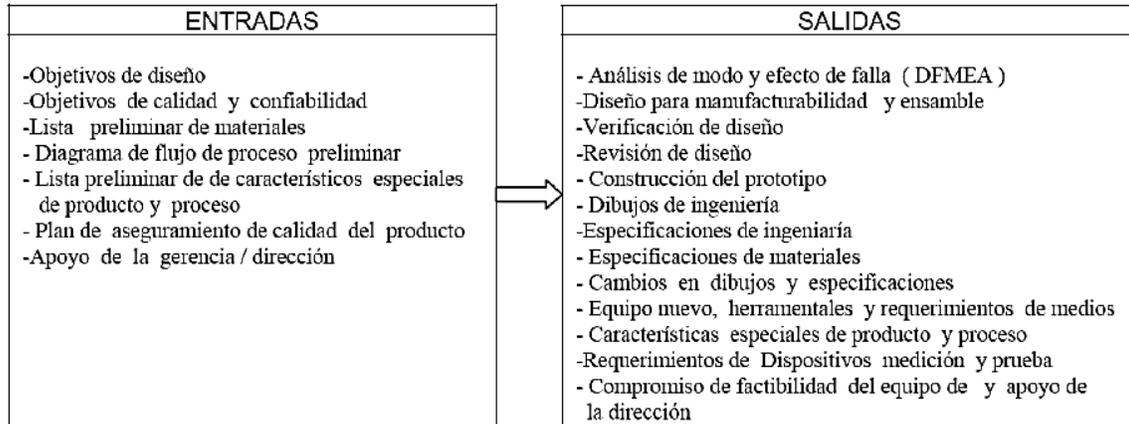


Figura 17 Entradas y salidas de la fase 2 diseño y desarrollo del producto (manual APQP).

1.4.1.2. Etapas del APQP

En la tabla 9 se muestra de manera general las etapas en las que se divide la planeación de la calidad del producto, junto con las actividades a realizar.

Tabla 9 Etapas del APQP

PASOS / ETAPAS	ACTIVIDADES A REALIZAR
Establecer el proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los proyectos que son requeridos para cumplir las estrategias de la empresa. - Preparar la declaración de misión del proyecto y establecer los objetivos de calidad. - Establecer el equipo que llevara cabo el proyecto y definir sus responsabilidades.
Identificar los clientes.	<ul style="list-style-type: none"> - Clientes internos. - Identificar clientes externos e internos.
Descubrir las necesidades de los clientes.	<ul style="list-style-type: none"> - Colectar una lista de necesidades del cliente en su lenguaje. - Analizar y priorizar las necesidades del cliente. - Trasladar sus necesidades a nuestro lenguaje. - Establecer unidades de medida.

Desarrollar el producto	<ul style="list-style-type: none">- Determinar las características y objetivos del producto que proveerán el beneficio óptimo para el cliente.- Identificar lo necesario para que el diseño pueda ser entregado sin deficiencias.- Agrupar juntas las necesidades relativas al cliente.- Seleccionar objetivos y características generales del producto.- Desarrollar a detalle objetivos y características del producto.- Optimizar objetivos y características del producto.- Fijar y publicar el diseño final del producto.
Desarrollar el proceso	<ul style="list-style-type: none">- Revisión de los objetivos del producto.- Identificar las condiciones de operación.- Recolectar información relativa a procesos alternos.- Seleccionar el proceso de diseño general.- Identificar objetivos y características de proceso.- Identificación detallada de objetivos y características de proceso.- Diseño de proceso para factores críticos y errores humanos.- Optimizar objetivos y características del proceso.- Establecer la capacidad del proceso.- Fijar y publicar objetivos y características del proceso final.
Desarrollar los controles y transferir a las operaciones	<ul style="list-style-type: none">- Identificar los controles necesarios.- Diseñar ciclo de retroalimentación.- Optimizar el auto control y la auto inspección.- Establecer auditoria de evaluación.- Demostrar capacidad de proceso y habilidad de control.- Plan para transferir a las operaciones, implementar plan y validar transferencia.

Fuente: [41]



CAPITULO II: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II:

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Plan y definición del proyecto para la elaboración del reactor aerobio.

En la fase de planeación se definen a grandes rasgos las ideas que van a orientar y condicionar el resto de niveles del desarrollo de un producto. En esta etapa se concretan los objetivos del proyecto para determinar las prioridades de las necesidades con las que se van a generar los requerimientos para el diseño del producto con la finalidad de definir y establecer el proyecto.

Con la información obtenida en el capítulo 1 relacionada el compostaje, se describirá el producto a desarrollar, así su función y las características que este necesita para establecer los requerimientos con los cuales se obtendrán las especificaciones para generar un concepto previo al diseño del reactor aerobio.

2.1.1. Establecimiento del proyecto

Este proyecto surgió por la iniciativa desarrollar un sistema que permita reducir, y a su vez reutilizar, los residuos orgánicos generados especialmente desde el lugar de origen como lo es el hogar, las escuelas, los restaurantes, etc. como medio para la solución ante la gran generación de estos residuos que se produce diariamente y que está en constante aumento, con relación al constante aumento de las poblaciones mexicanas. Debido a que el compostaje es una alternativa para la gestión de los residuos orgánicos, se estableció la iniciativa de desarrollar un compostero que permita transformar esos residuos en un producto útil con la posibilidad de ser utilizado cualquiera de los lugares antes mencionados de forma fácil para cualquier persona.

La idea de la realización de este proyecto surge a través de la elaboración de un prototipo (como se muestra en la imagen 18) hecho con un bote de basura y una estructura elaborada con tramos de metal cortados y soldados, cuyo principal y único objetivo era lograr obtener composta (tomando como referencia el sistema de compostaje con tambor rotatorio) de forma fácil y sin la necesidad de ocupar grandes espacios y enormes volúmenes de material a compostar.

El principal motivo de emplear este sistema de compostaje para la elaboración del prototipo fue debido a que precisamente este no requiere de grandes espacios para la fabricación de composta, permitiendo ser colocado en cualquier lugar.



Figura 18 Prototipo de compostero de tambor rotatorio.

El prototipo fue puesto a prueba y funciono satisfactoriamente, pero el compostero solo era eso un prototipo. Por ello, se propuso diseñar y desarrollar este producto pero ahora de forma más formal y dándole una visión de un producto más real.

La elaboración del compostero permitirá emplear los conocimientos puestos a prueba y los resultados obtenidos del prototipo agregando un análisis completo de los puntos clave relacionados al proceso del compostaje y la realización de un análisis del mercado para generar y aplicar las mejoras correspondientes al mismo, con la única y principal finalidad de generar un producto que además de cumplir con los requerimientos establecidos sea competitivo en el mercado para su futuro lanzamiento y comercialización.

Debido a que son muy extensos y complejos los puntos relacionados al lanzamiento de un producto, este proyecto tiene como alcance solo la fase del diseño del mismo, para lo cual se generara como un prototipo o modelo virtual de la propuesta obtenida a lo largo del proyecto.

2.1.2. Misión del proyecto.

Antes de iniciar el proyecto del diseño y desarrollo del producto, a continuación se especifica la necesidad del mercado al que ira dirigido el producto. Por ello en la siguiente tabla se declara la misión del proyecto.

Tabla 10 Declaración de la misión del proyecto.

Proyecto de diseño, desarrollo y validación virtual de un reactor aerobio.	
Nombre del producto	Reactor aerobio.
Descripción del producto	Compostero tipo tambor rotatorio para el tratamiento de los residuos orgánicos para la fabricación de composta.
Propuesta de valor.	<ul style="list-style-type: none"> • Compostero elaborado con plástico. • Adaptación de aspas en el eje. • Generar movimiento rotacional del compostero por medio de un sistema de engranes.
Mercado primario	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier persona en general. • Organismos gubernamentales. • Organismos académicos. • Organizaciones ambientalistas.
Mercados secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Restaurantes, hogares, escuelas.
Postulados	<ul style="list-style-type: none"> • Producir composta de manera fácil. • Ser utilizado por cualquier tipo de usuario. • Ocupar el menor espacio y que pueda ser colocado en cualquier lugar. • Controlar las condiciones a las que estará expuesto durante el proceso de fabricación de composta.
Personas interesadas	Población en general.

2.1.3. Identificación del Cliente

Se pretende que el reactor aerobio sea distribuido en todos los lugares donde se originan los residuos orgánicos, lo cual hace que cualquier persona pueda adquirirlo. Para esto existen dos formas de ver al cliente potencial.

2.1.3.1. Programas u organismos ambientales

Comercializar el producto a través del apoyo de organismos y programas, es uno de los principales medios para la difusión de este producto, puesto a que ellos tiene mayor facilidad para dar a conocer y aplicar regulaciones y normas relacionados a aspectos ambientales.

Para este tipo de organizaciones no será complicado dar a conocer el proceso del compostaje (así como todo lo que este involucra) y fomentarlo como alternativa para la reducción y utilización de los residuos orgánicos.

El fomento por el compostaje es un punto crucial para el éxito del compostero, por lo cual se puede hacer énfasis en los trabajos que algunas organizaciones ya realizaron respecto al cuidado ambiental y que están relacionados con el tema.

2.1.3.2. Público en general

Comercialización directa con la gente considerando que el usuario final puede ser cualquier persona, no se debe olvidar que el compostero tiene por objetivo ser usado en los lugares donde se origina el desperdicio, esto significa que se deban de usar todos los medios posibles para dar a conocer el producto teniendo en cuenta todas las ventajas que tiene como consecuencia el uso del mismo.

2.1.4. Requerimientos del producto.

De forma general se requiere un producto capaz de hacer composta de forma fácil para cualquier persona, sin la necesidad de ocupar grandes espacios o altos volúmenes de material a compostar, para lo cual se necesita un conjunto de componentes capaces de desempeñar dicha función.

El sistema de compostaje que cumple con esos 3 criterios es el principio del compostaje con tambor rotatorio, por lo que este es el sistema que se tomara como referencia para el diseño.

Algunas de las expectativas sobre las características del producto fueron obtenidas por medio del prototipo mencionado anteriormente y otras se tuvieron que extraer del análisis teórico visto en el capítulo 1 de este trabajo de investigación.

El compostero funcionara de tal forma que los desperdicios generados en el hogar, escuelas, oficinas, restaurantes, etc., sean depositados en un contenedor, el cual se encontrara sobre una base que permitirá su mezclado y recolección. En un lapso de tiempo y tomando en cuenta ciertos factores (como se menciona en el capítulo 1.1) se obtendrá la composta que posteriormente puede ser usada como abono.

Debido a cada uno de los pasos involucrados en el proceso del compostaje, a continuación se mencionan cada uno de los requerimientos que se pretenden en el compostero:

- Permitir la fácil producción de composta (fácil de usar).
- Diseñar un compostero que innovador con respecto a los existentes en el mercado.
- Contar con dimensiones adecuadas para su uso en espacios no necesariamente amplios como en casas, escuelas, restaurantes, etc.
- Fácil instalación, uso y mantenimiento.
- Soportar las condiciones de operación.
- Resistente a:
 - Condiciones involucradas en el proceso del compostaje.

- Temperatura.
- Humedad.
- Microorganismos.
- Materiales a compostar.
- Ataques químicos.
- Condiciones ambientales.
 - Lluvia.
 - Luz ultravioleta.
 - Polvo.
 - Exposición a altas y bajas temperaturas.
- Facilitar el control de los parámetros involucrados a lo largo del proceso del compostaje.
- Soportar cargas constantes durante lapsos prolongados de tiempo.
- Aguantar cualquier tipo de golpes.
- Fácil de limpiar sin almacenar malos olores.
- Permitir el depósito del material a compostar y la recolección la composta fácilmente.
- Durable.
- Seguro.

2.1.5. Clasificación de los requerimientos del cliente.

Con referencia a la lista anterior, se clasificarán los requerimientos separándolos de acuerdo a su semejanza o interrelación, para posteriormente separarlos en requerimientos obligatorios y finalmente los requerimientos deseables.

2.1.5.1. Primer nivel de clasificación.

Requerimientos Funcionales

- Permitir la fácil producción de composta.
- Mezclar y oxigenar el material a compostar.
- Soportar las condiciones de operación durante el proceso de fabricación de la composta.
- Controlar el proceso del compostaje.
- Recolectar la composta fácilmente.
- Su instalación, uso y mantenimiento será fácil y seguro.
- Cualquier persona puede usarlo de forma segura.

Requerimientos de Apariencia

- Gama de colores atractiva.
- No se debe decolorar.
- De fácil limpieza.

Requerimientos de Diseño

- Proponer un conjunto de componentes que permitan producir composta tomando como referencia el principio de funcionalidad del compostero de tambor rotatorio.
- Diseñar componentes que faciliten y permitan llevar a cabo los requerimientos funcionales.
- Dimensiones adecuadas del compostero y sus componentes.
- Emplear materiales, accesorios y herramientas fáciles de encontrar en el mercado.

- Cuerpo del compostero.
 - Permitir el fácil depósito y recolección del material a compostar.
 - Evitar que se caiga o escape el material a compostar.
 - Permitir la fácil entrada y salida de oxígeno.
 - Facilitar el mezclado y la oxigenación.
- Eje
 - Ayudar en el mezclado y la aireación del material a compostar.
 - Soportar las condiciones a las que estará expuesto el material a compostar.
- Estructura
 - Soportar al cuerpo del compostero, el material a compostar y los componentes.
 - Brindar un sistema para dar el giro del cuerpo y las aspas para mezclar el material.
 - Girar el cuerpo y las aspas sin mucho esfuerzo.
 - Permitir recolectar la composta sin que se caiga.
 - Brindarle movilidad al compostero para su traslado y colocación.

Requerimientos de Resistencia

- Resistente a la exposición y contacto con temperaturas entre los -5 y 70 °C en periodos prolongados de tiempo.
- Resistente al medio ambiente.
 - Deformación a la exposición de temperaturas elevadas.
 - Ruptura o desgaste a bajas temperaturas.
 - Degradación por causa de la luz ultravioleta.
 - Resistencia a la exposición con polvo o lluvia.
- Resistente a la humedad.
- Resistente a los golpes.
- Resistente a cargas constantes.
- Resistente a la degradación causada por microorganismos.
- Resistencia al contacto con sustancias y componentes químicos.

2.1.5.2. Segundo nivel de clasificación.

Requerimientos obligatorios.

- Usar como referencia la norma ambiental aplicada en el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 para el diseño del reactor aerobio.
- Permitir la fácil producción de composta
- Mezclar y oxigenar el material a compostar.
- Soportar las condiciones de operación durante el proceso de fabricación de la composta.
- Resistente a los factores que intervienen en el proceso del compostaje.
- Controlar el proceso del compostaje.
- Recolectar la composta fácilmente.
- De fácil instalación, uso y mantenimiento.
- Cualquier persona puede usarlo de forma segura.

Requerimientos deseables.

- Que sea ligera.
- Que sea durable.
- Que los tiempos de reparación y mantenimiento sean cortos.
- Que sea fácil de instalar y remover.
- Que no sea estorboso.

2.1.6. Traducción de los requerimientos del reactor aerobio.

Tabla 11 Traducción de los requerimientos.

Requerimiento del producto.	Traducción		Unidad de medida
Que sea funcional.	Capacidad de material a compostar.		L o Kg.
	Control de las características del proceso de compostaje	Control de las temperaturas.	°C.
		Control de la Humedad.	% de humedad.
	Tiempo para obtener la composta.		Días, Meses.
Soportar el peso de los componentes.	Peso máximo a soportar por el compostero.		Kg.
	Peso máximo de material a compostar.		Kg.
	Peso de componentes adicionales.		Kg.
	Peso máximo a soportar por la estructura.		Kg.
De fácil instalación y uso en espacios reducidos.	Piezas por ensamblar.		Cantidad de componentes.
	Modo de Sujeción.		
	Dimensiones de la estructura.	Largo	cm.
		Ancho	cm.
		Alto	cm.
		Espesor	cm.
	Peso de la estructura.		Kg.
	Dimensiones del Compostero cuerpo.	Largo	cm.
		Ancho	cm.
		Alto	cm.
		Espesor	cm.
Peso del compostero		Kg	
	Tiempo	Minutos, Horas	

	Ensamble de todas las piezas.	Ensamblados	Nº de piezas.
	Elementos de sujeción.		Nº de piezas.
De fácil mantenimiento.	Componentes de la estructura.		Número de piezas.
	Refacciones comerciales.		Tiempo de entrega.
	Centros de servicio.		Cercanía y cantidad de centros de servicio.
Que sea durable, seguro y resistente.	Materiales a utilizar.	Resistencia mecánica.	Deformación, desgaste, abrasión, fatiga, etc.
		Resistencia ambiental.	Degradación luz UV, lluvia, polvo.
		Resistencia a las condiciones de operación.	Temperatura, humedad, oxigenación, microorganismos, ataques químicos, etc.
	Vida funcional	Vida funcional	Años
		Vida estática	Años
		Vida de anaquel	Años
Factor de seguridad	Factor de seguridad elevado		Adimensional

2.1.7. Metas de diseño.

El establecimiento de metas de diseño se realizó tomando en consideración:

- Los requerimientos del producto.
- El análisis de la investigación teórica vista en el capítulo 1.
- El análisis del benchmarking de mercado y patentes.

Tabla 12 Metas de Diseño

DESCRIPCIÓN	META DE DISEÑO	
Factor de seguridad	2.5	
Capacidad del reactor aerobio.	150 L	
Carga a soportar por el compostero.	60 kg de material a compostar.	
Carga a máxima a soportar por la estructura.	Peso de los componentes del compostero más la carga máxima a soportar por el mismo, sumándole el factor de seguridad.	
Peso del compostero cuerpo.	Depende del material a emplear y las dimensiones.	
Peso de la estructura.	Depende del material a emplear y las dimensiones.	
Tipo de sujeción del compostero a la estructura.	Mediante el uso de un eje.	
Mezclado del material a compostar.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del cuerpo del compostero. • Incluir aspas en el eje central. 	
Transmisión de movimiento de rotación del compostero.	Adaptación de un sistema planetario de engranes.	
Dimensiones del compostero.	Ancho:	50 cm
	Largo:	80 cm
	Alto:	70 cm

Control del proceso del compostaje.	Instalación de medidores de temperatura, humedad, etc.
Entrada y salida de material.	Incluir puerta corrediza.
Recolección del material a compostar.	Plataforma de recolección adaptada en la estructura.
Resistencia a las condiciones del proceso del compostaje.	Depende del material a emplear.
Material a emplear.	Polietileno de Alta Densidad
Deformación máxima permitida.	1 mm
Rango de temperaturas a soportar por el compostero.	De -5 a 70 °C
Tiempo máximo de exposición a temperaturas elevadas.	De 1 a 6 semanas.
Tiempo máximo del proceso de compostaje.	1 a 3 meses.
Tiempo de vida estimado.	5 años
Tiempo de instalación estimada.	20 min.

2.2. Desarrollo del concepto del reactor aerobio.

En esta etapa se generara un concepto que involucre las características necesarias para llevar a cabo funciones requeridas, dichas funciones atienden a las necesidades expresadas las cuales son la razón de ser del reactor aerobio.

Un concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general está acompañado por un conjunto de especificaciones, un análisis de productos de la competencia. Puede representarse mediante un esquema, un croquis, un diagrama, un bosquejo, o un modelo tridimensional aproximado que podría convertirse en el futuro en un producto. La meta de la generación de conceptos es explorar en su totalidad el universo de conceptos de cualquier producto, que puedan abordar las necesidades requeridas. [42]

La metodología del diseño conceptual propone que la estructura o la forma debe seguir a la función que va a desempeñar el producto, tomando los requerimientos para convertirlos en un modelo que represente las funciones que debe realizar el producto. Una vez definido el modelo funcional se pretende generar la mayor cantidad de opciones que den solución a cada una de los requerimientos para dar paso a un concepto claro que sirva de base para el diseño de detalle.

Por tal motivo, el concepto de un producto será una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Una descripción concisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades requeridas. Un concepto como se muestra a continuación.

2.2.1. Definición funcional del modelo.

La definición funcional de un producto se representa como una caja negra que ayuda a indicar el funcionamiento del mismo. Por medio de flujos de material, energía, señales, entre otros, las líneas continuas finas denotan la transferencia y conversión de energía, las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema y las líneas discontinuas son las señales de flujos de control y retroalimentación dentro del sistema. Esta caja negra mostrada en la figura 19 representa la función general del reactor aerobio.

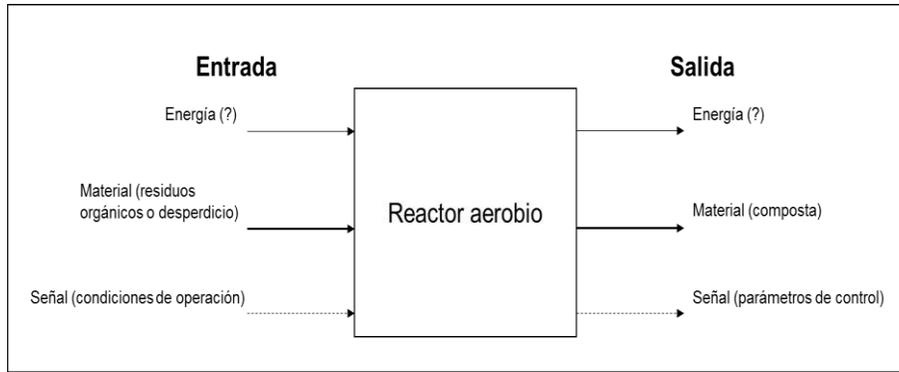


Figura 19 Diagrama funcional del reactor aerobio.

El siguiente paso en la descomposición funcional es dividir la caja negra en subfunciones para crear una descripción más específica de lo que los elementos del producto podrían hacer para implementar la función general del producto. El resultado final se muestra en la figura 20.

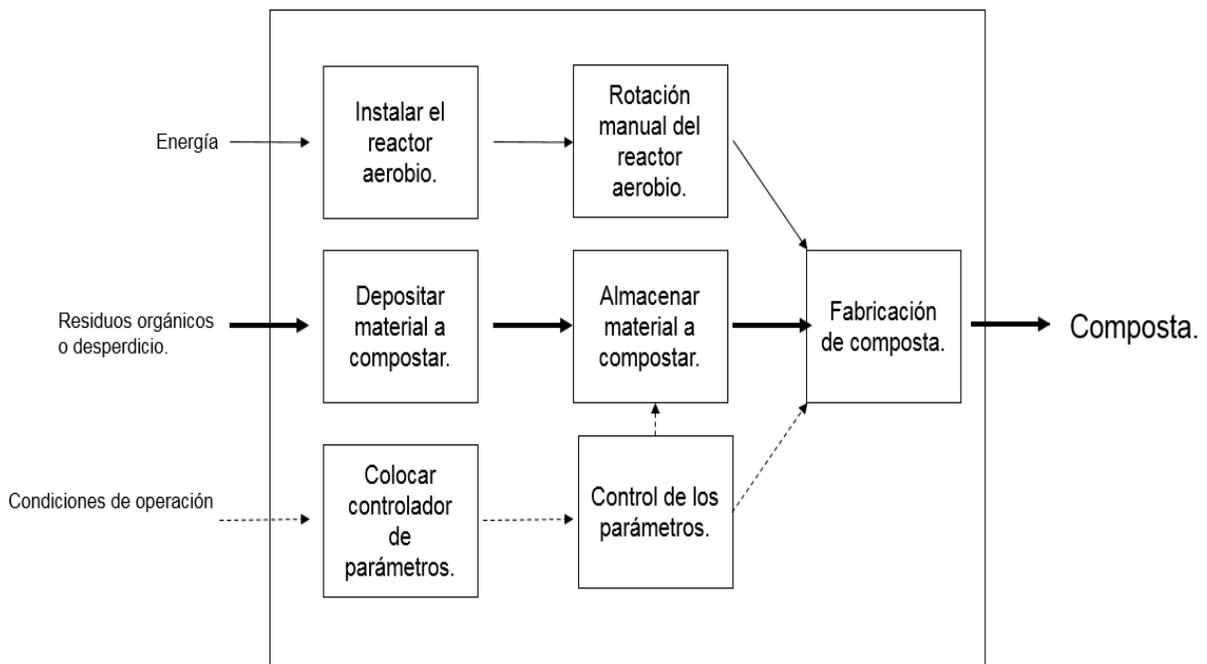


Figura 20 Descomposición funcional de reactor aerobio.

2.2.2. Benchmarking

El benchmarking, también llamado comparación referencial, es una de las prácticas de negocios más populares y efectivas, y no se limita a ningún área en especial ni a un cierto tamaño de empresa. [43]

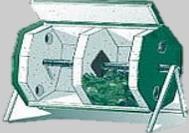
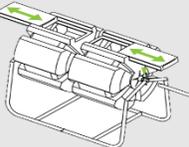
En resumen, esta herramienta permite hacer una comparación entre nuestro producto y la competencia con la intención de descubrir y analizar cuáles son sus estrategias ganadoras y de ser posible, aplicarlas en nuestro propio producto.

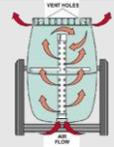
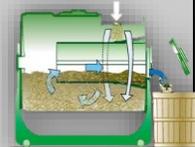
En este apartado se analizaron los productos existentes en el mercado extranjero, para lograr con esto el desarrollo de estrategias que permitan brindar un producto que satisfaga los requerimientos de manera que sobresalga y sea más competitivo que los composteros existentes en el mercado.

Después de una búsqueda se encontraron las siguientes alternativas, las cuales serán descritas detalladamente para su análisis en la tabla 10 que se muestra a continuación. Considerando que los siguientes puntos son necesarios para poder llevar a cabo este análisis de investigación.

- Imagen del producto a comparar.
- Marca y país de origen.
- Descripción del producto.
- Especificaciones.
- Precio.
- Principio de Funcionalidad

Tabla 13 Benchmarking de las alternativas existentes de compostero.

Producto	Marca / País de origen	Descripción	Especificaciones	Precio	principio de funcionalidad
	Woodland Dirtect. U.S.A.	Este compostero está equipado con un mango que hace girar horizontalmente a lo largo de un eje central sus dos recipientes fijados lado a lado en un solo tambor rotatorio aislado que conserva la generación de calor. Las aberturas proporcionan aireación independiente para cada cámara, acelerando el proceso.	Material del Compostero: Metal Galvanizado con espuma de poliuretano en su interior. Capacidad de compostaje: 70 gal, 264.98 l. Ancho: 44.5", 113 cm. Alto: 28", 71 cm. Largo: 50", 127 cm. Peso del compostero: 82 lb, 37.19 kg	\$489 dls.	 Cámaras aisladas independientes que rotan sobre un eje. [44]
	Rotoplast Colombia	La compostera Rotoplast cuenta con dos compartimientos independientes de 100 litros cada uno. Los dos cuerpos independientes permiten un continuo ciclo de producción de composta. Permite una fácil rotación manual. Fácil ensamble.	Material del Compostero: Polietileno de Alta Densidad. Capacidad de compostaje: 100 L por cámara. Ancho: 57.5 cm Alto: 85 cm Largo: 101.5 cm	-	 Cámaras aisladas que rotan independientemente sobre un eje. [45]
	Lifetime U.S.A.	Este compostero está diseñado con paneles de plástico de doble pared y una barra de aireación interna para absorber el calor y circular el oxígeno que es necesario para descomponer el material.	Material del Compostero: Polietileno de Alta Densidad con una base de acero galvanizado. Capacidad de compostaje: 80 gal, 302.83 l. Ancho: 40", 101.6 cm. Alto: 43", 109.22 cm. Largo: 35.5", 90.17 cm. Peso del compostero: 57 lb, 25.85 kg	\$199.99 dls.	Su diseño permite facilitar la mezcla, es ligero, su eje permite oxigenar el material. [46]

	<p>Maze Australia</p>	<p>Este compostero tiene una gran puerta que hace el llenado y vaciado fácil. Cuenta con un sistema de engranajes innovador y una manija grande para el mezclado sin esfuerzo, salidas de aire ajustables mejoran y aceleran la descomposición.</p>	<p>Material del Compostero: Polietileno de Alta Densidad. Capacidad de compostaje: 230 l. Ancho: 96 cm Alto: 96 cm Largo: 64.5 cm</p>	<p>\$215 dls.</p>	<p>Su palanca con un sistema de engranes permite facilitar la mezcla por medio de la fácil rotación del compostero. [47]</p>
	<p>Woodland Dirtect. U.S.A.</p>	<p>Este compostero facilita el mezclado debido a que su diseño tiene la característica de almacenar el material por medio de las ranuras que tiene en el interior del compostero a medida que gira sobre su eje.</p>	<p>Material del Compostero: Polietileno de Alta Densidad. Capacidad de compostaje: 52 gal, 196.84 l. Ancho: 31", 78.74 cm. Alto: 38", 96.52 cm. Largo: 31", 78.74 cm. Peso del compostero: 36 lb, 16.33 kg.</p>	<p>\$149 dls.</p>	<p>El diseño del compostero con ranuras permite facilitar la mezcla y acelerar el proceso del compostaje. [44]</p>
	<p>Woodland Dirtect. U.S.A</p>	<p>Este compostero está diseñado para suministrar aire directamente en los materiales a compostar gracias a su núcleo central que aspira aire debajo del tambor y lo distribuye por el interior. El núcleo también sirve como una pala, para ayudar a romper los materiales cuando el tambor gira.</p>	<p>Material del Compostero: HDPE reciclado. Capacidad de compostaje: 71 gal. 268.76 l. Ancho: 33", 83.82 cm. Volumen del Tambor. 9.5 ft³, 268 l. Peso del compostero: 70 lb, 31.75 kg.</p>	<p>\$328.98 dls</p>	 <p>El diseño del eje permite oxigenar la composta y las aspas que este mismo tiene facilitan el mezclado y acelera el proceso. [44]</p>
	<p>Woodland Dirtect. U.S.A</p>	<p>El diseño patentado de doble tambor permite que los materiales vayan a la parte superior y salgan automáticamente al final cuando el tambor gira por medio de un filtro interior. Las descargas son automáticas, el tambor interno recolecta la composta terminada y oxigena la que se está procesando dentro del compostero.</p>	<p>Material del Compostero: HDPE reciclado. Capacidad de compostaje: 100 gal. 378.54 l. Alto: 36", 91.44 cm. Largo: 42", 106.68 cm. Peso del compostero: 60 lb, 27.22 kg.</p>	<p>\$625 dls.</p>	 <p>Filtra la composta cuando el compostero gira, por medio de su tambor interno. [44]</p>

	<p>OMER LTD. ISRAEL.</p>	<p>Este compostero cuenta con cámaras duales de 70 l c/u. para un uso más eficiente. Fácil de montar y desmontar. Está diseñado con un sistema que permite la aireación y las cámaras giran sobre un eje para acelerar el proceso de compostaje.</p>	<p>Material del Compostero: Polietileno de Alta Densidad. Capacidad de compostaje: 140 l. Ancho: 60 cm. Alto: 82cm. Largo: 65 cm. Peso del compostero: 18.7 lb, 8.5 kg</p>	<p>Compostero con partes desmontables, que cuenta con paredes que incluyen un inserto en forma de palas que permiten el mezclado del material a compostar a medidas que este gira. [48]</p>
---	----------------------------------	--	--	---

De la comparación de las diferentes alternativas existentes en el mercado mundial actual, el compostero dinámico de 230 L Australiano de la marca Maze es la mejor alternativa existente debido a que su precio es considerablemente menor en comparación con los composteros estadounidenses. En cuanto a funcionalidad, este compostero presenta un diseño que permite facilitar el proceso del compostaje sin olvidar que está elaborado con materiales plásticos.

2.2.3. Patentes

Una patente es un derecho exclusivo concedido a una invención, es decir, un producto o procedimiento que aporta, en general, una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema. [49]

Las patentes son una fuente rica y fácilmente disponible de información técnica que contiene detallados dibujos y explicaciones de cómo funcionan muchos productos, son útiles para ver el origen de un sinfín de productos.

La búsqueda de patentes en el campo de los composteros de tambor rotatorio reveló varios conceptos interesantes mostrados a continuación.

2.2.3.1. Concepto n° 1: Dispositivo de compostaje rotativo.

Esta patente describe un dispositivo de compostaje que comprende un tambor de forma hexagonal montado para su rotación sobre una base de apoyo. La base de soporte incluye una zona cerrada para el almacenamiento de material a compostar o compost terminado.

El dispositivo está diseñado para ser armado por el usuario a partir de un kit piezas precortadas hechas de madera resistente a la intemperie. [50]

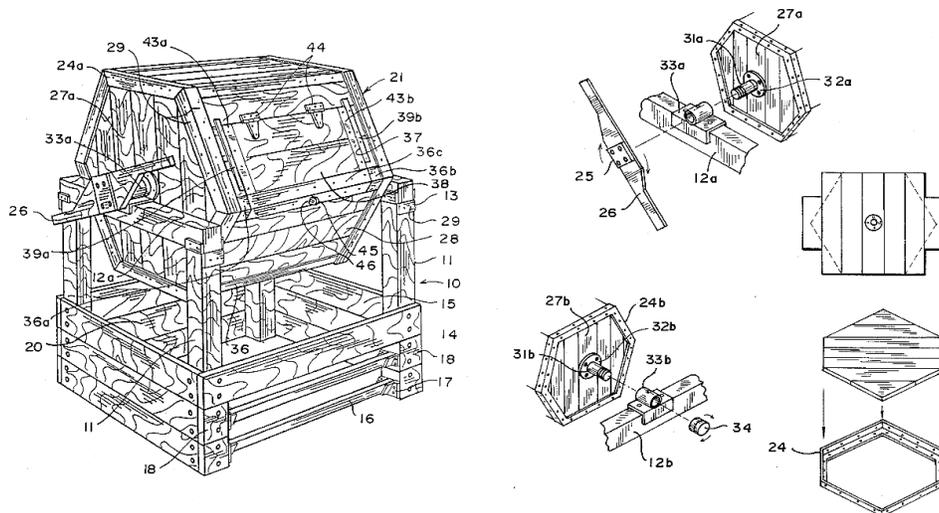


Figura 21 Concepto de patente dispositivo de compostaje rotativo.

2.2.3.2. Concepto n° 2: Dispositivo de compostaje con tubo de aireación interna.

Este es un dispositivo de compostaje que incluye un recipiente que tiene deflectores y un tubo de aireación. El recipiente está soportado sobre un eje, para su fácil rotación. Un tubo de aireación interna tiene una pantalla, y sobresale desde el puerto de aireación en el interior del recipiente, que alcanza en la masa del material orgánico almacenado.

El aire ambiente entra a través del puerto de aireación en el núcleo hueco del tubo de aireación, y desde allí al interior del recipiente a través de aberturas de ventilación en la superficie del tubo de aireación. El tubo de aireación se ve apoyado por el eje, que se ejecuta a través de dos aberturas de ventilación opuestos del tubo de aireación. Una barra de ruptura se rompe el material orgánico. [51]

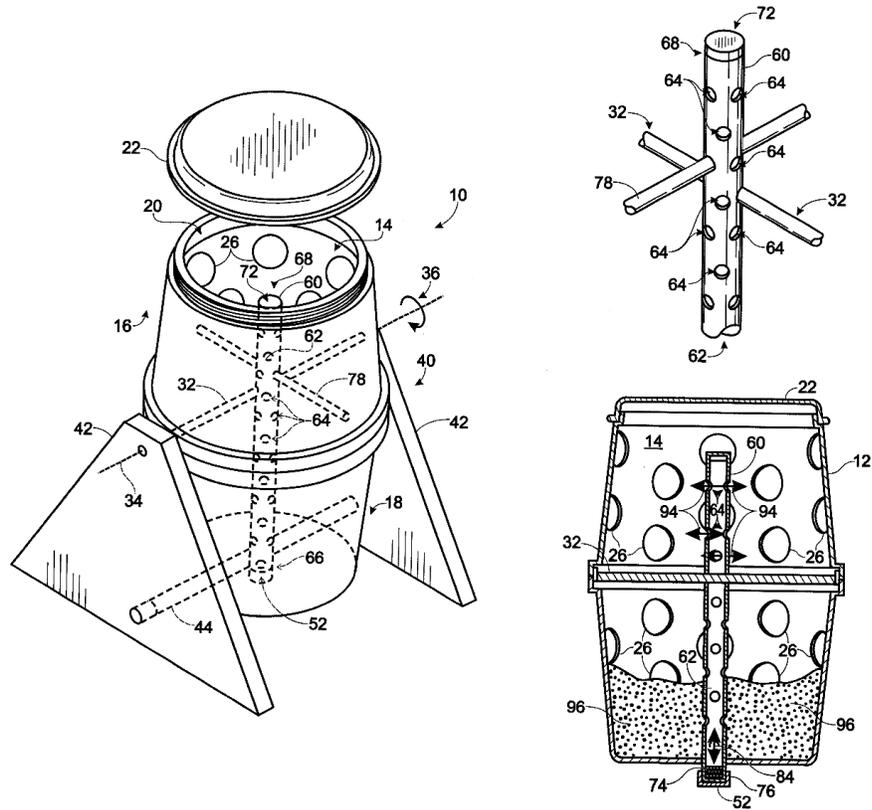


Figura 22 Concepto de patente dispositivo de compostaje con tubo de aireación interna.

Con base a lo investigado en materia de patentes, este trabajo podría ser patentable (a reserva de hacer la solicitud en el IMPI que es la entidad encargada de gestionar patentes en México), pero esta etapa no está planeada como un objetivo principal actual de la tesis, por lo cual se tomara en cuenta realizar el trámite después de la elaboración de este trabajo de investigación.

2.2.4. Diseño conceptual del reactor aerobio.

El concepto que describe la forma, función y características deseadas del reactor aerobio y que reúne la información obtenida, se muestra a continuación en la figura 23. Este concepto muestra un sistema de componentes cuya finalidad es producir composta.

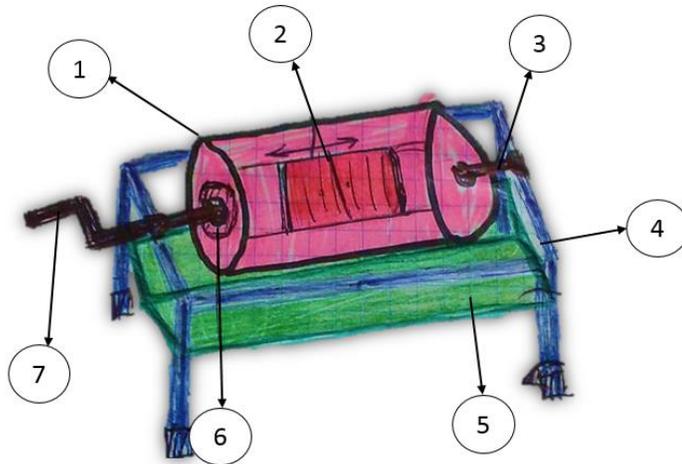


Figura 23 Concepto del reactor aerobio.

En conjunto, estos componentes muestran una idea del producto que se pretende diseñar.

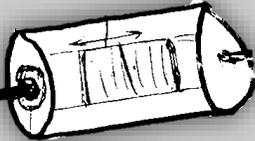
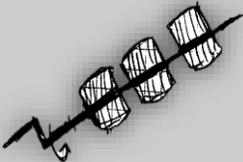
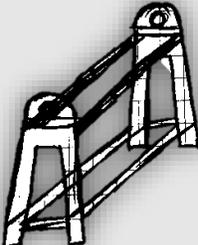
Este sistema permitirá realizar las funciones requeridas de tal modo que un contenedor plástico (1) permitirá llevar a cabo el proceso del compostaje, cuya puertas corredizas (2) permitirán la fácil entrada y salida del material a compostar.

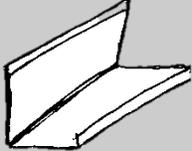
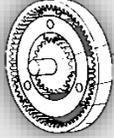
El contenedor se encuentra sujetado por un eje (3) sobre una estructura o base (4) que permitirá recolectar el material a través de una plataforma (5). El eje y el contenedor estarán conectados a un sistema de engranes (6) que permitirá facilitar el movimiento rotacional de los mismos a través de una palanca (7) de forma manual por cualquier usuario.

Dentro de este sistema de compostaje cada componente cumple con una función, que en conjunto, tiene la finalidad de cubrir los requerimientos deseados para la fabricación de composta.

2.2.5. Definición funcional y concepto de los principales componentes del reactor aerobio.

Tabla 14 Función de los componentes del reactor aerobio.

Componentes del Reactor aerobio.	Función.	Ilustración del concepto.
1. Compostero cuerpo o contenedor.	<ul style="list-style-type: none"> • Principal componente del reactor aerobio. • Llevar a cabo en su interior el proceso de fabricación de composta. • Almacenar y contener el material al compostar. • Permitir, ayudar y facilitar el proceso del mezclado y la oxigenación. 	
2. Puerta deslizable.	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar el flujo de entrada y salida de material. • Permitir fácil depósito y recolección del material a compostar. • Evitar que se caiga o escape el material a compostar. 	
3. Eje central del compostero.	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir la rotación del contenedor. • Medio de sujeción del contenedor con la estructura. • Mezclar el material a compostar por medio de la adaptación de aspas para aumentar la distribución y oxigenación de la composta. • Facilitar el flujo de entrada y salida del oxígeno. 	
4. Base o estructura.	<ul style="list-style-type: none"> • Sostener el compostero a través del eje, fijarlo al suelo y hacer que las cargas se transmitan a la base. • Soportar los componentes del compostero así como el material a compostar. • Brindarle movilidad al compostero para su mejor uso, traslado y colocación. 	

5. Plataforma para recepción.	<ul style="list-style-type: none">• Recolectar la composta fácilmente una vez que se retire del contenedor.• Evitar que la composta se caiga.	
6. Sistema de engranes.	<ul style="list-style-type: none">• Proporcionar y facilitar el movimiento rotacional del contenedor y el eje de forma independiente.• Aumentar el mezclado y la oxigenación del material a compostar.	
7. Palanca o manivela.	<ul style="list-style-type: none">• Facilitar la rotación del reactor de forma manual.	

2.3. Diseño virtual del reactor aerobio.

Una vez planteado el concepto del diseño del reactor aerobio, la siguiente etapa consiste en el proceso del diseño virtual del mismo, en donde se determinaran las características finales del producto previo a su lanzamiento. En esta etapa se procederá a darle forma al concepto planteado a través del diseño de cada uno de los componentes involucrados, con sus respectivas características. Se tomara en consideración el proceso de fabricación o de obtención de los mismos, y se realizaran las propuestas de los materiales a emplear así como los posibles proveedores o centros de distribución.

2.3.1. Diseño asistido por computadora (CAD)

Computer aided design (CAD), en español diseño asistido por computadora, es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en segunda o tercera dimensión (2D o 3D). Se trata básicamente de una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una interfaz gráfica, permitiendo diseñar en dos o tres dimensiones superficies y sólidos para obtener un modelo de un objeto o conjunto de ellos.

El software CAD puede ser especializado para usos y aplicaciones específicas. Es ampliamente utilizado para la animación computacional y efectos especiales en películas, publicidad y productos de diferentes industrias, donde el software realiza cálculos para determinar una forma y tamaño. La base de datos asocia a cada entidad una serie de propiedades que permiten manejar la información de forma lógica. Además pueden asociarse otro tipo de propiedades como el costo, material, etc., que permiten enlazar el CAD a los sistemas de gestión y producción. [52]

Las herramientas CAD permiten hacer uso de las tecnologías informáticas para el diseño y la documentación sobre diseño, remplazando los dibujos a mano con procesos automatizados donde pueden obtenerse planos con cotas y anotaciones para generar la documentación técnica. Estos programas pueden ayudar a la exploración ideas de diseño, la visualización de conceptos mediante renderizaciones fotorrealistas y simulaciones del rendimiento de un diseño en el mundo real. Hoy en

día es muy probable que los sectores como la arquitectura, mecánica, electricidad y plomería, o ingeniería hayan usado programas CAD 3D o 2D para la elaboración de sus proyectos. [53]

2.3.1.1. Los beneficios del CAD

El empleo de herramientas CAD para el diseño de productos tiene las siguientes ventajas:

- Menores costos de desarrollo de productos.
- Aumento de la productividad.
- Mejora en la calidad del producto.
- Menor tiempo de lanzamiento al Mercado.
- Mejor visualización del producto final, así como los sub-ensambles parciales y los componentes del mismo.
- Reducción de los costos y tiempos de diseño.
- Disminuir el tiempo de respuesta ante los cambios de producción.
- Es posible utilizar librerías de elementos comunes.
- Se elimina la distinción entre plano original y copia.
- El almacenamiento de los planos es más reducido, fiable y permite realizar búsquedas rápidas y precisas mediante bases de datos.
- La calidad de los planos es mayor. No hay tachones, ni líneas más gruesas que otras.
- El tiempo invertido en las modificaciones se reduce enormemente.
- Los datos pueden exportarse a otros programas para obtener cálculos, realizar informes, presentaciones.
- Se puede obtener un modelo en 3D para visualizarlo desde cualquier punto de vista.
- Pueden exportarse los datos a programas de CAE y a máquinas de CNC.
- Obtener simulaciones, animaciones y hacer análisis cinemáticas.

2.3.1.2. Características del software de diseño

Los programas CAD tienen distintas características en función de si el proceso de diseño involucra gráficos vectoriales 2D o modelado 3D de superficies sólidas. La mayoría de los programas CAD 3D le permiten aplicar ambas variantes con la posibilidad de simular fuentes luminosas, girar objetos en tres dimensiones y renderizar diseños desde cualquier ángulo.

El uso de cualquier software de diseño CAD permite diseñar todo tipo de productos como lo son automóviles, barcos, bicicletas, prótesis y mucho más.

2.3.1.3. Proceso del diseño de productos por medio de herramientas CAD

El proceso del diseño en CAD consta de 4 etapas principales:

- Definición. Consiste en especificar las propiedades y cualidades relevantes del sistema a diseñar.
- Concepción de un modelo. Es el núcleo del proceso de diseño, se concibe un modelo de sistema que satisface las especificaciones y este es documentado.
- Dibujo de detalle. Antes de pasar al proceso de construcción se deben generar gran cantidad de planos (o descripciones gráficas en general). El conjunto de documentos generados debe ser suficiente para describir el modelo, con el suficiente detalle como para permitir la fabricación de prototipos, con los que validar el diseño.
- Construcción de prototipos. Para elementos que se van a someter a un proceso de fabricación en cadena, es normal fabricar previamente prototipos, fuera de la cadena de montaje. Los prototipos se fabrican con el propósito de detectar posibles errores en el modelo o la especificación, y en caso contrario, servir de validación del modelo. Los prototipos no tienen que ser necesariamente un ejemplar completo del elemento a fabricar, pudiendo utilizarse para validar tan solo determinadas propiedades.
- Revisión y evaluación del diseño. Tras la realización de ensayos sobre el prototipo se pueden descubrir deficiencias en el modelo o en la propia definición del sistema, lo que obligará a volver atrás en el proceso, revisando el diseño.

Debe observarse que el dibujo de detalle está, en principio, dentro de este ciclo de revisión.

- Documentación. Una vez validado el diseño se pasa a documentarlo. La documentación debe contener la información suficiente como para poder abordar la construcción del sistema. [54]

El proceso de diseño sigue un esquema iterativo que trata de encontrar un diseño que satisfaga unos determinados requerimientos, explorando posibilidades, siguiendo un ciclo de propuesta – valoración como se muestra en la figura 24.

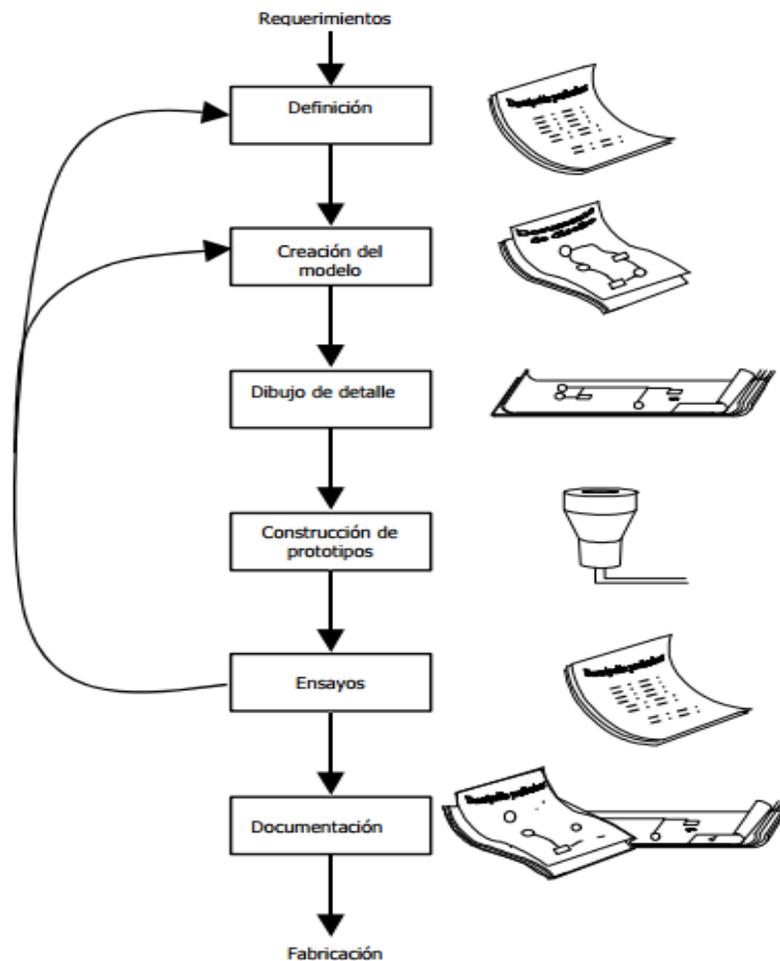


Figura 24 Esquema del proceso clásico del diseño. [54]

2.3.2. Listado preliminar de materiales

Este punto es de suma consideración cuando se trata de diseñar un producto y consiste en definir y proponer, con base a cada uno componentes del producto (en este caso para el reactor aerobio) la lista de materiales que satisfagan las características del mismo.

La lista preliminar de materiales se establecerá con base al producto y para esto es necesario conocer las características que este necesitara a lo largo de su ciclo de vida, así como el proceso de fabricación u obtención de cada uno de los componentes del mismo, sin olvidar considerar el diseño del mismo. Establecer los materiales a emplear ayudara en el proceso del diseño para establecer las características especiales del que tendrá el reactor aerobio.

La intención de la elaboración del listado preliminar de materiales es mostrar los materiales propuestos que se requieren para la elaboración u obtención de cada uno de los componentes. Para el diseño del reactor aerobio los materiales a emplear se muestran en la tabla 15 y los proveedores se muestran en la tabla 16.

Tabla 15 Listado preliminar de materiales.

Clasificación	Componente	Material
Componentes elaborados con materiales plásticos.	Cuerpo del reactor aerobio.	HDPE
	Puerta deslizable.	HDPE
	Aspas.	HDPE
	Estructura.	HDPE
	Plataforma.	HDPE
	Manivela.	HDPE
Componentes elaborados con materiales metálicos.	Ejes de soporte (Tubo estructural redondo).	Acero galvanizado.
	Sujeción de componentes. (Chavetas partidas).	Acero galvanizado.
Componentes especiales.	Engranajes planetarios.	Nylon 6
	Medidor de parámetros.	Componente electrónico.

Tabla 16 Listado preliminar de proveedores.

Material	Proveedor	Nombre del producto/Código
Polietileno de alta densidad.	1) Polímeros Mexicanos	Resina - Rotolene® HD
	2) DOW chemical company.	Resina - DPA-3220 NT 7
	Aditivos y colorantes plásticos.	Pigmentos
	Silicone Tec	Desmoldante
Tubería de acero galvanizado.	Ferreaceros Tollocan	Tubería estructural redonda de 1" C1.9mm (De uso comercial).
Acero galvanizado	Ferreterías/ Tornillerías	Chaveta partida de 1/8" X 2-4" (De uso comercial).
Nylon 6	Quadrant engineering plastics.	Nylatron® MC 901 (De fabricación).

2.3.3. Descripción preliminar del proceso.

El proceso de transformación que se pretende emplear para la elaboración del reactor aerobio así como de cada uno de los componentes del mismo elaborados con materiales plásticos, es conocido hoy en día como moldeo rotacional o rotomoldeo.

El moldeo rotacional o rotomoldeo es un el método de transformación de plásticos por medio del cual se pueden fabricar cuerpos huecos de gran variedad de tamaños, formas y texturas.



Figura 25 Productos rotomoldeados. [55]

El proceso del rotomoldeo permite moldear la resina (que por lo general se encuentra disponible en polvo o liquido) sin presión y con la temperatura necesaria para fundirla sin degradarla, conservando sus propiedades al máximo.

El principio de funcionalidad básico en el rotomoldeo consiste en hacer que las partículas plásticas se fundan alrededor de las paredes calientes del molde durante el movimiento rotacional y biaxial del mismo. El movimiento rotacional es lo que define a este productivo proceso, similar al movimiento de los planetas, el rotomoldeo se entiende como un molde moviéndose en 2 ejes o planos simultáneamente, de tal

manera que el plástico cubre las paredes del molde tomando su forma al estar expuesto al calor durante un periodo prolongado de tiempo. [55]

2.3.3.1. Etapas del proceso de rotomoldeo

El proceso de rotomoldeo consta de 4 principales etapas o pasos como se muestra en la figura 26 y cada una de ellas se describe en la tabla 17.

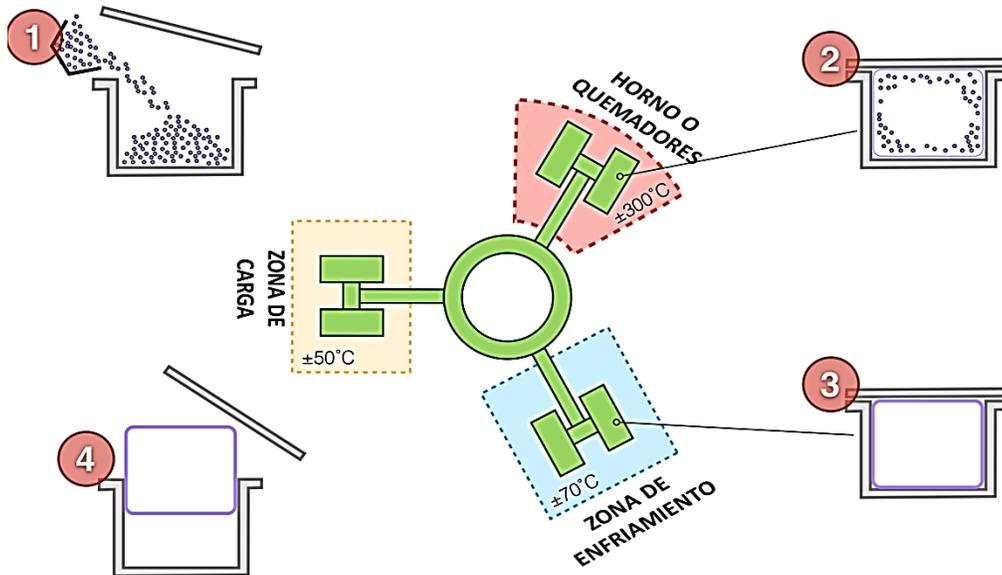
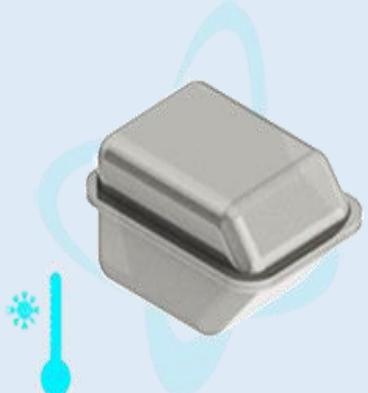


Figura 26 Proceso de rotomoldeo. [56]

Tabla 17 Etapas en el proceso del rotomoldeo.

Etapa		Descripción
1) Carga		En esta primera etapa una cantidad de plástico en polvo o líquido, se introduce en el molde. En principio el molde y el material están fríos, y el polvo se encuentra sobre la superficie del molde.

<p>2) Calentamiento</p>		<p>En la segunda etapa el molde se cierra y se hace rotar en torno a dos ejes en el interior de un horno o expuesto a unos quemadores. Cuando la superficie metálica del molde se calienta lo suficiente, el plástico que se encuentra sobre su superficie en el interior comienza a fundir y se adhiere a las paredes internas del molde. El plástico va fundiendo en capas sucesivas gracias a la rotación biaxial. Cuando todo el plástico ha fundido el interior del molde, este debe estar completamente recubierto.</p>
<p>3) Enfriamiento</p>		<p>La etapa de enfriamiento comienza mientras continua la rotación del molde pero este deja de estar expuesto a la fuente de calor.</p> <p>El proceso de enfriamiento continúa hasta que el material adquiere suficiente consistencia para poder ser extraído del molde. El material continúa enfriándose cuando la pieza se separa de la pared del molde como consecuencia de la contracción, a partir de ahí el enfriamiento es más lento puesto que hay una capa de aire entre la pared del molde frío y el plástico. Cuando esto ocurre la pieza tiene una temperatura a la que ya puede ser manipulada.</p>

<p>4) Desmolde</p>	 El diagrama muestra un molde de plástico dividido en tres partes: una tapa superior gris, una pieza roja hueca en el centro y una base inferior gris. Las piezas superior e inferior están desplazadas hacia arriba y hacia abajo, respectivamente, para revelar la pieza roja que se está desmoldando.	<p>Una vez solidificado el plástico, el molde se desplaza hacia la zona de carga y descarga donde se desmonta abriendo el molde para así extraer la pieza (un cuerpo hueco de plástico rotomoldeado). Con esta el término de esta etapa se puede iniciar un nuevo ciclo de producción</p>
--------------------------------------	---	---

[57], [58]

2.3.3.2. Ventajas del proceso de rotomoldeo

El moldeo rotacional es un proceso que produce piezas prácticamente sin esfuerzos, ya que sólo interviene la presión atmosférica. El hecho de no haber esfuerzos en la resina fundida mientras se le da la forma es una de las mayores ventajas que tiene el rotomoldeo sobre todos los procesos de fabricación de piezas plásticas. Además, como no hay ninguna fuerza sobre el plástico mientras se forma, los moldes para rotomoldeo pueden tener paredes delgadas y son relativamente baratos de fabricar. Para piezas simples, la entrega de un molde puede ir de algunos días a algunas semanas.

Las máquinas modernas de varios brazos permiten trabajar con múltiples moldes de diferentes tamaños, volúmenes y formas a la vez. Con un adecuado diseño de molde, se pueden rotomoldear piezas complejas, como lo son los contenedores de doble pared, que son difíciles o imposibles de hacer con cualquier otro método. Con un correcto control del proceso, el espesor de las paredes de las piezas rotomoldeadas es bastante uniforme, contrario al soplado o termoformado. Y a diferencia de estos procesos, el rotomoldeo no tiene costuras o soldaduras que tengan que ser retocadas para obtener el producto terminado. [59]

Las principales características del rotomoldeo son:

- Se pueden hacer piezas huecas de una sola pieza sin soldaduras o juntas.
- Los moldes son relativamente económicos.
- El tiempo de manufactura de un molde es relativamente corto.
- El espesor de la pared puede ser bastante uniforme.
- La distribución del espesor de la pieza se puede modificar sin tener que hacer modificaciones al molde.
- Corridas de producción cortas son económicamente viables.
- No existe desperdicio de material ya que la carga vaciada en el molde se consume en su totalidad al hacer la pieza.
- Es posible hacer productos con varias capas, incluyendo piezas con espumante.
- Los insertos son relativamente fáciles de moldear en la pieza.
- Se pueden moldear gráficos de alta calidad en la pieza.
- Las máquinas y moldes son simples y relativamente baratos
- En el mismo equipo, e incluso en un mismo ciclo se puede trabajar con moldes de distintos tamaño y forma. [60]

2.3.3.3. Variables de proceso

Para llevar a cabo un buen manejo del proceso de rotomoldeo es necesario establecer y controlar de las siguientes variables:

- Temperatura del horno.
- Tiempo de residencia en el horno.
- Cantidad de polímero adicionada al molde.
- Velocidad de rotación del molde.
- Naturaleza del medio de enfriamiento.
- Duración del ciclo de enfriamiento.
- Temperatura de desmolde.

Adicionalmente, otros factores pueden influir en la calidad del producto, aunque pueden no depender directamente del fabricante. Esos factores involucran:

- Tamaño y distribución del tamaño de partícula del polvo.
- Comportamiento fluido del polímero.
- Facilidad de moldeo del material.
- Densidad del polímero.
- Forma y espesor del molde.
- Eficiencia y tipo del horno.
- Eficiencia y tipo de enfriamiento. [61]

2.3.3.4. Maquinas y tipos de rotomoldeo.

Existen diversos tipos de máquinas, desde unas pequeñas y sencillas, hasta otras de grandes diámetros de giro y con sofisticados sistemas eléctricos de control. La gama de las máquinas disponibles va desde pequeñas y sencillas instalaciones para el desarrollo explorativo y para el uso de laboratorio con un brazo y una cámara de moldeo hasta las instalaciones complejas con brazos que pueden gestionarse independientemente, de diámetro esférico de hasta 50 m, capaces de producir grandes volúmenes y para productos manufacturados de gran volumen.

A lo largo de los años se han diseñado y realizado diferentes máquinas para el rotomoldeo y estas se clasifican de acuerdo a sus sistemas de calentamiento en las máquinas flama abierta y las de horno o llama cerrada.

2.3.3.4.1. Flama Abierta

Este tipo de maquinas son las mas sencillas que hay en la industria y funcionan de tal manera que el calentamiento se da mediante una serie de quemadores que rodean al molde al aire libre. Estas maquinas no pueden hacer giros biaxiales al mismo tiempo, asi que primero los moldes colocados en ella realizan giros de 360 grados sobre su mismo eje para despues ser inclinado de atrás a adelante aproximadamente 45 grados y viceversa hasta acompletar el proceso de transformacion.

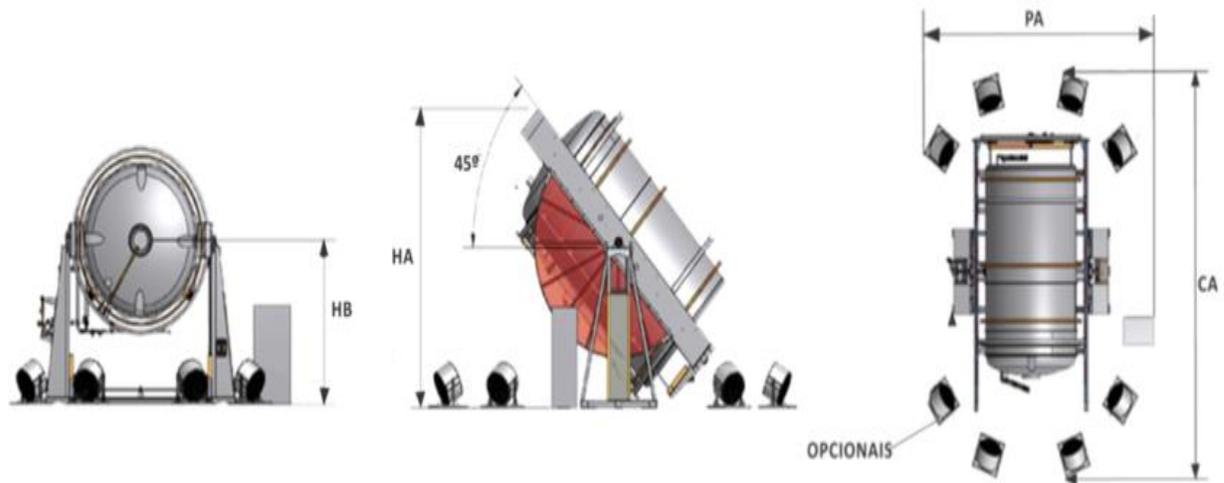


Figura 27 Máquina de flama abierta [62]

2.3.3.4.2. Horno

A diferencia de las maquinas de flama abierta, este tipo de maquinas cuentan con un horno que dependiendo a la forma de la misma varia su tamaño. En este tipo de maquinas los moldes son colocados en brazos o carros que son expuestos en el interior del horno con una particularidad de que estas maquinas si pueden hacer giros biaxiales al mismo tiempo. Estas maquinas pueden ser de tipo Shuttle o lineal (figura 28), rock & roll (figura 29) o tipo carrossel (figura 30).

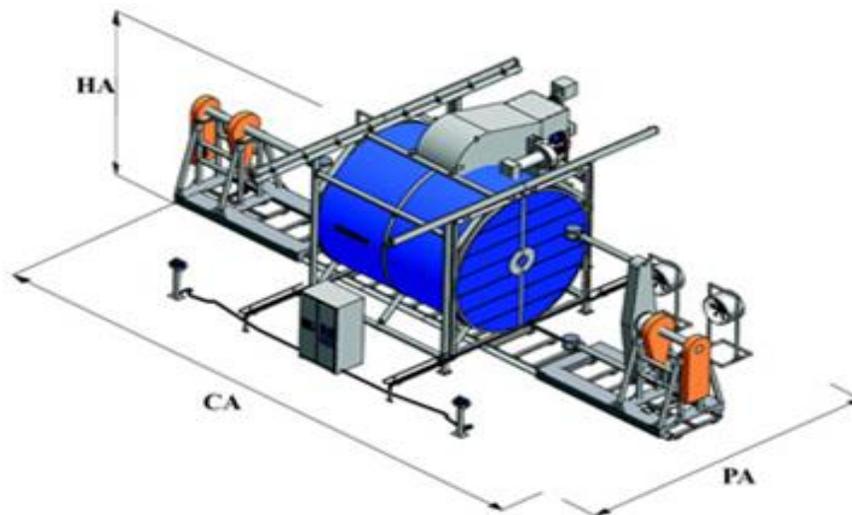


Figura 28 Máquina de rotomoldeo tipo shuttle. [62]

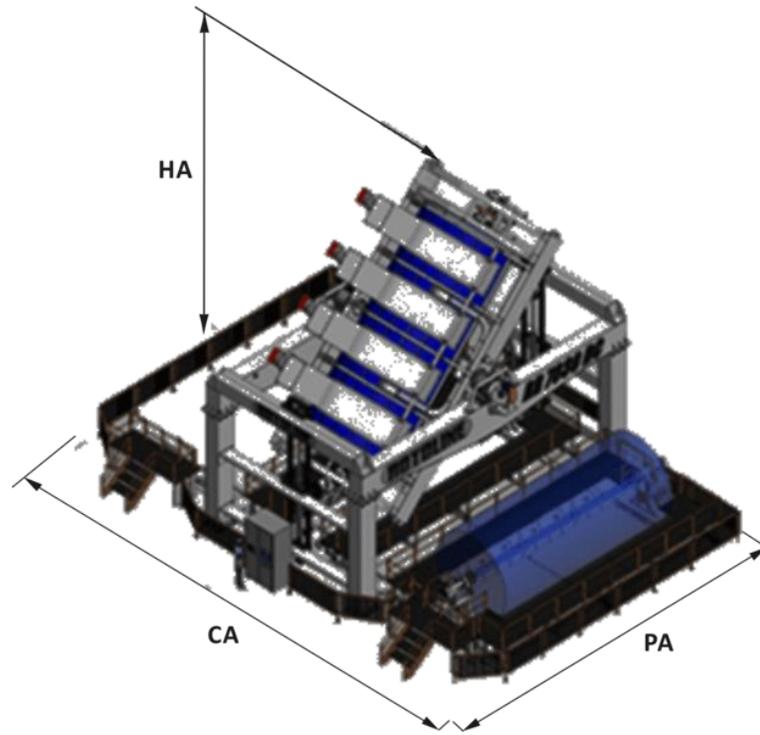


Figura 29 Máquina de rotomoldeo tipo rock & roll. [62]

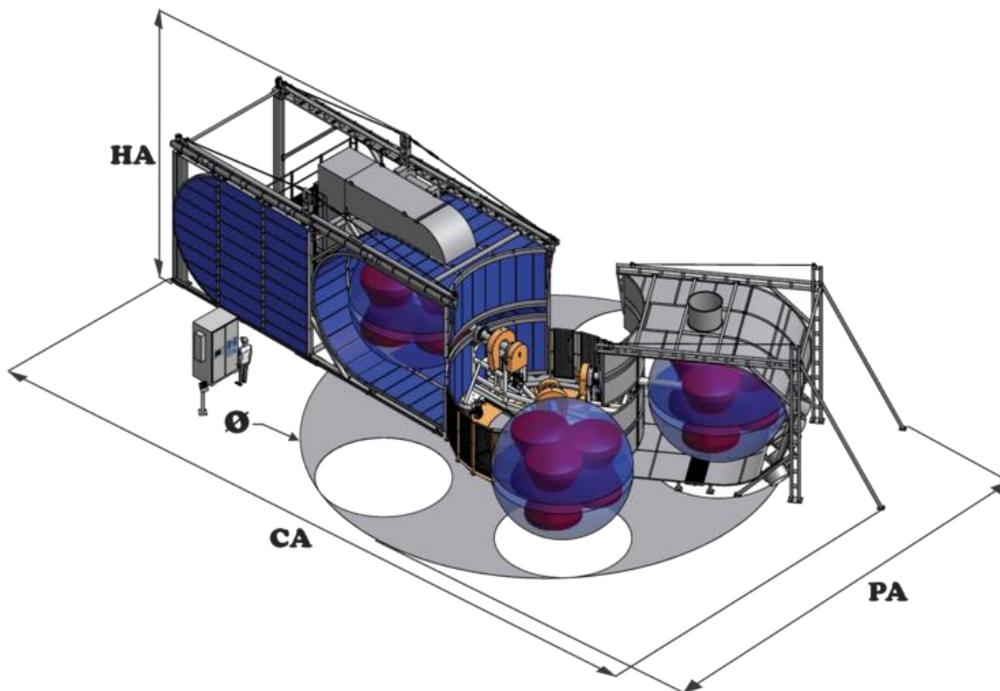


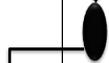
Figura 30 Máquina de rotomoldeo tipo carrossel. [62]

2.3.4. Diagrama preliminar de flujo del proceso.

El uso de un diagrama de flujo permitirá describir anticipadamente cada paso involucrado en la obtención de un producto. Es representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa del proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso. Para la elaboración del reactor aerobio el diagrama de flujo que describe el proceso de obtención se muestra en la tabla 18.

Tabla 18 Diagrama de flujo del reactor aerobio.

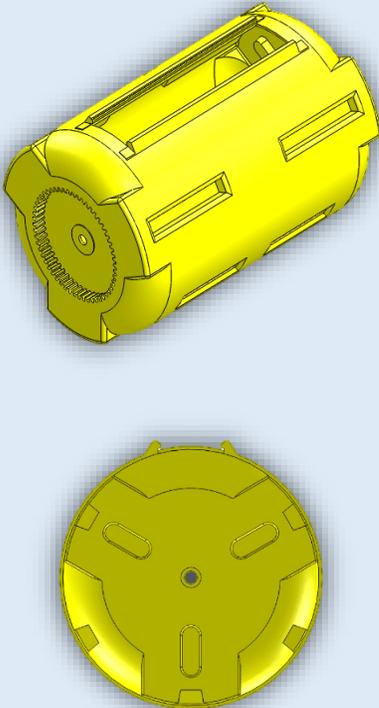
N° de operación	Operación	Transporte	Almacenamiento	Inspección	Por:	Ing. José Carlos Nieto Trujillo		Fecha:	18/01/2016
					Nombre del producto:	Reactor aerobio			
	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN				CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO		CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO		
0					Recepción de la materia prima	Peso, Materia Prima en Sacos de 25 kg			
5					Calidad de la materia prima	Forma, tamaño y distribución de partícula de la resina. Peso molecular y distribución de pesos moleculares.			
10					Materia prima aprobada				
15					Pigmentado de materia prima			% de pigmento x kg de resina	
20					Abastecimiento de materia prima			kg de resina por producto	
25					Abrir molde(s) para meter resina			cubrir el molde con desmoldante	
30					Meter molde(s) al horno				
35					Proceso de rotomoldeo			280-300 °C, tiempo aprox. 20 - 30 min, giros 40-50 Hz, cambio de giro cada 3 min	

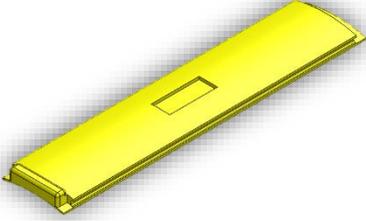
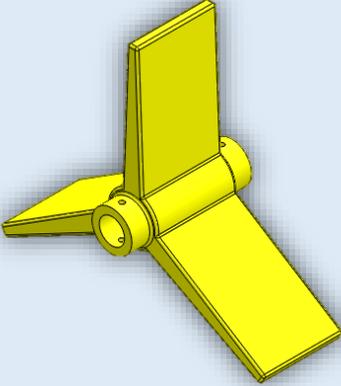
N° de operación	Operación	Transporte	Almacenamiento	Inspección	Por:	Ing. José Carlos Nieto Trujillo	Fecha:	18/01/2016
					Nombre del producto:	Reactor aerobio		
	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN				CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO		
30					Sacar el molde(s) del horno			
35					Etapas de enfriamiento			10 min sin ventilador, tiempo restante con ventilador y dispersores de agua hasta bajar el molde a 60-70 °C
35					Abrir molde(s) para sacar producto(s)			bajar la pieza entre 70-80 °C
40					Revisión de producto(s)	Rebabeear pieza, colocar etiquetas, realizar agujeros, ver defectos de proceso, colocar insertos o accesorios		
45					Almacenamiento del producto	Etiquetado y codificado del producto		
50					Acabado del producto terminado	Ensamblaje de componentes, colocación de accesorios.		
55					Transporte del producto terminado			
60					Revisión del producto terminado antes de su distribución	# de componentes, estado de las piezas, instructivos, certificados de cálidas, documentación.		Tipo de empaque, entarimado.
65					Almacenamiento de producto terminado			
70					Distribución de producto terminado			

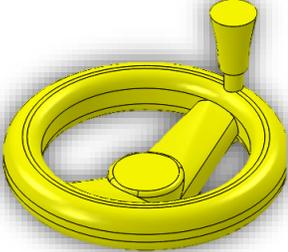
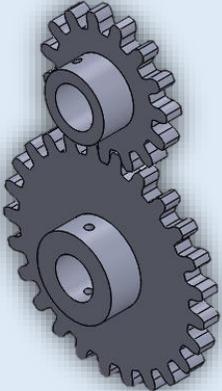
2.3.5. Elaboración y descripción de los componentes del reactor aerobio por CAD.

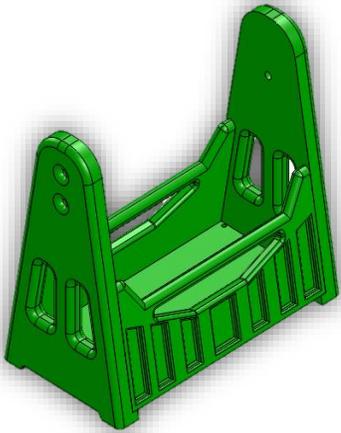
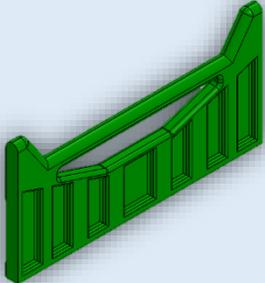
En esta etapa, se muestran los diseños virtuales de cada componente del reactor aerobio elaborados a partir de las descripciones vistas en la etapa funcional y conceptual de este trabajo. Los modelos diseñados por medio del empleo de herramientas CAD muestran de forma gráfica cada uno de ellos, así como las características con las que fue diseñado cada componente.

Tabla 19 Componentes del reactor aerobio elaborados por CAD.

Componente	Diseño asistido por computadora	Características especiales
<p>1. Cuerpo del Reactor Aerobio</p>		<p>Es el componente principal del reactor aerobio ya que en él se almacenará el material a compostar para llevar a cabo el proceso de compostaje.</p> <p>Diseñado de modo que la adaptación de superficies (simulando aspas) en los contornos del contenedor y las esquinas redondeadas, permitan facilitar el proceso de mezclado y oxigenado del material a compostar. A través del movimiento rotacional y con la ayuda de la gravedad, el material será recirculado un cierto número de ciclos necesarios para llevar a cabo el proceso del compostaje.</p> <p>Cuenta con una gran entrada que permitirá el fácil flujo del material a compostar.</p> <p>En el lado lateral izquierdo, el cuerpo cuenta con un sistema de dientes que en conjunto con un sistema de engranes facilitara el movimiento rotacional del mismo.</p>

<p>2. Puerta deslizable</p>		<p>Es una puerta deslizable que ensambla con el cuerpo del reactor aerobio para evitar tener pérdidas o fugas del material a compostar cuando este se encuentre dentro.</p> <p>Puede ser completamente retirada cuando se requiera meter o sacar material.</p> <p>Está diseñada de modo que en ella pueda ser colocado un medidor de temperatura, ph y humedad para el control del proceso.</p>
<p>3. Aspas</p>		<p>Este componente va en el interior del cuerpo del reactor aerobio y fue diseñado para aumentar el mezclado, homogeneizado y oxigenado del material a compostar. Por medio del movimiento rotacional, este componente trabajara en conjunto con el cuerpo y el sistema de engranes para distribuir el material en el interior.</p>
<p>4. Eje central</p>		<p>Ambos componentes son los puntos de apoyo del reactor aerobio. Son los ejes que soportaran, sostendrán y permitirán las correspondientes rotaciones del cuerpo y las aspas, al ser colocados sobre la estructura.</p> <p>El eje central atraviesa todo el cuerpo del compostero, en el serán colocadas las aspas y uno de los engranes. Cuenta con orificios a lo largo del todo el eje para permitir el constante flujo del oxígeno dentro y fuera del cuerpo del reactor.</p>

<p>5. Eje superior</p>		<p>El eje superior es el componente que permitirá transmitir la fuerza de rotación al reactor aerobio con la ayuda de una manivela, en el serán colocados tanto la manivela como un segundo engrane.</p>
<p>6. Manivela</p>		<p>Este componente permitirá brindar y transmitir la fuerza de rotación del reactor aerobio de forma manual.</p>
<p>7. Sistema planetario de engranes</p>		<p>El empleo de un sistema planetario de engranes proporcionara el funcionamiento innovador del reactor aerobio.</p> <p>Permitirá transmitir la fuerza rotacional en direcciones contrarias tanto del cuerpo como del eje central con las aspas, fomentando al aumento de la distribución, mezclado y oxigenación del material a compostar.</p> <p>El uso de este sistema de engranes permitirá realizar menor esfuerzo cuando el usuario pretenda rotar de forma manual el reactor aerobio.</p>

8.Estructura		<p>La estructura soportara tanto al cuerpo como al material a compostar, en ella serán colocados todos los componentes. Le dará estabilidad, equilibrio y fijara al suelo al reactor aerobio.</p>
8A Puertas laterales		<p>Sus puertas laterales pueden ser quitadas para la mejor disposición de la composta, una vez que esta es retirada del cuerpo.</p>
8B Plataforma		<p>La plataforma permitirá evitar el contacto de la composta con el suelo o algún otro tipo de contaminante. Esta plataforma dejara utilizar la estructura como contenedor para almacenar la composta una vez terminada, mientras el usuario le da disposición.</p>
9. Chaveta		<p>Las chavetas partidas son los elementos de fijación que se usaran en todos los componentes del reactor aerobio y son de fácil aplicación para la retención de partes o componentes mecánicos.</p>

2.3.6. Ensamble de componentes.

El diseño de cada uno de los componentes es el resultado preliminar de la visualización final que un producto (en este caso del reactor aerobio) tendrá, una vez que estos sean ensamblados o unidos.

Antes de mostrar el diseño del reactor ya con cada uno de sus componentes como un solo sistema, es importante considerar que con las características vistas anteriormente, se visualizan sub-ensambles o sub-sistemas los cuales deben de ser mostrados previamente antes de su armado final, para el mayor entendimiento del comportamiento y las características que estos van a brindar una vez ensamblados.

2.3.6.1. Sub-sistema 1: Cuerpo y puerta deslizable.

Este ensamble consiste en la unión entre el cuerpo y la puerta del reactor aerobio. Tanto el cuerpo como la puerta utilizan en su diseño un sistema de superficies macho-hembra (figura 31), que permite guiar ambos componentes para deslizar transversalmente la puerta a lo largo de todo el cuerpo del reactor aerobio como se muestra en la figura 32.

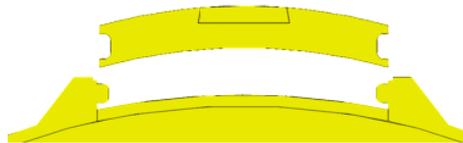


Figura 31 Sistema macho-hembra

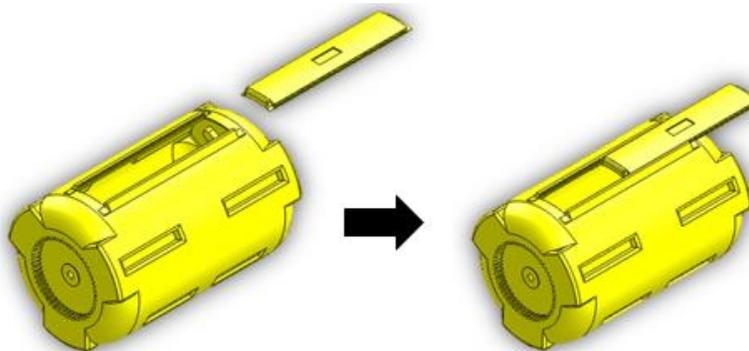


Figura 32 Ensamble de cuerpo y puerta deslizable.

2.3.6.2. Sub-sistema 2: Eje central y aspas.

Este sistema describe el ensamblaje que se encontrara dentro del cuerpo del reactor aerobio. Consta de sujetar las aspas al eje central por medio de chavetas (figura 33).

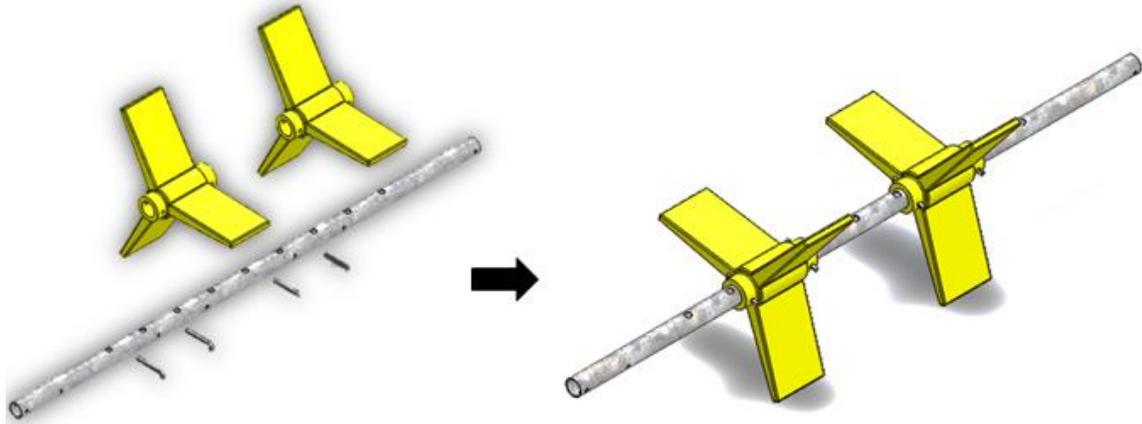


Figura 33 Ensamble del eje central y las aspas.

2.3.6.3. Sub-sistema 3: Estructura

El ensamble de la estructura consta de 5 componentes como se muestra en la figura 34. Las paredes laterales (donde se colocaran los ejes y el cuerpo), las puertas (que pueden quitarse y ponerse) y la plataforma.

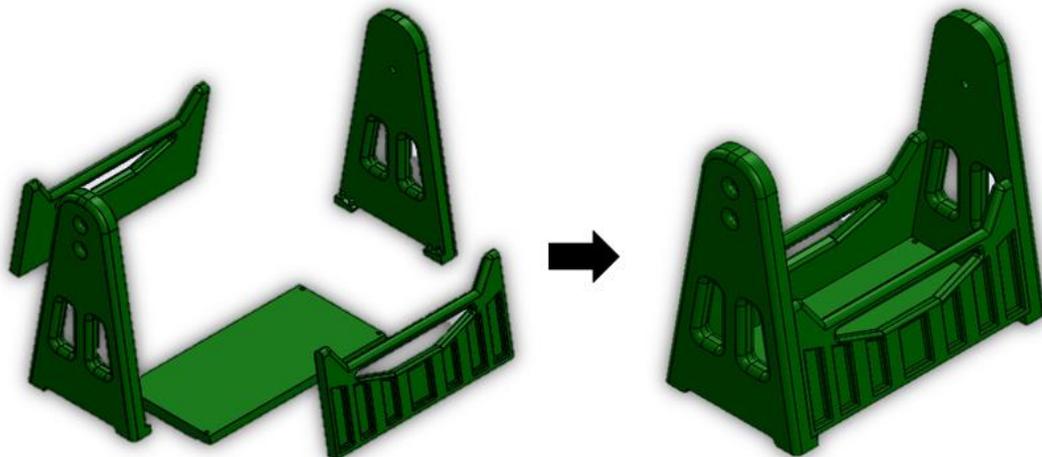


Figura 34 Ensamble de la estructura.

2.3.6.4. Ensamblado total del Reactor aerobio.

Una vez ensamblados los sub-sistemas el siguiente paso propuesto consiste en el ensamblado total del reactor aerobio, que se muestra paso a paso a través de las siguientes figuras.

El primer paso consiste en introducir el eje central con las aspas en el interior del cuerpo del reactor aerobio (figura 35).

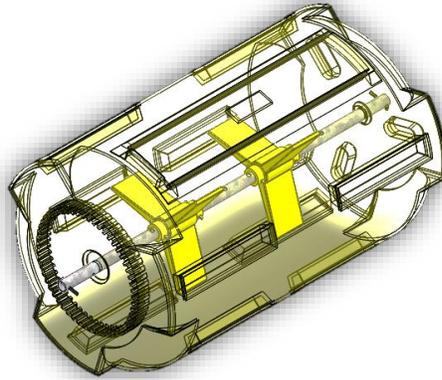


Figura 35 Ensamble del eje central y el cuerpo del reactor aerobio.

Es en este paso se procede a colocar y fijar los engranes, tanto en el eje central como en el eje superior (figura 36).

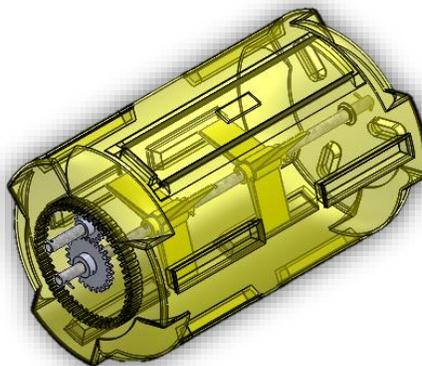


Figura 36 Ensamble de los engranes y el eje superior.

Puestos los engranes, se colocan todos los componentes previamente ensamblados en la estructura (figura 37).

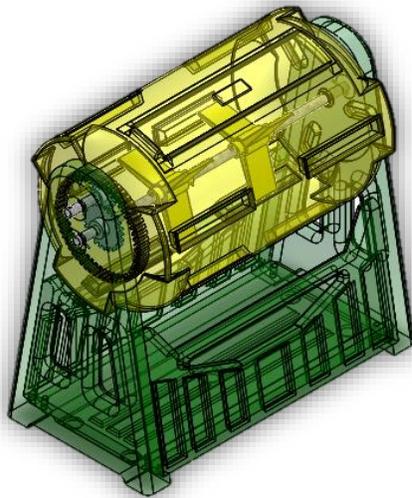


Figura 37 Colocación de los componentes en la estructura.

Por último, se coloca y se fija la manivela (figura 38)

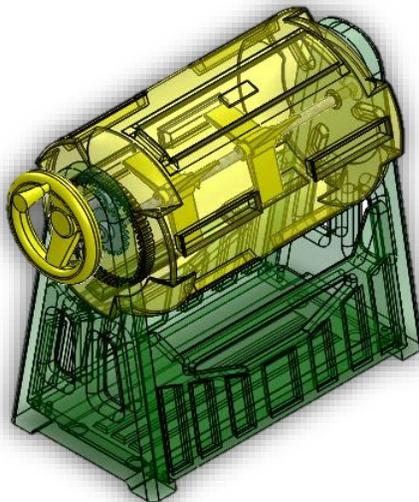


Figura 38 Colocación de la manivela.

Esta es la visualización del diseño del reactor aerobio con cada uno de sus componentes previamente ensamblados (figura 39). Este es el diseño propuesto, listo para pasar a la siguiente etapa que consiste en validarlo virtualmente.

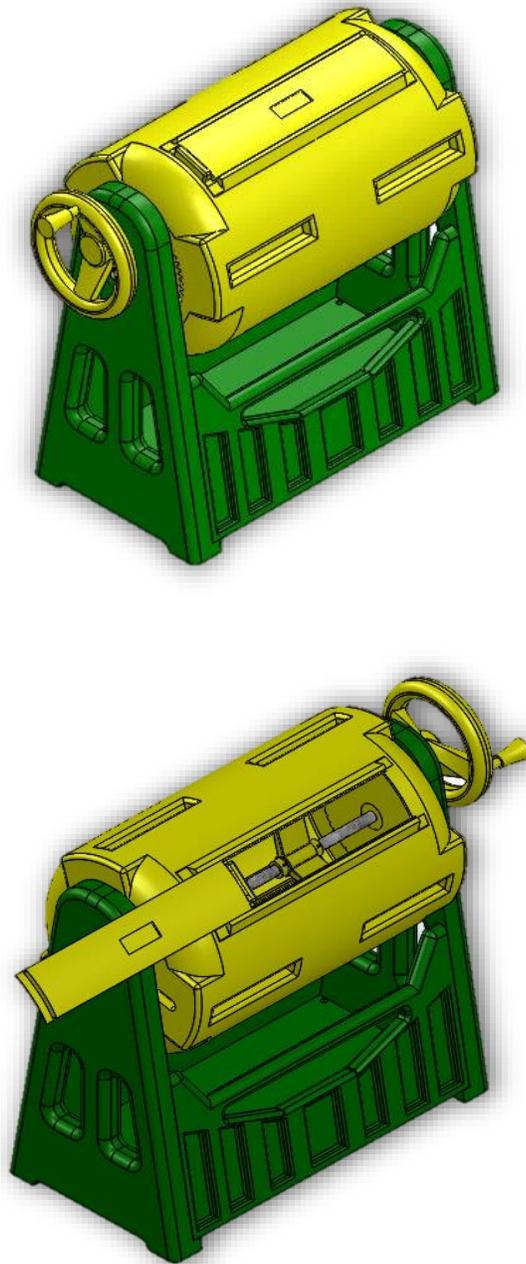


Figura 39 Reactor aerobio ensamblado.



CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Validación virtual del reactor aerobio

Esta etapa es de gran importancia para la elaboración de este trabajo de investigación y consistirá en simular las condiciones (a través de un software) a las cuales estarán expuestos los componentes del reactor aerobio. Es aquí donde toda la información vista desde el capítulo 1.1. será utilizada para generar un conjunto de pruebas virtuales que servirán como fundamento para realizar los cambios necesarios para obtener el diseño más óptimo del reactor aerobio, esto es, el diseño que cumpla con el mayor número de requerimientos deseados.

Puesto que llevar a cabo un análisis CAE en un producto es un proceso muy complejo que requiere a un equipo multidisciplinario para su elaboración, así como un periodo considerable de tiempo y una gran cantidad de diferentes pruebas, para este trabajo se realizaran pruebas únicamente al cuerpo del reactor con la finalidad de comparar los dos materiales plásticos propuestos considerando que la mayoría de los componentes del reactor aerobio son de polietileno de alta densidad.

3.1.1. Ingeniería asistida por computadora (CAE)

Las siglas CAE son el acrónimo en inglés de computer aided engineering o ingeniería asistida por computadora en español (también conocida como elaboración virtual de prototipos o virtual prototyping).

La ingeniería asistida por computadora es el uso de programas computacionales que simulan y miden el desempeño de productos, procesos o herramientas de manufactura. Estos programas pueden simular comportamientos mecánicos para mejorar el diseño, resolver problemas de ingeniería así como validar y optimizar los procesos y la utilización de determinadas herramientas de manufactura. [63]

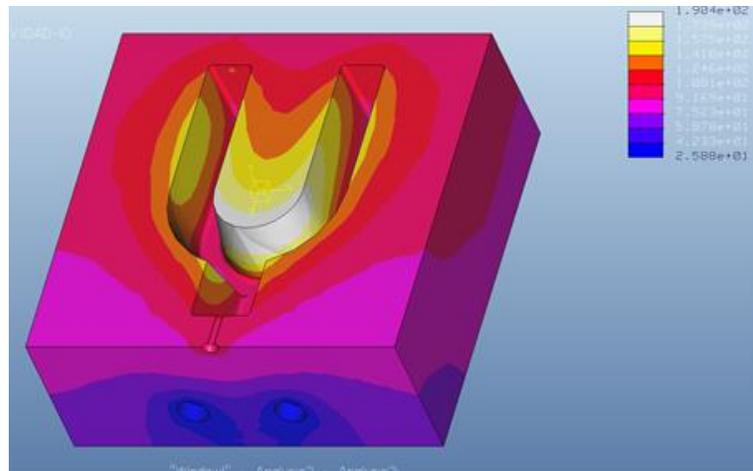


Figura 40 Elemento CAD analizado mediante métodos CAE.

Los sistemas CAE simulan bajo condiciones (lo más cercanas a las reales) el efecto de variables sobre el elemento diseñado, con el fin de llegar a una forma geométrica optimizada para ciertas condiciones. Es un modelado interactivo tridimensional en tiempo real con análisis mediante pruebas no destructivas.

Cuando el CAE se utiliza correctamente, se pueden obtener en poco tiempo soluciones eficientes con un alto grado de confianza. La repercusión más importante es que posibilita el diseño mediante ciclos de prueba ya que las primeras informaciones obtenidas por el CAE es sólo la base para la discusión de factibilidad en la que intervendrán la experiencia y la evolución futura. [64]

La realización de todas estas actividades CAE dependerá de las exigencias del diseño y suponen siempre un valor añadido al detectar y eliminar problemas que retrasarían el lanzamiento del producto.

3.1.1.1. Ventajas del empleo de sistemas CAE

La utilización planificada de herramientas CAE para el desarrollo de productos permite:

- Reducir el tiempo y costo de desarrollo de productos.
- Tomar decisiones sobre el diseño con base en el impacto del desempeño del producto en la simulación.

- Evaluar los diseños utilizando simulaciones computarizadas en lugar de hacer pruebas a prototipos físicos ahorrando tiempo y dinero.
- Reducir enormemente la cantidad de prototipos a realizar.
- Aumentar la productividad y mayor competitividad.
- Brindar conocimientos sobre el desempeño más temprano en el proceso de desarrollo cuando los cambios al diseño son menos costosos de hacer.
- Apoyar a los equipos de ingeniería a administrar riesgos y comprender las implicaciones en el desempeño de sus diseños.
- Los riesgos de fallas disminuyen al identificar y eliminar problemas potenciales facilitando la solución de problemas.

3.1.2. Pruebas para el análisis en CAE

Las aplicaciones CAE abarcan una gran variedad de disciplinas y fenómenos de la ingeniería permitiendo responder a algunos problemas que requieren la simulación de fenómenos múltiples.

El sistema CAE es la tecnología que se ocupa de analizar las geometrías generadas por las aplicaciones de CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto para refinar y optimizar dicho diseño.

Existen herramientas para un amplio rango de análisis y una gran variedad de disciplinas y fenómenos de la ingeniería incluyendo:

- Análisis de estrés y dinámica de componentes y ensambles utilizando el análisis de elementos finitos (FEA).
- Análisis Termal y de fluidos utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD).
- Análisis de Cinemática y de dinámica de mecanismos.
- Simulación mecánica de eventos (MES).
- Análisis de control de sistemas.
- Simulación de procesos de manufactura como forja, moldes y troquelados.
- Optimización del proceso del producto.
- Programas de temporización lógica y verificación. [65]

Usualmente se trabaja con el método de los elementos finitos, siendo necesario mallar la pieza en pequeños elementos y el cálculo que se lleva a término sirve para determinar las interacciones entre estos elementos. Mediante este método, por ejemplo, se podrá determinar qué grosor de material es necesario para resistir cargas especificadas en normas, o bien, conservando un grosor, analizar el comportamiento de materiales con distinto límite de rotura.

En este trabajo se utilizara el método de los elementos finitos, mediante el cual se compararan los 2 materiales propuestos para la elaboración del reactor aerobio con la finalidad de establecer cual resistirá las condiciones deseadas.

3.1.3. Modelos de elemento finito

El análisis de elementos finitos (FEA) es el modelado de productos y sistemas en un entorno virtual, con el propósito de encontrar y resolver potenciales (o actuales) problemas estructurales o de rendimiento. FEA es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que es utilizado por ingenieros y científicos para matemáticamente modelar y resolver numéricamente problemas de complejas estructuras, fluidos y de metafísica. [66]

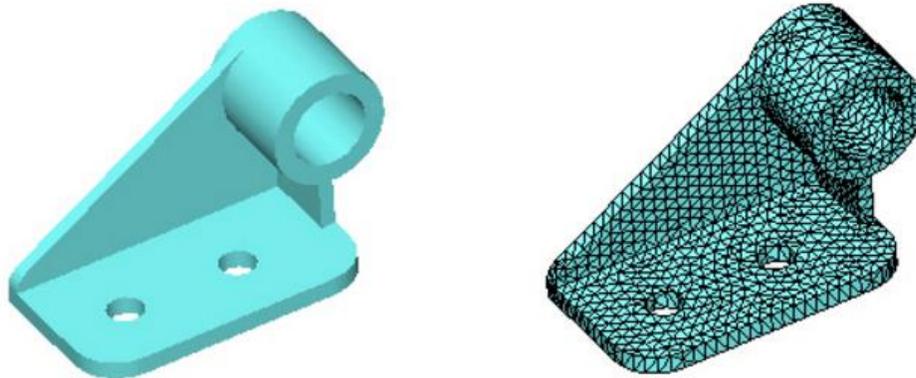


Figura 41 Elemento CAD mallado mediante FEA. [67]

El concepto básico del análisis por elementos finitos para un CAD radica en sustituir el CAD real por un CAD idealizado equivalente, compuesto por un número finito de partes discretas, puntos interconectados entre si llamados nodos que al estar en conjunto forman mallas. Con el objetivo de analizar el CAD, este se divide en un número elevado

de elementos geométricos (denominados elementos finitos) que se colocan al CAD y que en conjunto forman la malla. La densidad de la malla de los elementos finitos puede variar a través del material, en función del cambio esperado en los niveles de estrés de un área en particular. Partes que experimentan grandes cambios en stress por lo general requieren una densidad de malla superiores a los que la experiencia de variación supone poco o ningún esfuerzo. [64], [66]

Existen varios tipos de análisis de elementos finitos de acuerdo al tipo de necesidad, restricciones del modelo, tipo de prueba, geometría a definir, etc. Generar una correcta malla de elementos finitos es el paso más importante para lograr resultados precisos y fiables.

- **Análisis estático:** se emplea cuando la estructura está sometida a acciones estáticas, es decir, no dependientes del tiempo.
- **Estudio de pandeo y frecuencia:** El análisis de pandeo y de frecuencia permite evaluar frecuencias naturales o cargas críticas de pandeo, así como los modos de vibración de sus componentes estructurales o sistemas de soporte.
- **Análisis de vibraciones:** es usado para analizar la estructura sometida a vibraciones aleatorias, choques e impactos.
- **Análisis de fatiga:** ayuda a los diseñadores a predecir la vida del material o de la estructura prediciendo el efecto de los ciclos de carga sobre el espécimen. Este análisis puede mostrar las áreas donde es más probable que se presente una grieta. El análisis por fatiga puede también predecir la tolerancia al fallo del material.
- **Estudio de caída:** permite simular el comportamiento de un modelo de pieza o ensamblaje bajo las condiciones de choque producidas por un impacto.
- **Análisis de transferencia de calor por conductividad o por dinámicas térmicas de flujo del material o la estructura.** El estado continuo de transferencia se refiere a las propiedades térmicas en el material que tiene una difusión lineal de calor.
- **Análisis de flujo de Fluidos:** estudian los modelos para diferentes tipos de fluidos, desde gases a líquidos, con comportamientos lineales y no lineales y su

movimiento e interacción con las estructuras sólidas. Es un campo muy amplio de difícil resolución por las diferentes alternativas que se presentan.

- Análisis de modelos dinámicos: Estos modelos pueden ser lineales y no lineales, permitiendo resolver problemas más complejos que los estructurales estáticos.
- Análisis en bioingeniería: Son modelos que nos permiten predecir el comportamiento de los sistemas biológicos y diseñar los componentes adecuados obteniendo nuevos desarrollos en prótesis, órganos artificiales. [65]

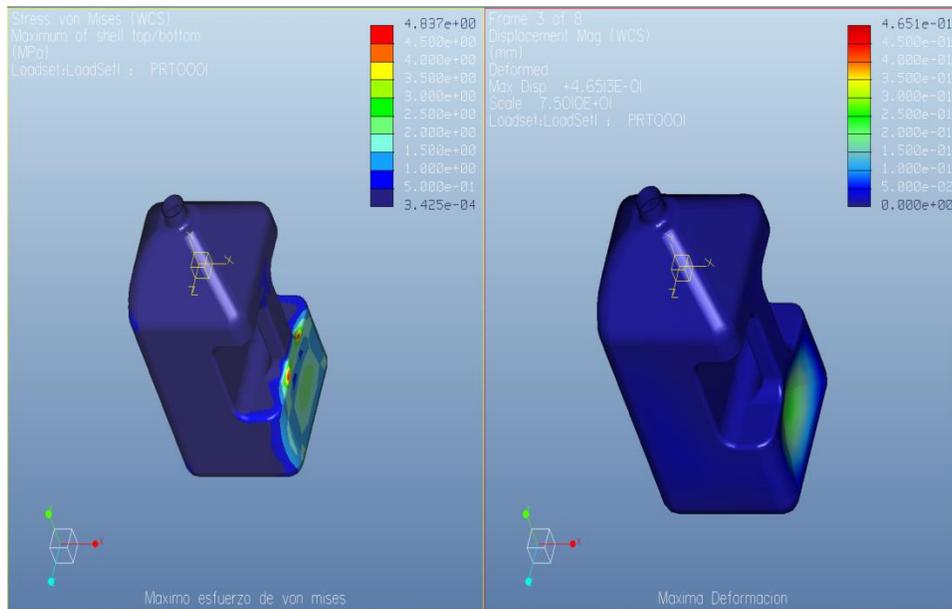


Figura 42 Ejemplo de análisis de cargas en un producto.

3.1.4. Proceso del CAE

El empleo de cualquier sistema CAE involucra una serie de pasos, que sin importar que software se utilice para el análisis, siempre serán los mismos. Una vez obtenido o liberado el producto por medio del CAD la realización del análisis virtual del mismo por medio del CAE involucrara los pasos que se muestran a continuación.



Figura 43 Proceso del CAE.

3.1.5. Reportes CAE

No existe una fórmula o una teoría en cómo deberán elaborarse los reportes. El reporte de CAE deberá formularse dependiendo cuál el objetivo, alcance o metas de diseño. Sin embargo con base a las mejores prácticas se recomienda que contenga lo siguiente:

- Portada
 - Nombre del producto
 - Empresa o logo
 - Fecha
- Tipo de prueba
- Suposiciones
- Métodos y software usado
- Planteamiento del problema
- Establecer las condiciones
 - Propiedades de los materiales
- Analizar los resultados
- Visualizar gráficos
- Simulaciones (video)
- Tablas de comparación
- Conclusiones
- Recomendaciones o cambios.

3.1.6. Lista de comprobación para el diseño del reactor

Tabla 20 Lista de comprobación del reactor aerobio.

Nombre de la pieza: Reactor aerobio		Material: Polietileno de alta densidad	
Descripción de la aplicación: Compostero de tambor rotatorio para la fabricación de composta. Su principio de funcionalidad consiste en depositar el material a compostar en un contenedor que se encuentra apoyado en una estructura por medio de un eje que permite la rotación del mismo para forzar la aireación, facilitar el mezclado y acelerar el proceso.			
A. Limitaciones físicas.			
Longitud: 80 cm	Ancho: 50 cm	Alto: 70 cm	Densidad: 0.942 g/cm³
Espesor: 5 mm	Capacidad: 150 L	Carga de material a compostar: 60 kg	
Duración del proceso: 1 a 3 meses	Factor de Seguridad: 2.5	Vida funcional: 5 años	
B. Características de los materiales.			
Propuesta 1: DOW HDPE DPDA 3220 NT7		Propuesta 2: HDPE ROTOLENE HD	
B.1. Propiedades mecánicas.			
Módulo de Young (E): 1000 MPa		Relación de Poisson: 0.46	
Resistencia a tensión: 21.4 MPa		Resistencia a tensión: 20.7 MPa	
B.2. Propiedades térmicas.			
Coeficiente de expansión térmica: 100-200 x 10⁶ K⁻¹			
Temperatura de flexión bajo carga: 55.6 °C		Temperatura de flexión bajo carga: 65 °C	
C. Limitaciones ambientales.			
Resistencia química continua: Materia orgánica en descomposición, microorganismos, bacterias, hongos, agua, tierra, compuestos orgánicos, emisiones de CO₂, metano (CH₄), amoníaco (NH₃), luz UV, polvo.	Resistencia química intermitente: Jabón, cloro, detergente, pesticidas, agroquímicos.	Resistencia química ocasional: pinturas, aceites, aerosoles, residuos inorgánicos, residuos sintéticos.	
Temperatura máxima + duración: 70°C de 3-5 días.	Temperatura mínima + duración: -10°C de 12hrs – 5 días.	En operación + duración: 20-25°C de 1-3 meses	
Luz ultravioleta: Debe resistir en el exterior, por lo que el material debe de ser reforzado con aditivos y colorantes.	Resistencia al agua: debe de ser resistente a los efectos de la oxidación.	Transmisión de humedad de vapor: sin transmisión, debe de ser impermeable.	
Radiación:	Inflamabilidad:		

D. Requerimientos de apariencia.		
Acabado superficial interior (SPI#):	Acabado superficial exterior (SPI#):	Textura:
Color: Amarillo PANTONE 13-0630 TN Verde PANTONE 802 C	Translucidez:	Transparencia:
E. Requerimientos de ensamblaje.		
Piezas por ensamblar a, método preparado para (tornillos, solventes, etc.) y tipo (permanente, servicial, ocasionalmente, etc.)		
1. Compostero cuerpo: colocado sobre 5. Por medio del 3. De forma permanente.	2. Puerta deslizable: ensambla a 1. de forma servicial.	
3. Eje central: ensambla a 1. De forma permanente y se fija 5. De forma permanente.	4. Aspas: ensambla a 3. De forma permanente por medio de chavetas.	
5. Base o estructura: el 1,2,3,4. Son colocados de forma permanente.	6. Sistema de engranes: permite transmitir el movimiento rotacional de la 7. Al 1. Y 3. de forma permanente. Son fijados por medio de chavetas.	
7. Palanca o manivela: se fija al 6. Por medio de chavetas de forma permanente.		
F. Listado de pruebas realizadas a este producto.		
1. Temperatura de deflexión bajo carga ASTM D648	2. Deformación bajo carga ASTM D629	3. Environmental stress cracking resistance ASTM 1693
4. Resistencia al impacto ASTM D256		
F.1. Listado de pruebas para el CAE		
1. Cargas	2. Movimientos	3. Ensamblajes
G. Condiciones adicionales.		
El reactor aerobio estará diseñado para ser usado en exteriores, en un periodo no mayor a 3 meses con una carga constante de 60 kg. El sistema no incluye mecanismos de reducción del tamaño del material a compostar así como sistemas clasificadores de impurezas. El inadecuado uso del reactor aerobio fuera de las condiciones especificadas puede provocar fallas en la funcionalidad o deterioros prematuros del producto		

3.1.7. Elaboración del CAE del reactor aerobio

Debido a la complejidad que involucra realizar un CAE un producto (en este caso del reactor aerobio), en este trabajo de investigación solo se tomara como referencia la evaluación del componente más crítico que es el cuerpo del reactor aerobio. El motivo de analizar este componente se debe a que el proceso del compostaje se llevara a cabo en él y este presentara la mayoría de las condiciones operacionales del producto. Con los resultados obtenidos de la validación del mismo podemos asumir o suponer si los demás componentes elaborados con polietileno de alta densidad resistirán o no las condiciones, en este caso de deformación bajo cargas.

Como parte del análisis se compararan los materiales propuestos para establecer y elegir el que más convenga con los resultados obtenidos, considerando que lo que se desea comparar es la resistencia, sin importar su precio o características adicionales.



Figura 44 Componente a validar: cuerpo del reactor aerobio.

El proceso del CAE del cuerpo del reactor aerobio se llevara a cabo por medio del software Creo Parametric 2.0 empleando los pasos vistos en el punto 3.1.4 que serán adaptados con base a las características del programa para la elaboración del CAE, cada una de las etapas involucradas se muestran a continuación.

3.1.7.1. CASO 1: Validación con HDPE 3220 NT7 Dow chemical.

La fase inicial consiste en verificar y asignar unidades (como se muestra en la figura 45), con la finalidad de colocar la información requerida en la base de datos del software. La asignación de las características del material es vital para la elaboración del CAE de cualquier producto.

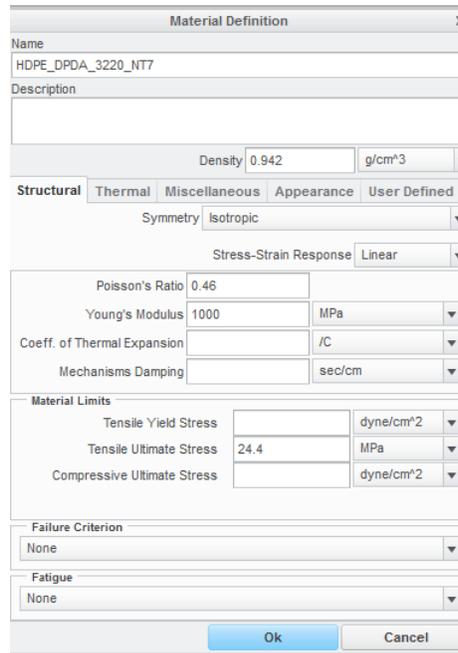


Figura 45 Asignación de las características del material a validar

Antes de realizar cualquier tipo de simulación virtual es necesario contar previamente con el CAD del producto. Para el uso del programa utilizado en este trabajo, el cambio del CAD al CAE se lleva a cabo por medio de la herramienta simulate (como se muestra en la figura 46).

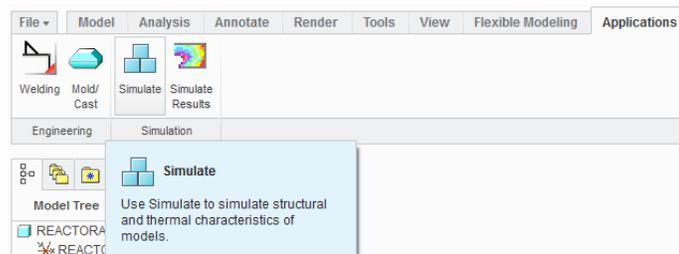


Figura 46 Cambio del CAD al CAE.

Una vez dentro del CAE, el siguiente paso consiste en asignar el material (previamente registrado en la base de datos) al modelo. Para efectos del software empleado, la asignación del material se muestra en forma de etiquetas en el modelo para con ello dar por entendido que se le fue asignado el material como se muestra en la Figura 47.

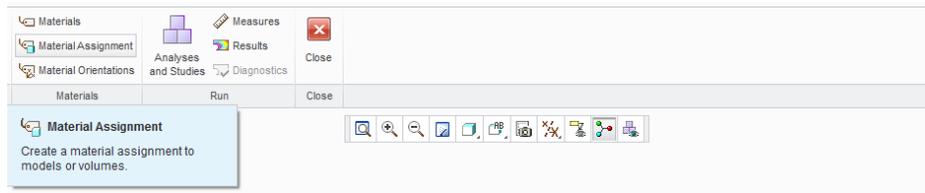


Figura 47 Cambio del CAD al CAE.

La fase siguiente consiste en el mallado del modelo, por medio de la herramienta AutoGEM el software crea elementos finitos en el modelo (como se vio anteriormente en el capítulo 3.1.3.). La mayoría de los programas genera lo mallados por default.

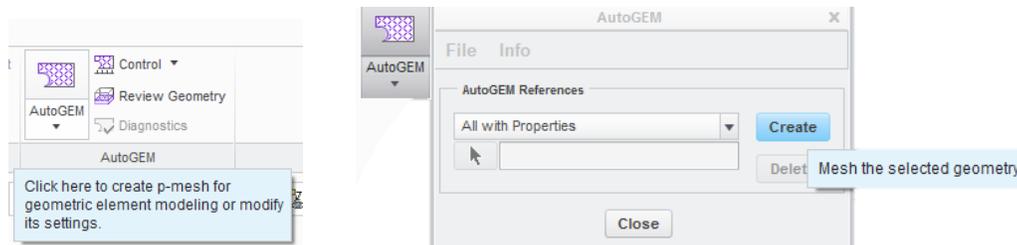


Figura 48 Asignación del mallado al modelo.

Dependiendo a la geometría del modelo, el programa puede tardar varios minutos el realizar el mallado. Una vez que el proceso termino, el software muestra un cuadro de dialogo con las condiciones que empleo y también da presentación del modelo ya mallado (como se muestra en la figura 49).

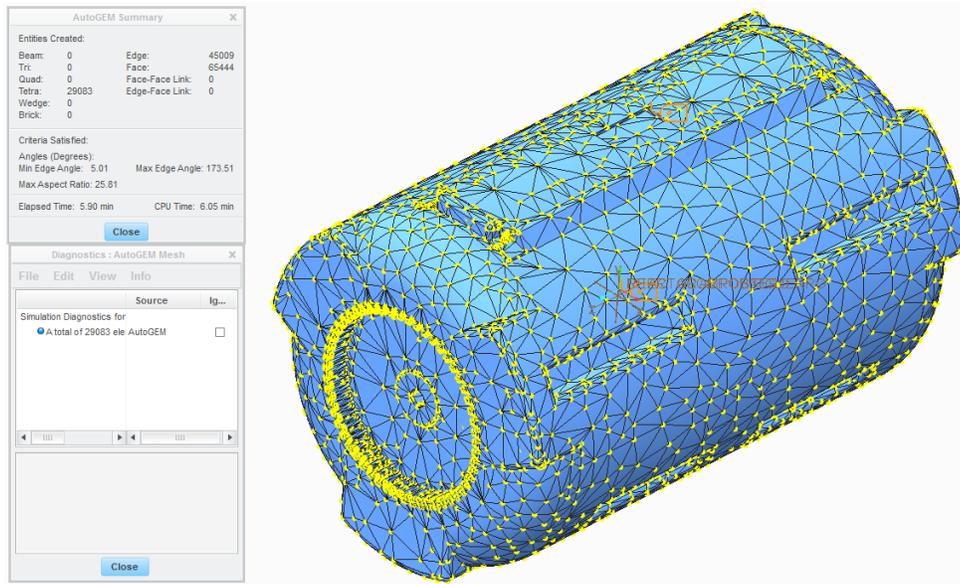


Figura 49 Mallado del cuerpo del reactor aerobio.

Restringir el movimiento del componente a validar es la siguiente etapa en el proceso del CAE. Esta etapa consiste en simular las condiciones operacionales a las cuales estará expuesto el componente, esto es, restringir los grados de libertad del modelo suponiendo que este se encuentra en un plano XYZ.

Cada software brinda diferentes opciones para restringir el movimiento y adaptarlas con base a las geometrías de los productos. Para el caso de nuestro programa, la herramienta a emplear es Pin (figura 50), puesto que esta herramienta permite suponer que el componente gira en el eje z sujetado por los dos extremos, por lo tanto todos los desplazamientos y giros en los demás ejes estarán restringidos (como se muestra en la figura 51).

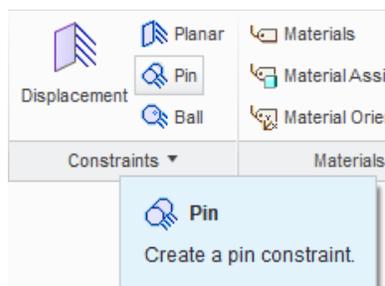


Figura 50 Herramienta de restricción de movimiento Pin.

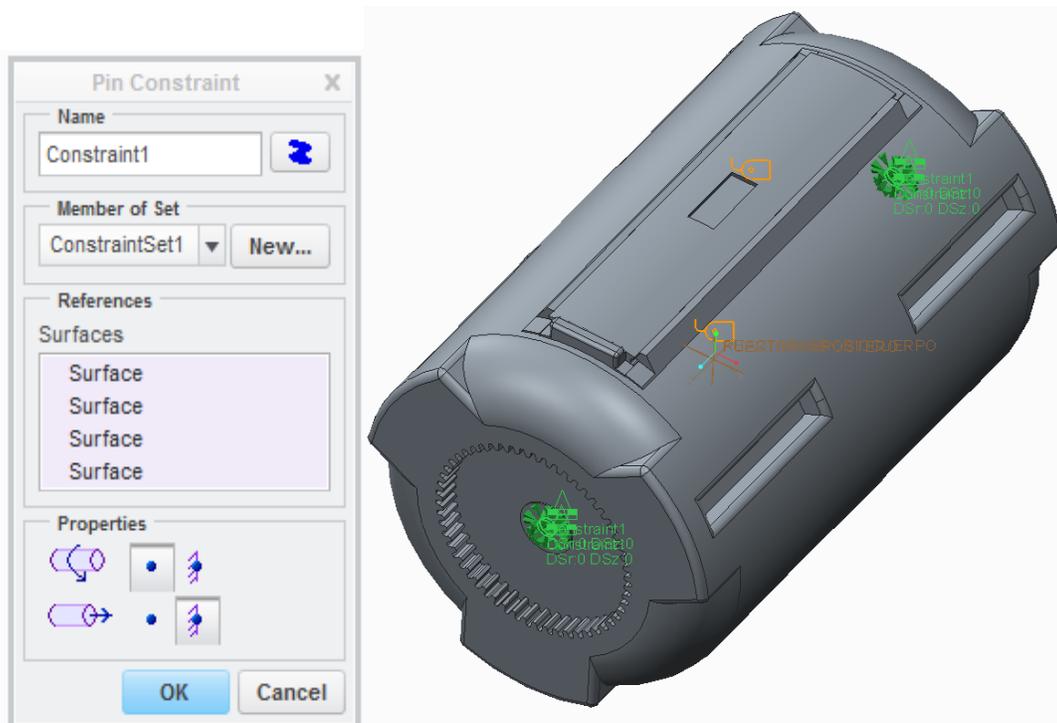


Figura 51 Restricción del cuerpo del reactor aerobio.

Para la realización del CAE, la restricción del movimiento permite establecer las condiciones del análisis (asignar cargas). Para el caso del cuerpo del reactor aerobio, las cargas se aplicaran siempre sobre toda la mitad de la superficie de modo que el peso del material a compostar propuesto para su uso será de 60 kg, se distribuirá a lo largo de todo el cuerpo del reactor aerobio sobre el eje Y negativo. Para brindar seguridad en el uso y la funcionalidad del reactor aerobio para el diseño de sus componentes se propuso considerar un factor de seguridad de 2.5.

Debido a que la función de este componente es de contener, en su interior el material ejercerá una fuerza de presión de adentro hacia afuera por efectos de la gravedad, pero el material solo se encontrara posicionado siempre a la mitad del mismo y a la vez este rotara no de forma constante pero si simulando a un balero o una flecha. La herramienta de carga a usar es la de bearing en la cara interna del componente.

La herramienta bearing en el software Creo Parametric 2.0. permite simular la carga en un cuerpo cuando la fuerza actúa sobre la mitad de una cara del mismo, por lo cual

esta herramienta es la que más conviene para realizar el análisis del cuerpo del reactor aerobio.

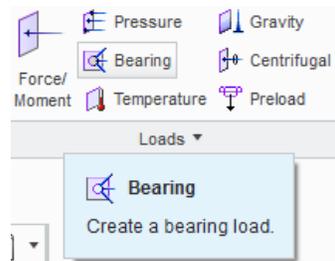


Figura 52 Herramienta de asignación de carga.

Una vez seleccionada la herramienta, solo resta colocar la información requerida dentro del cuadro de dialogo que el software muestra para así asignar las cargas correspondientes (como se muestra en la figura 53).

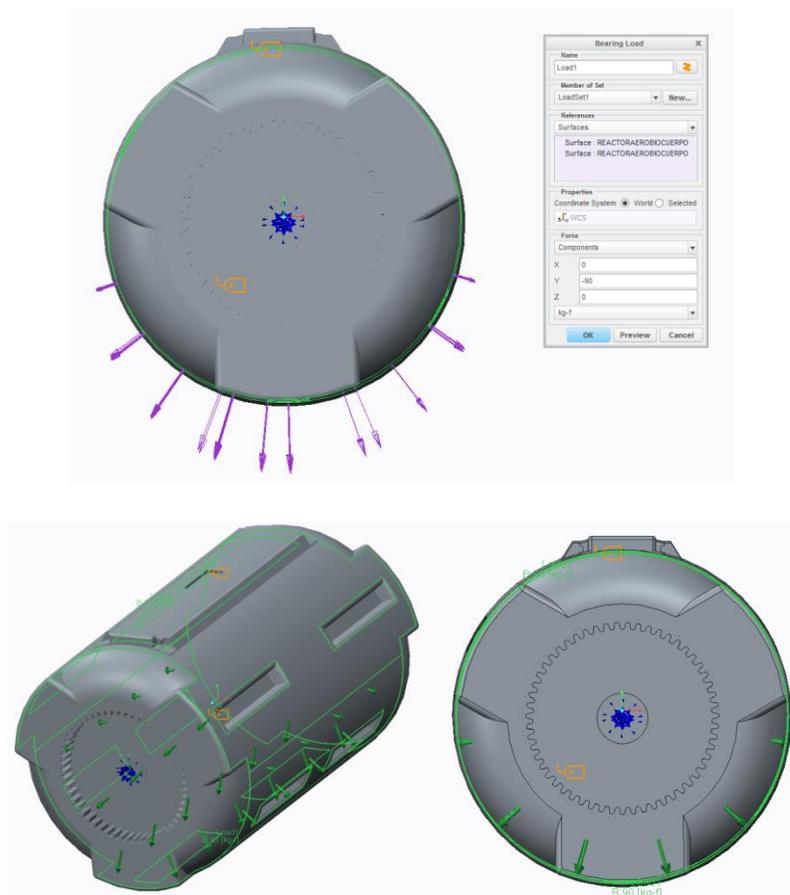


Figura 53 Asignación de la carga al cuerpo del reactor aerobio.

Por ultimo solo queda aplicar el análisis, por medio de la herramienta analyses and studies (figura 54) el software muestra un cuadro de dialogo en el cual el usuario coloca el tipo de análisis que requiere y selecciona las condiciones (figura 55).

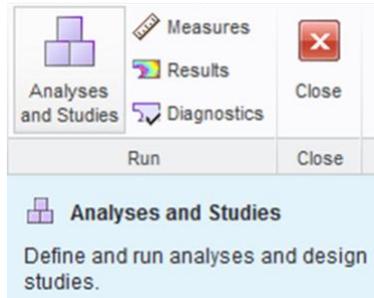


Figura 54 Herramienta para la aplicación del análisis.

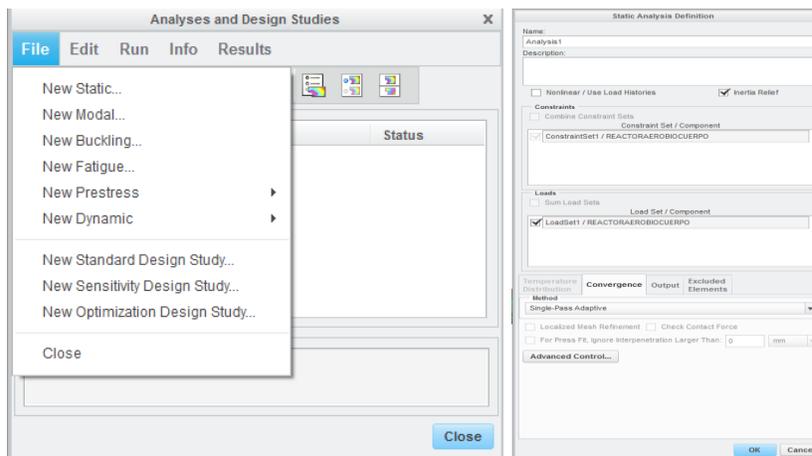


Figura 55 Tipos y condiciones del análisis.

Se selecciona el análisis que se desea realizar y posteriormente se corre el mismo para que el programa realice y ejecute las condiciones establecidas anteriormente.

El software muestra un cuadro de dialogo que muestra el status del análisis una vez que este es solicitado por el usuario. Cuando en el estudio el status aparece como running o ejecutando, significa que el programa sigue trabajando en el análisis. Después de un periodo de tiempo y dependiendo a la complejidad del componente, el status cambia a completed o completo cuando el software termino de ejecutar el análisis (como se muestra en la figura 56).

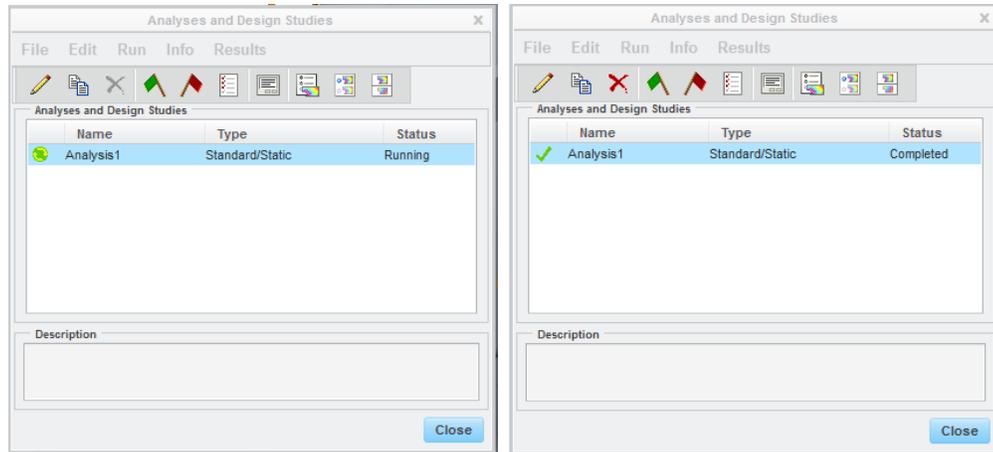


Figura 56 Status y ejecución del análisis.

Por ultimo solo resta mostrar los resultados obtenidos (figura 55), para con ello dar por terminado el análisis y pasar a las siguientes fases del diseño del producto.

3.1.7.2. Caso 2: validación con HDPE ROTOLENE polímeros mexicanos.

Puesto que ya se tiene el trabajo previo del caso 1 realizado anteriormente, llevar a cabo la realización del caso 2 será mucho más fácil de realizar puesto que solo se requiere colocar las características del nuevo material y asignar el nuevo material al cuerpo del reactor aerobio (figura 57) para con esto volver a correr la simulación.

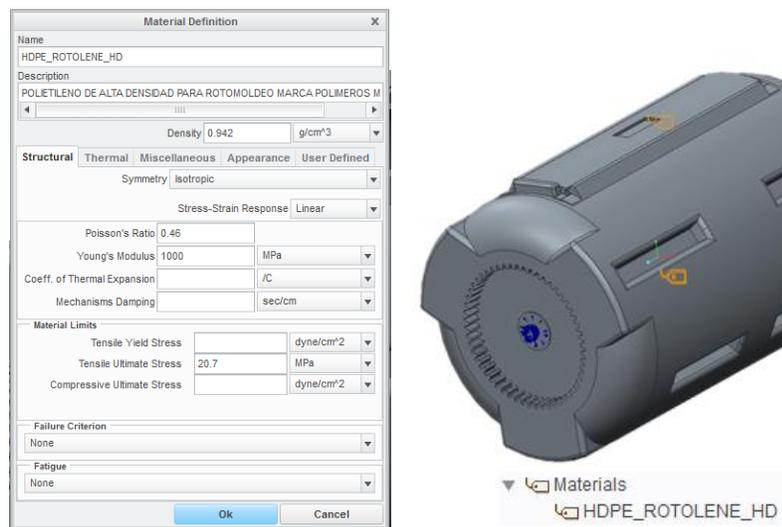
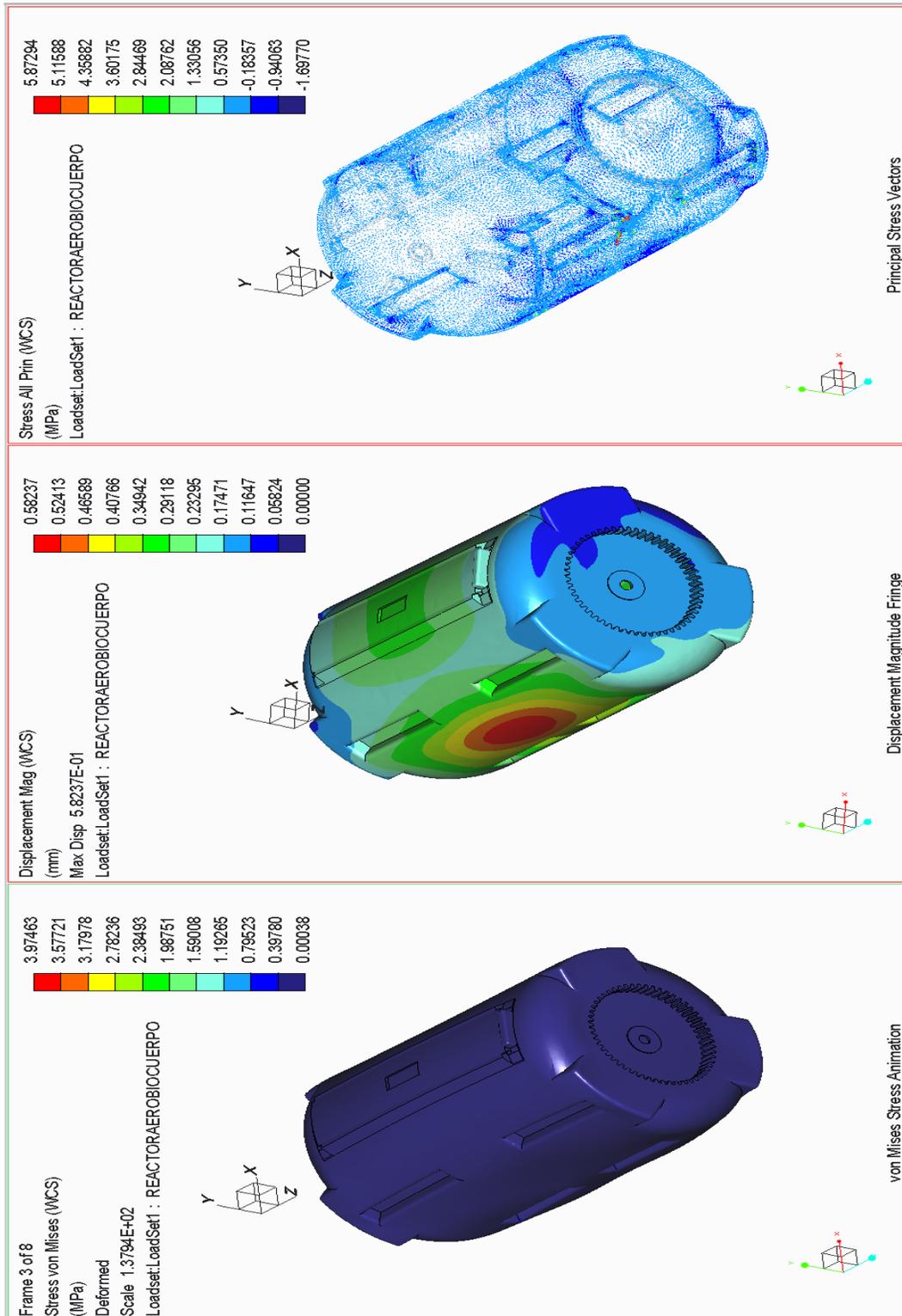
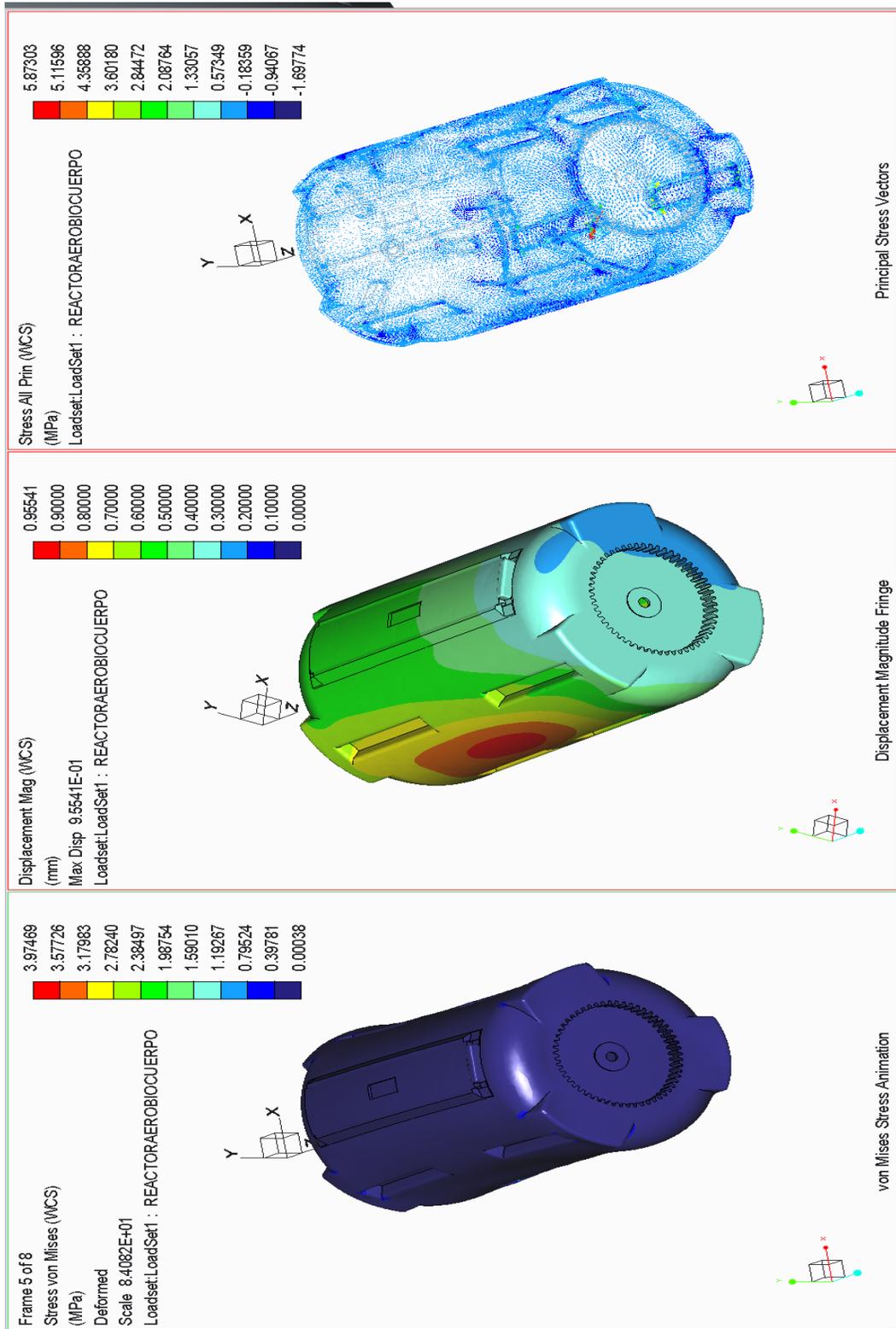


Figura 57 Asignación de las características del material a validar.

3.1.8. Resultados obtenidos caso 1



3.1.9. Resultados obtenidos caso 2





CAPÍTULO IV

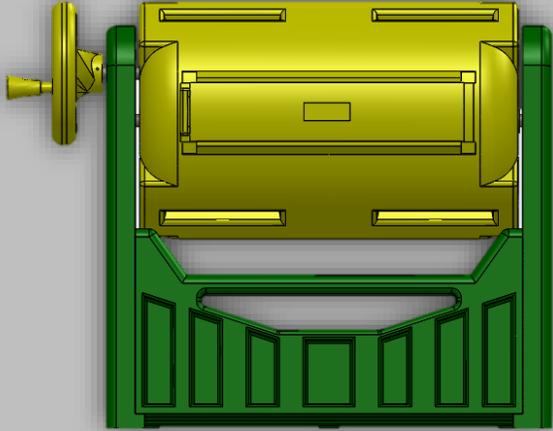
CONCLUSIONES

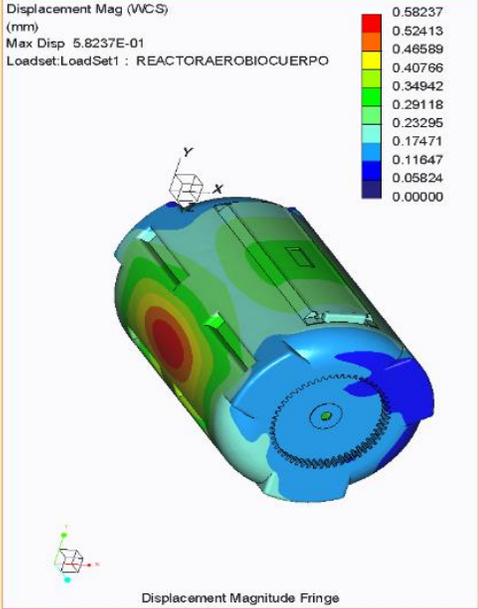
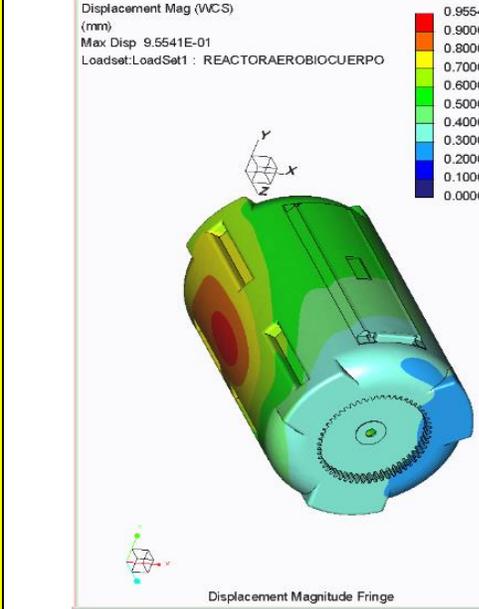
CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

4.1. Reporte CAE del reactor aerobio.

Tabla 21 Reporte CAE del reactor aerobio

Reporte CAE			
Nombre del producto:	Reactor aerobio	Fecha de aplicación del análisis:	12 de Marzo del 2016
			
Nombre del software para la validación:	Creo Parametric 2.0		
Componente a validar:	 <p style="text-align: center;">Cuerpo del reactor aerobio.</p>		

Tipo de prueba:		Análisis estático de presión bajo cargas.	
Planteamiento del problema para la validación			
<p>Para la realización del CAE de este componente, la restricción del movimiento deberá simular que el cuerpo del reactor aerobio se encuentre colocado sobre un eje el cual permite su rotación.</p> <p>Las cargas se aplicaran siempre sobre toda la mitad de la superficie de modo que el peso del material a compostar propuesto para su uso será de 60 kg esto para no sobrepasar $\frac{3}{4}$ partes de la capacidad del componente. La carga se distribuirá a lo largo de todo el cuerpo del reactor aerobio sobre el eje Y negativo.</p> <p>Para brindar seguridad en el uso y la funcionalidad del reactor aerobio para el diseño de sus componentes se propuso considerar un factor de seguridad de 2.</p>			
Condiciones para la Validación			
Propuesta de material 1:		Propuesta de material 2:	
DOW HDPE DPDA 3220 NT7		HDPE ROTOLENE HD	
Resistencia a la tensión:	21.4 MPa	Resistencia a la tensión:	20.7 MPa
Análisis de resultados			
<p>Displacement Mag (WCS) (mm) Max Disp 5.8237E-01 Loadset:LoadSet1 : REACTORAEROBIOCUERPO</p>  <p>Displacement Magnitude Fringe</p>		<p>Displacement Mag (WCS) (mm) Max Disp 9.5541E-01 Loadset:LoadSet1 : REACTORAEROBIOCUERPO</p>  <p>Displacement Magnitude Fringe</p>	

Máxima deformación propuesta 1:

La deformación máxima que presenta este material en el componente de 0.58237 mm nos indica que los esfuerzos que están presentes no representan amenaza alguna. La deformación que se obtuvo en el CAE es mínima y no representa problema alguno para el componente por lo que el uso de este material es viable.

Máxima deformación propuesta 2:

La deformación máxima que presenta este material en el componente de 0.9541 mm nos indica que los esfuerzos que están presentes no representan amenaza alguna. La deformación que se obtuvo en el CAE es mínima y no representa problema alguno para el componente por lo que el uso de este material es viable.

Con los resultados obtenidos podemos ver que las deformaciones presentes en el componente son mínimas. Ambos materiales son viables para la aplicación, la diferencia entre ambos materiales radica en:

Propuesta 1: este material presenta más rigidez lo cual lo puede hacer más estable y resistente a las condiciones que será expuesto.

Propuesta 2: este material presenta más elasticidad por lo cual puede ser más resistente a los impactos o golpes que el producto pueda sufrir.

4.2. Conclusiones

La importancia de la correcta elaboración de cada una de las etapas desarrolladas a lo largo de este trabajo de investigación, desde la búsqueda y el establecimiento de los requerimientos hasta la elaboración del diseño del producto, es necesaria para llegar al punto de validar virtualmente un producto o cualquiera de los componentes del mismo. Pese a que la realización de una validación virtual es muy compleja e involucra un conjunto de diferentes actividades, para los fines de este trabajo, los resultados fueron obtenidos analizando el componente más crítico (el componente de mayor importancia) del reactor aerobio.

Debido a que el cuerpo del reactor aerobio es el componente donde se llevara a cabo el proceso del compostaje, con los resultados obtenidos en la validación virtual de este componente podemos hacer las siguientes conclusiones:

4.2.1. Conclusión 1: resistencia de los materiales propuestos.

Para validar la resistencia de los materiales propuestos se propuso que los resultados obtenidos en el CAE cumplan con la condición vista en el capítulo 1.2.4.4 Diseño de elementos sometidos bajo tensión o compresión. Esa condición se basa en la fórmula:

$$\sigma < \frac{S_u}{N}$$

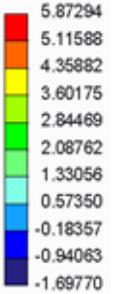
Donde:

σ = Es el esfuerzo máximo que puede soportar el material aplicado en el producto obtenida del CAE.

S_u = Es el esfuerzo que el material tiene en su ficha de especificación.

N = Es el factor de seguridad propuesto para el diseño.

Tabla 22 Resistencia de los materiales propuestos.

Propuesta de material 1:		Propuesta de material 2:	
DOW HDPE DPDA 3220 NT7		HDPE ROTOLENE HD	
Resistencia a la tensión del material:	21.4 MPa	Resistencia a la tensión del material:	20.7 MPa
	Esfuerzo máximo obtenido del CAE:		Esfuerzo máximo obtenido del CAE:
	5.87294 MPa		5.87303 MPa
Factor de seguridad	2.5	Factor de seguridad	2.5
$\sigma < \frac{S_u}{N}$ $5.87294 \text{ MPa} < \frac{21.4 \text{ MPa}}{2.5}$ $5.87294 \text{ MPa} < 8.56 \text{ MPa}$		$\sigma < \frac{S_u}{N}$ $5.87303 \text{ MPa} < \frac{20.7 \text{ MPa}}{2.5}$ $5.87303 \text{ MPa} < 8.28 \text{ MPa}$	

Como se observa en las tablas ambos materiales resistirían sin problema alguno y se encuentran aproximadamente 30% por debajo de la resistencia que los proveedores muestran en sus fichas técnicas. La variación en los resultados obtenidos es mínima y podemos concluir que si ambos materiales resistieron las condiciones del componente más crítico, cualquiera que sea el caso, ambos materiales son viables para ser empleados en los componentes plásticos del reactor aerobio.

4.2.2. Conclusión 2: diseño del reactor aerobio.

Con el análisis obtenido de la validación del cuerpo del reactor aerobio podemos asumir que el diseño propuesto se realizó correctamente puesto que resistió sin problema alguno las condiciones establecidas en el CAE que simularon el comportamiento futuro al que el reactor aerobio estará expuesto en su vida útil.

La importancia de evaluar el componente más crítico del reactor aerobio con los materiales propuestos y concluir que este resistirá, permitió asumir que los demás componentes soportaran los requerimientos deseados del reactor aerobio al soportar las cargas del material a compostar.

Las dimensiones y espesores propuestos en el diseño no serán modificados, por lo cual los cambios que se requieran posteriormente a este trabajo no serán sobre el diseño, se pretende que sean ayudas para mejorar el ensamblaje o el funcionamiento del producto o sus componentes, esto por medio de la adaptación de accesorios o ajustando y proponiendo tolerancias.

4.3. Propuestas, comentarios finales y futuros cambios en el diseño.

Puesto que el 80% de los componentes del reactor aerobio fueron diseñados con materiales plásticos. Una vez lanzando el producto al mercado, se pretende que se sustituyan las resinas vírgenes por materiales reciclados.

Esta propuesta, permitirá hacer al reactor aerobio un sistema socialmente responsable muy completo puesto que además de tratar los residuos orgánicos, también se podrán tratar los materiales plásticos post consumo o post proceso.

Debido a que el tipo de aplicación permite sustituir los porcentajes de resina virgen por materiales reciclados, esta condición será aplicada siempre y cuando las propiedades o características del producto no sean afectadas y se podrá jugar con los porcentajes hasta encontrar el equilibrio donde no se llegue a la falla o afecte el funcionamiento de los componentes o el producto.



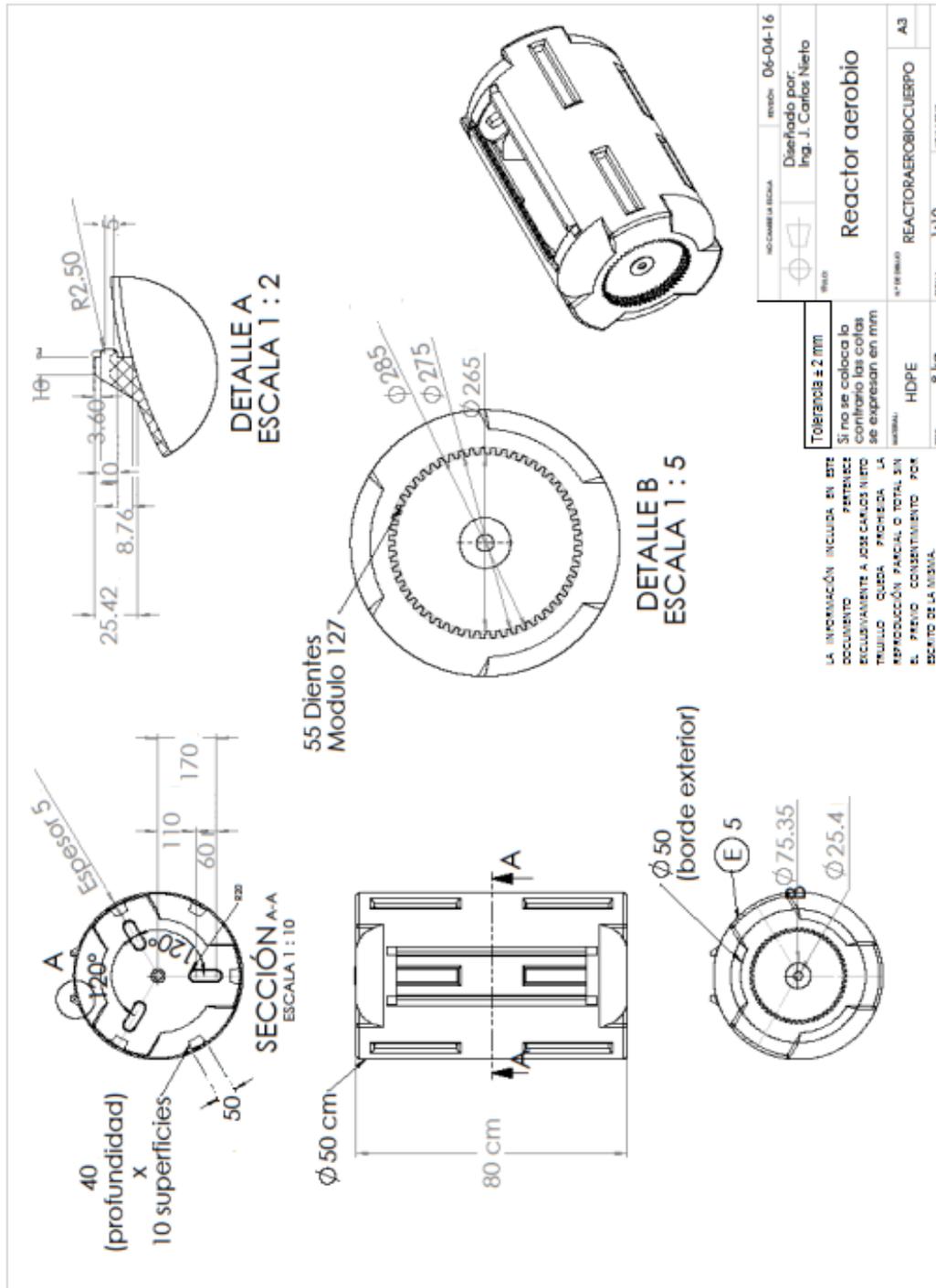
Figura 58 Cambio de resinas vírgenes por materiales plásticos reciclados.

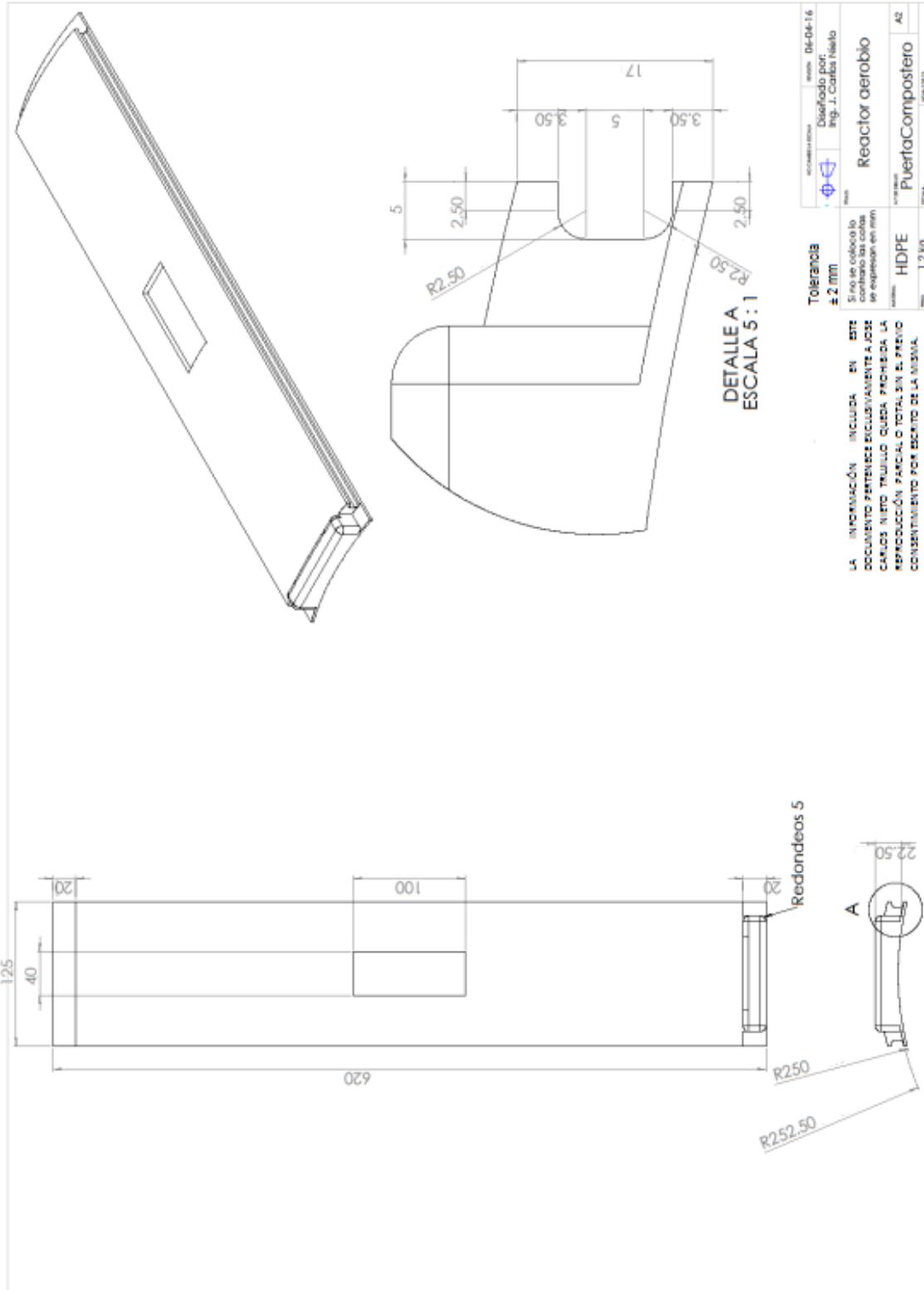
El reactor aerobio puede ser rediseñado en un futuro para aumentar o disminuir la capacidad de producción de composta. Con base al mercado, se puede lanzar diferentes tamaños del mismo haciendo composteras desde 50 L hasta 200 L, esto permitirá procesar los residuos para autoconsumo o para su venta.

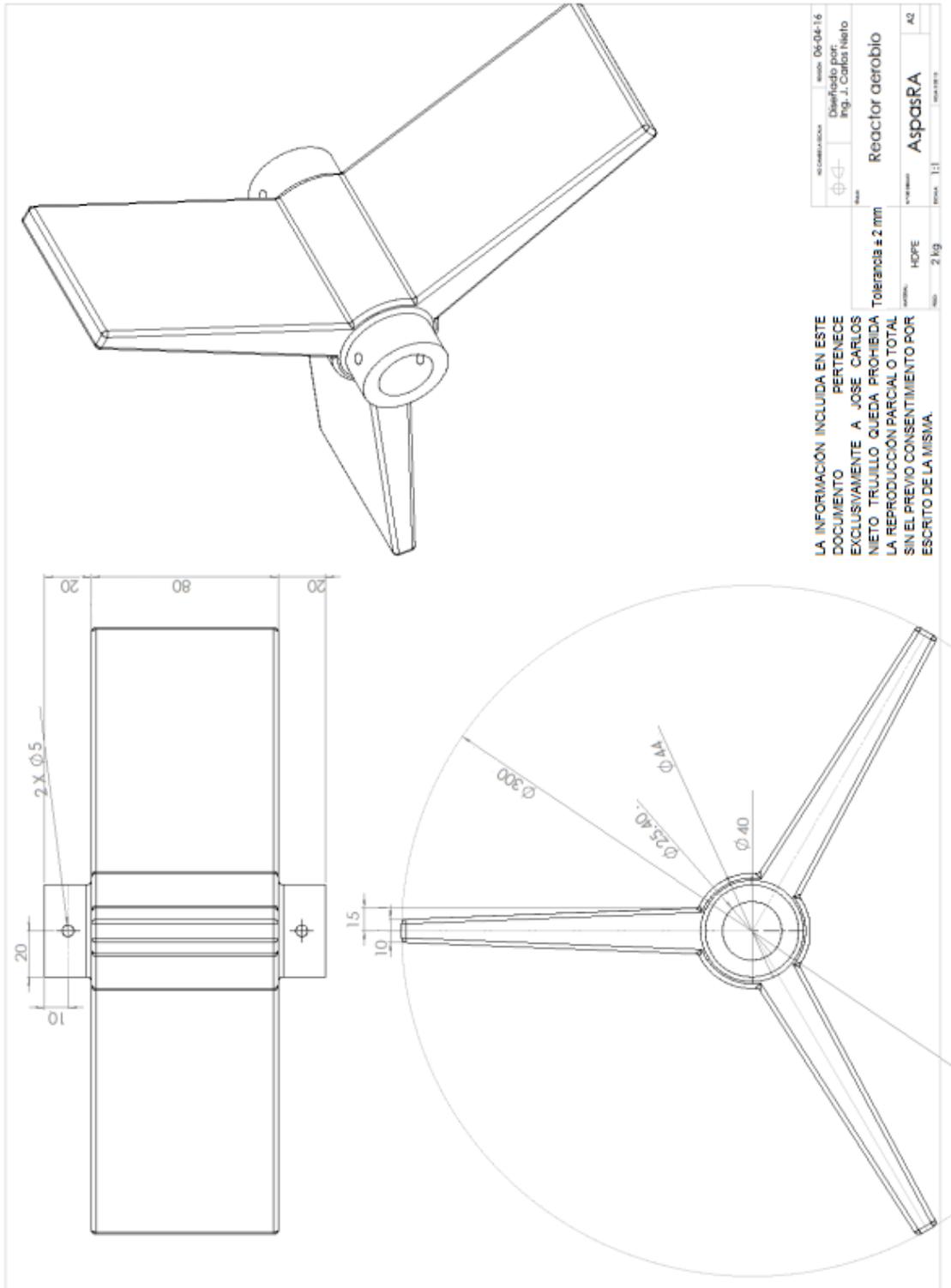
La propuesta de emplear una compostera de menor capacidad puede ser útil para consumidores principiantes, mientras que la compostera de mayor capacidad puede ser usada por consumidores expertos en el tema o que requieran procesar una mayor cantidad de residuos orgánicos.

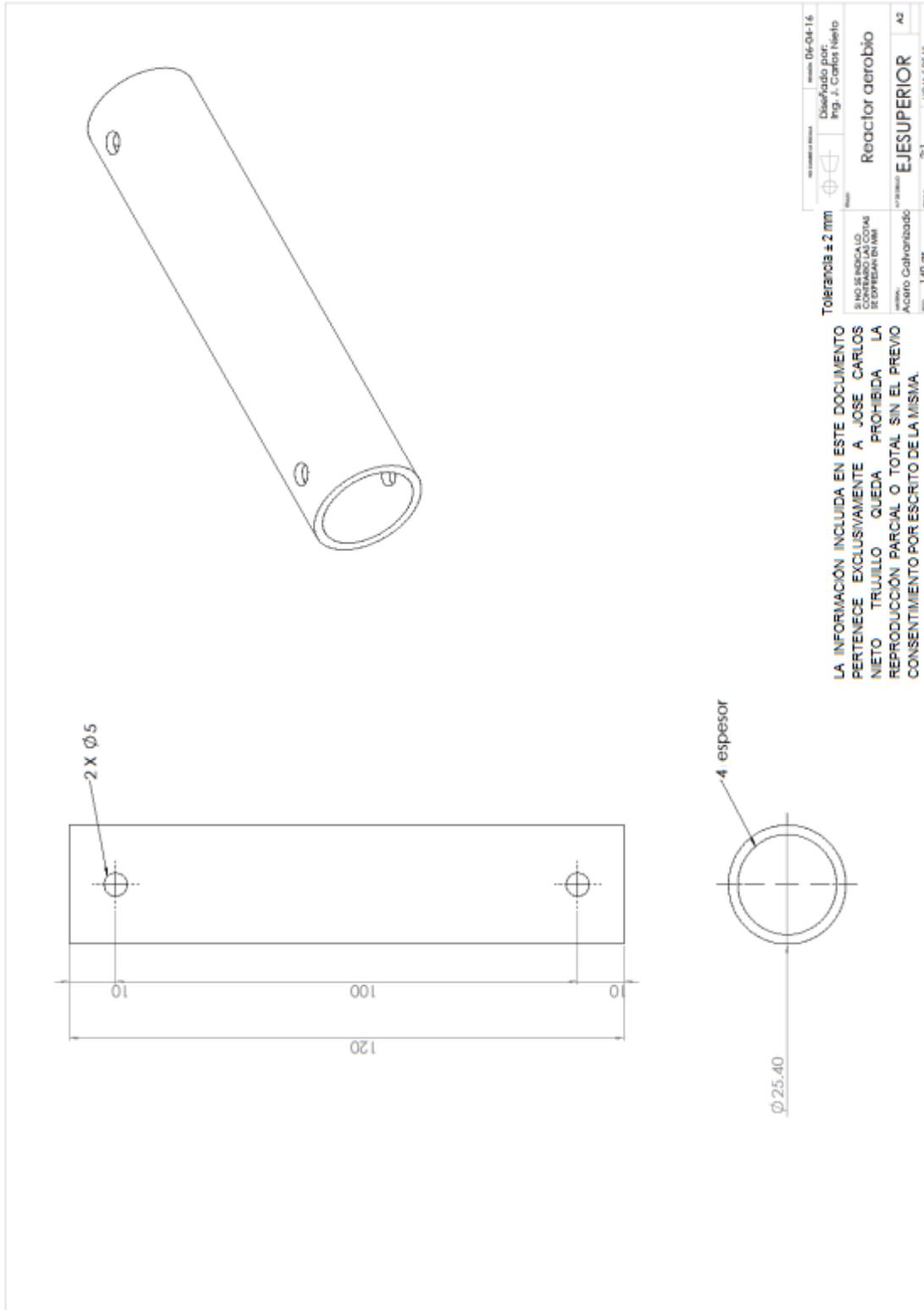
En el diseño del reactor aerobio se propuso el empleo de un medidor de temperatura, pH y humedad que servirá para controlar el proceso del compostaje. Esta propuesta es opcional y a menos que el cliente lo requiera se incluirá con el reactor aerobio.

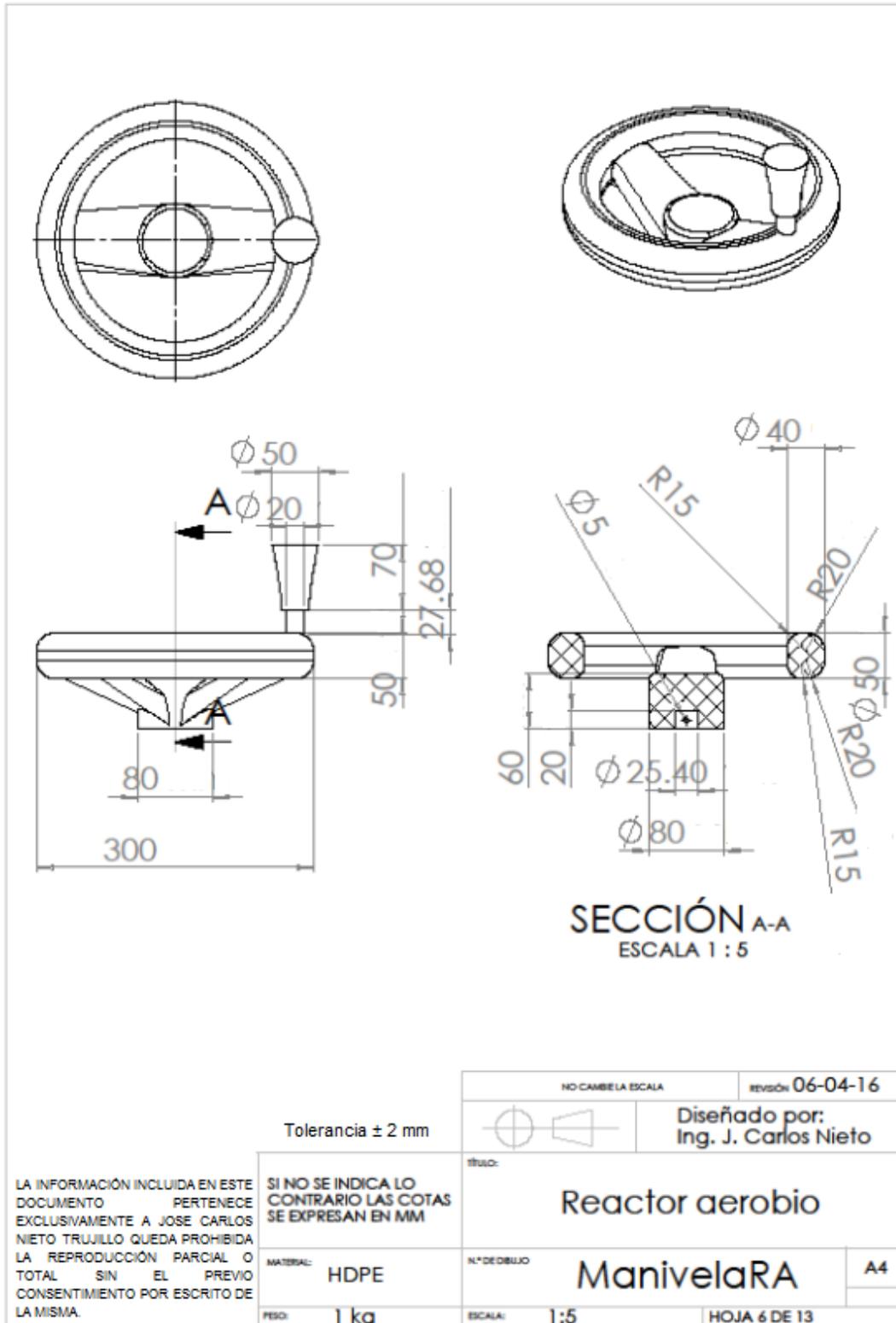
4.4. Dibujos de detalle

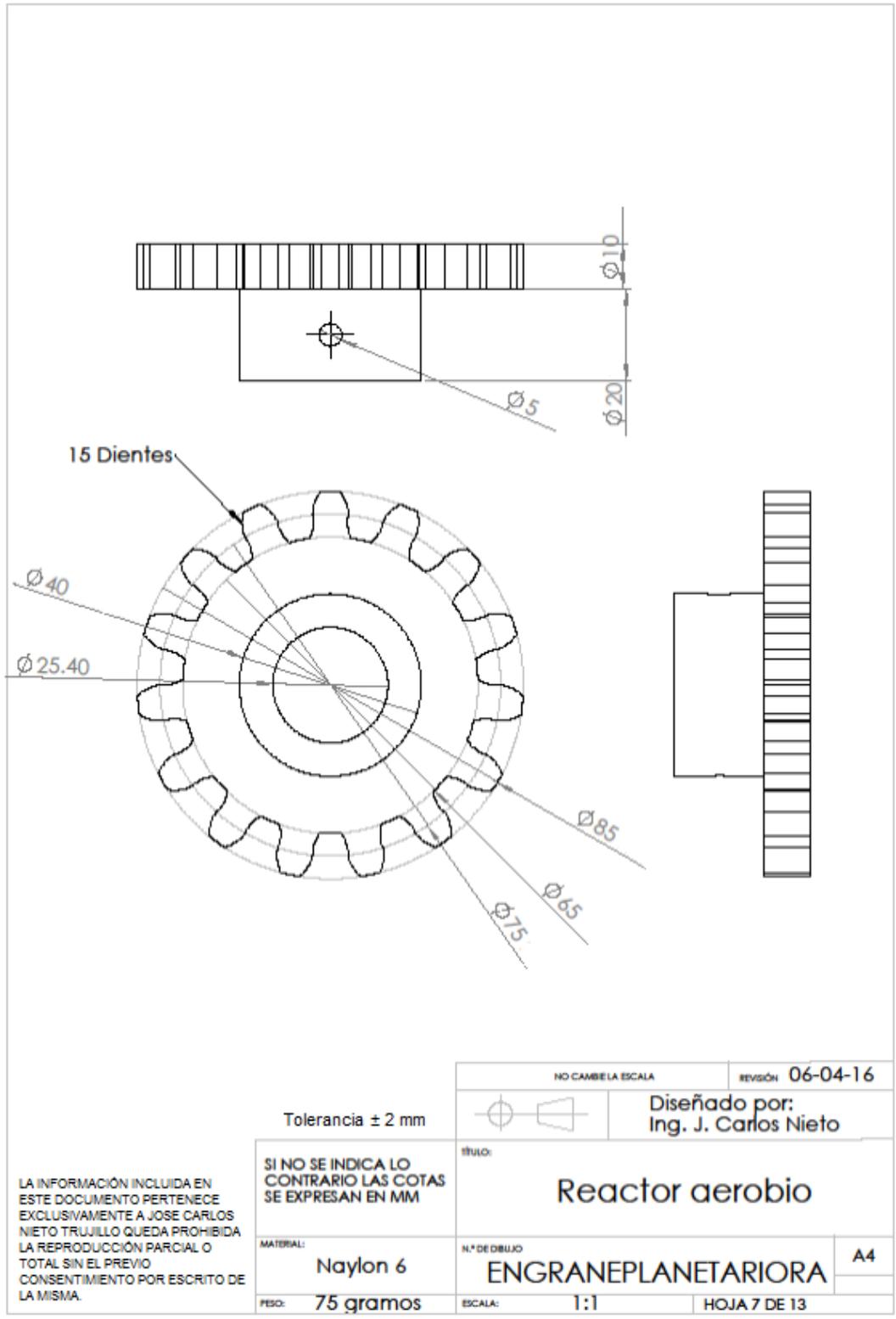


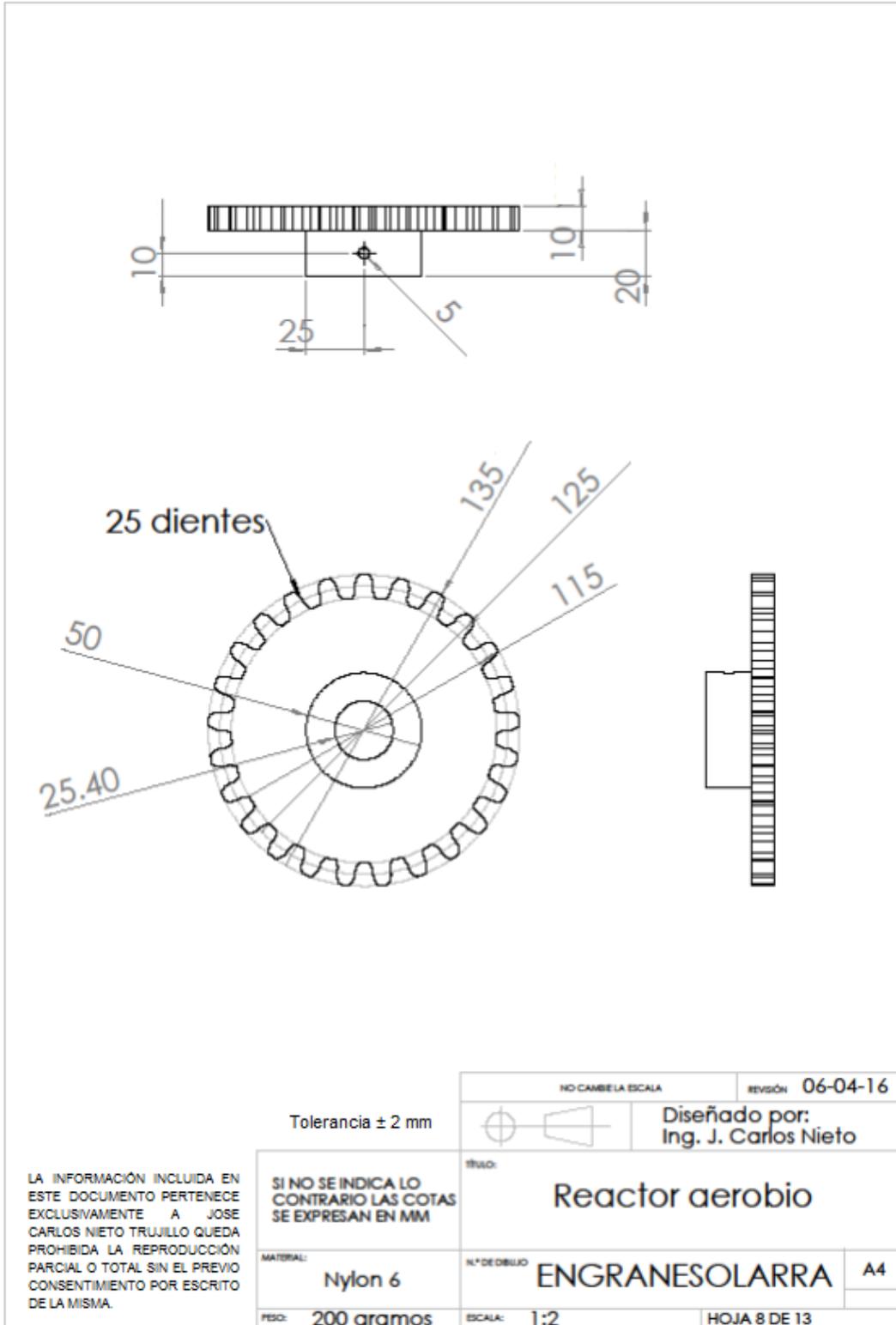


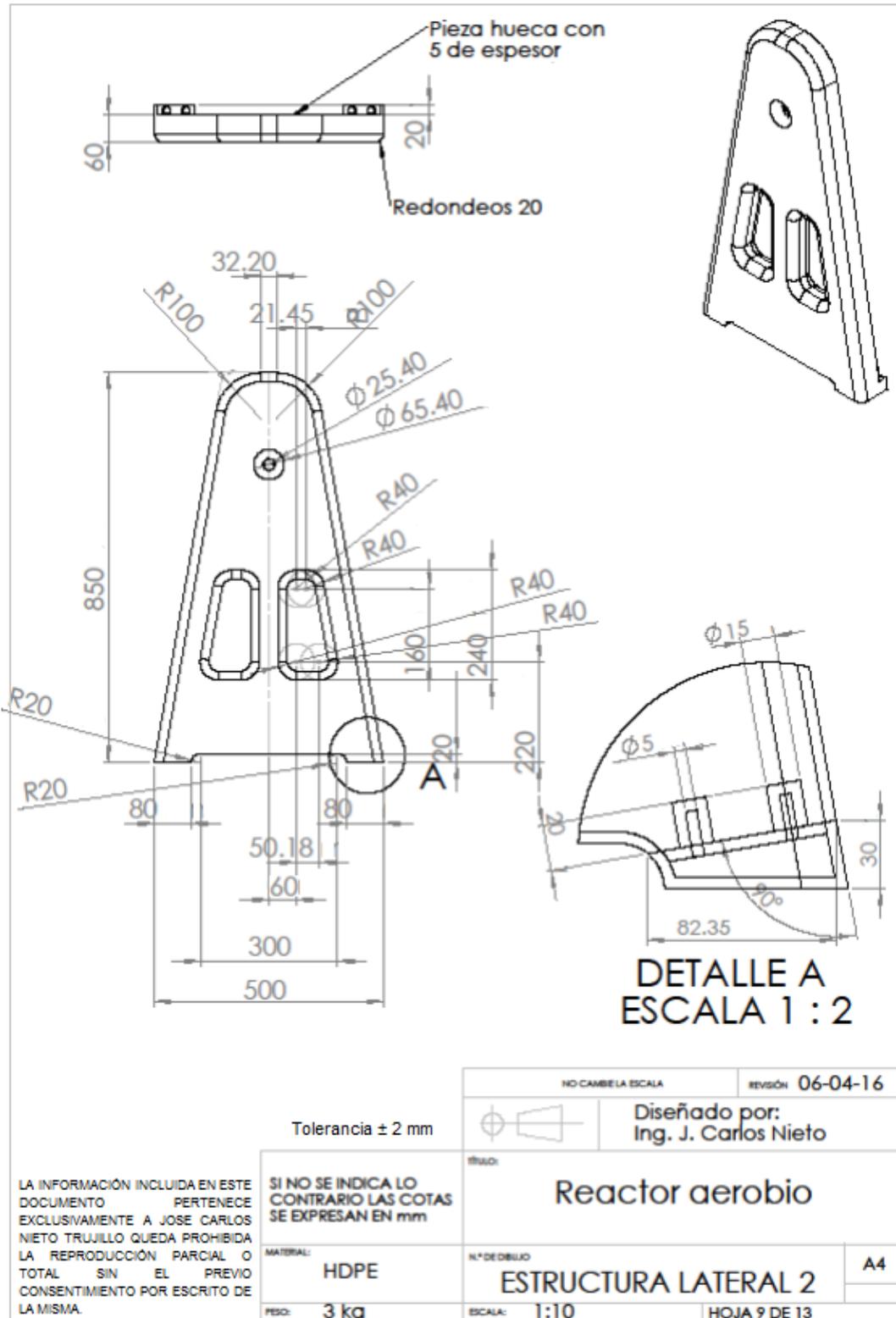


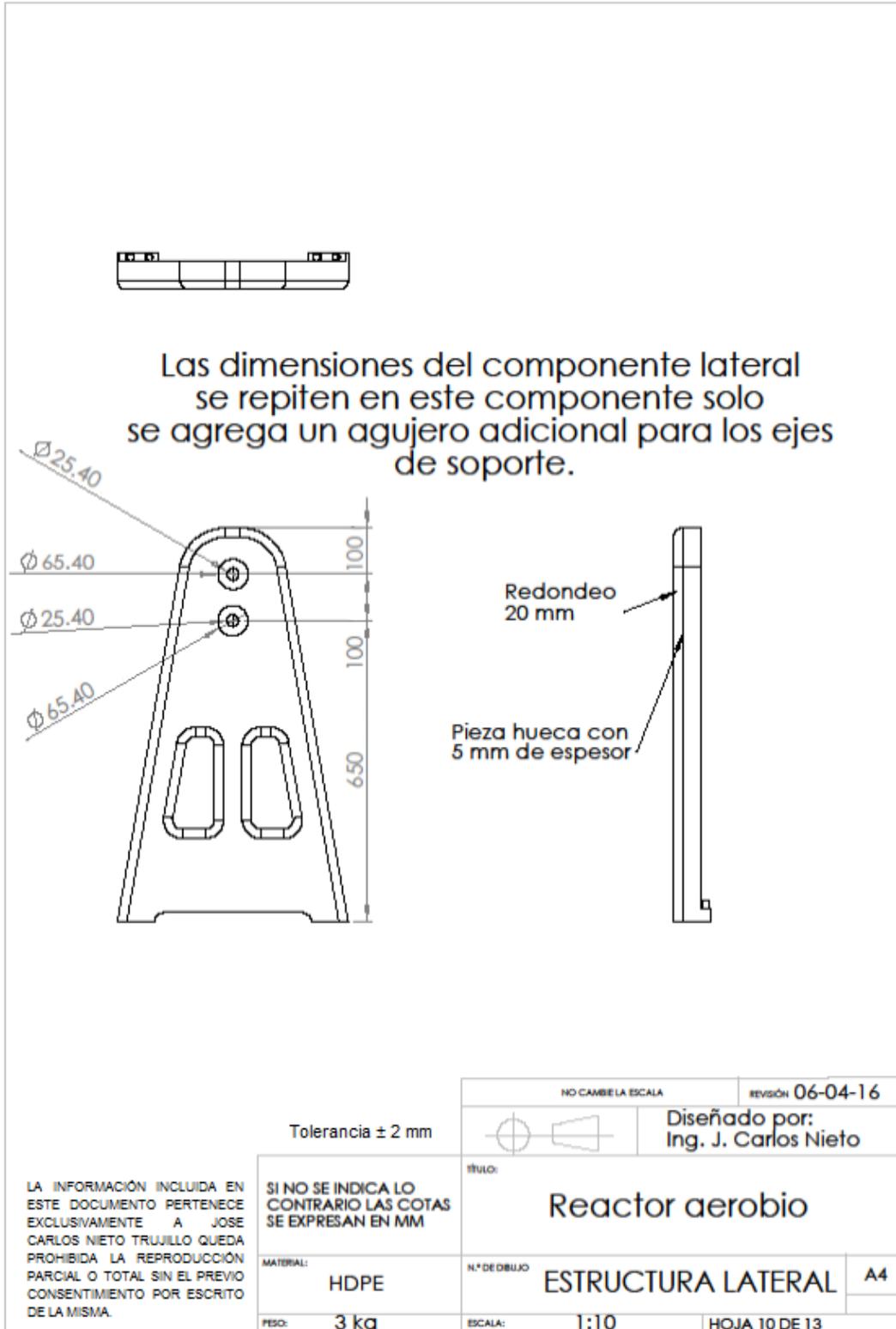


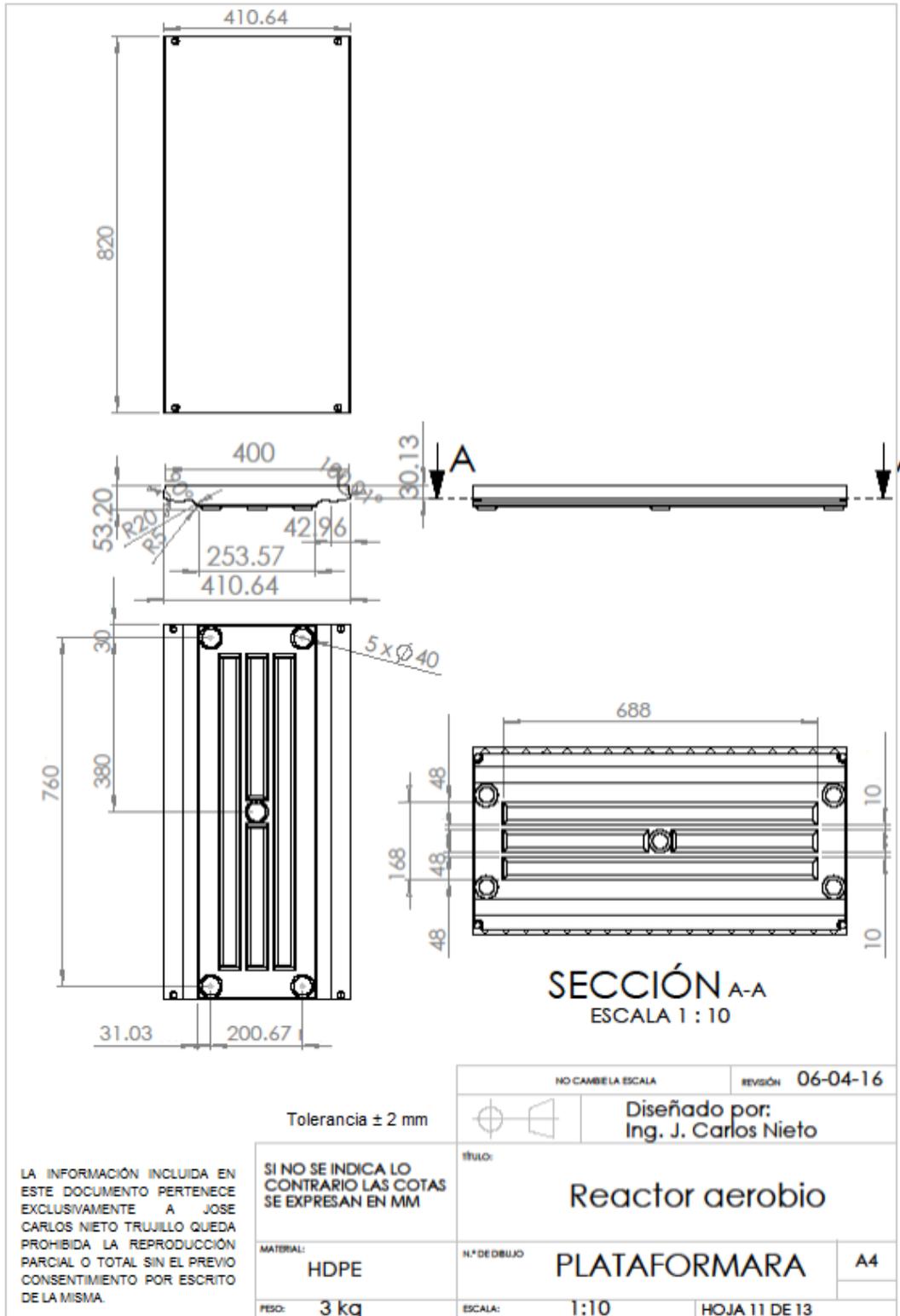


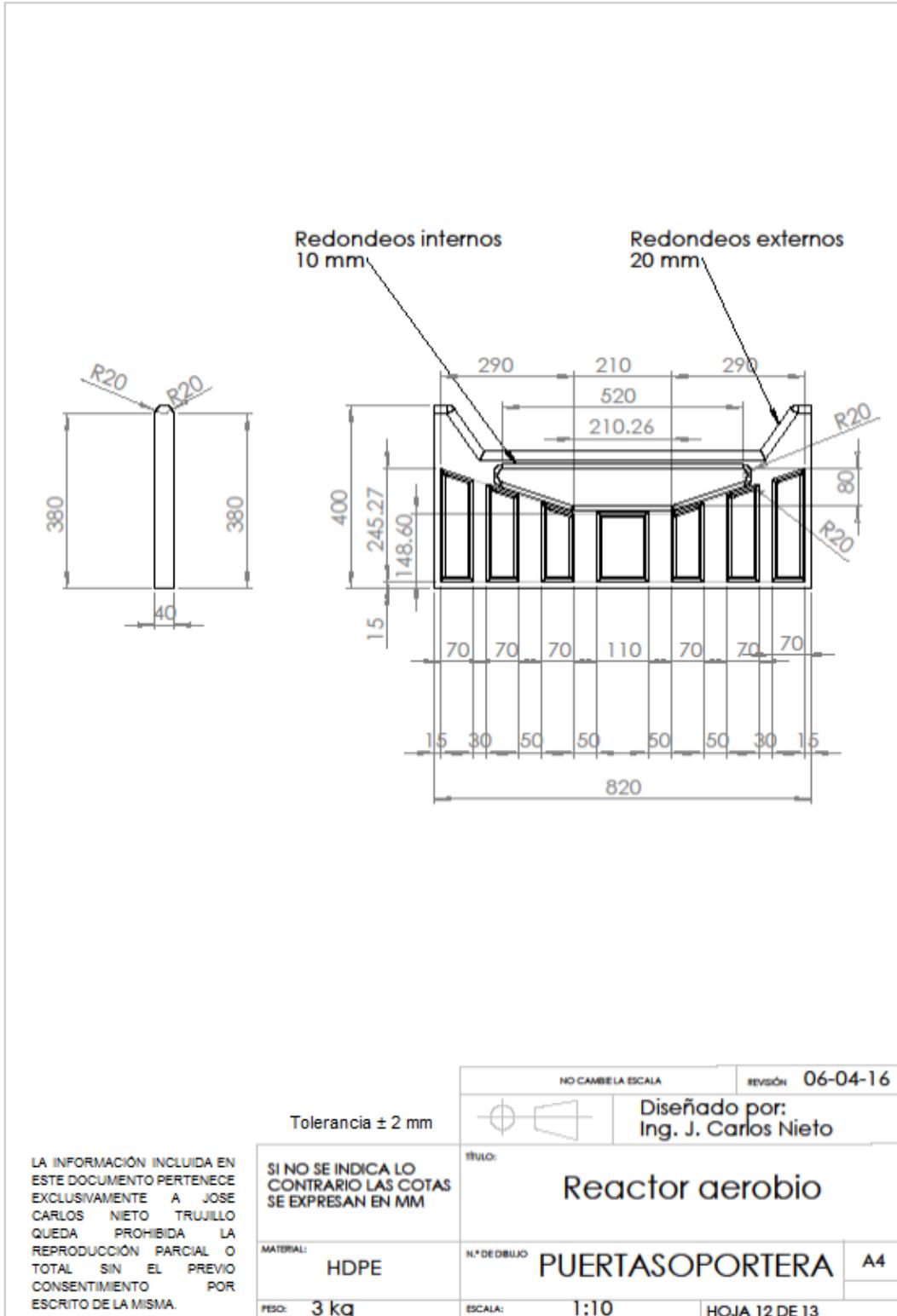


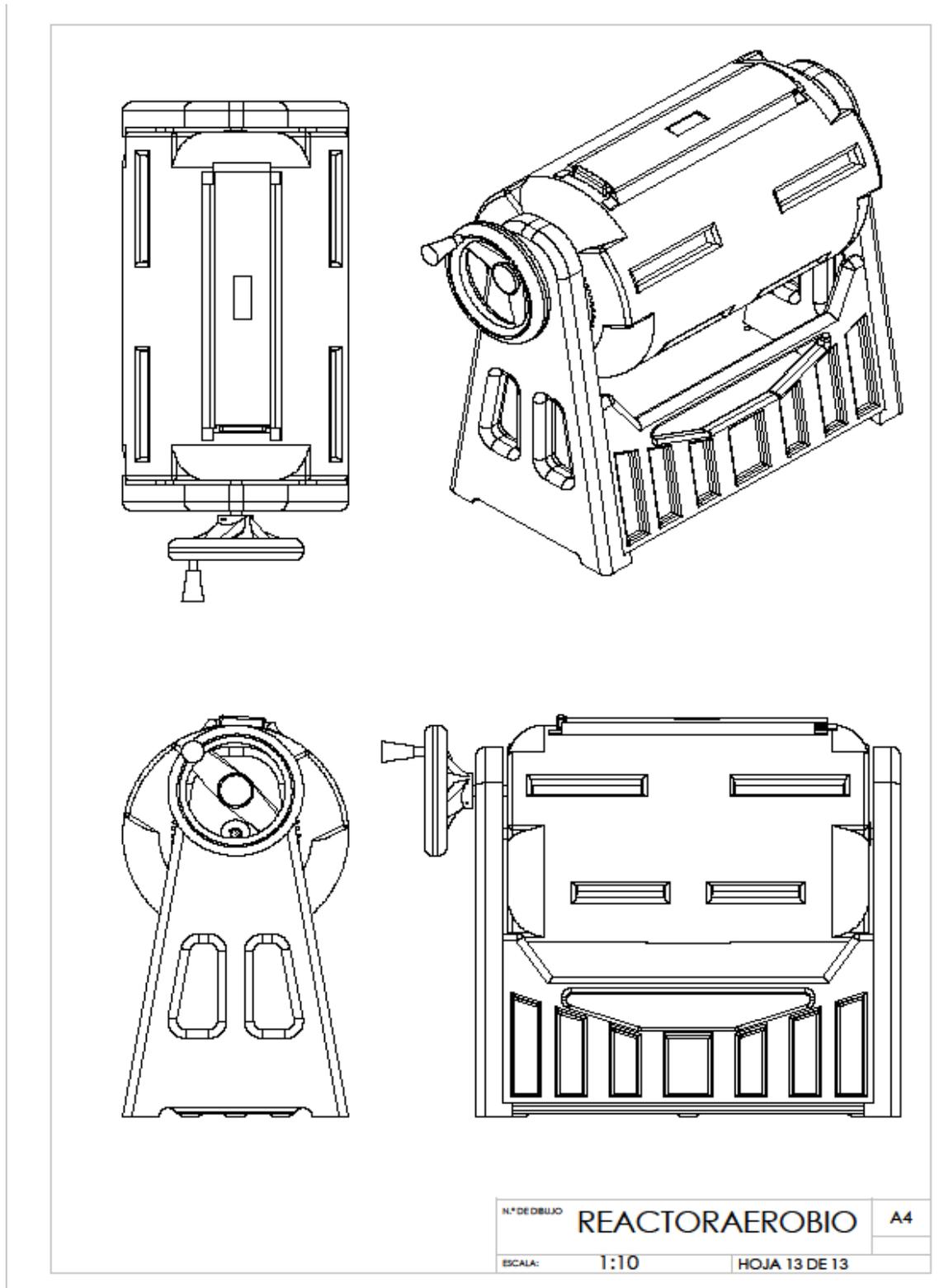


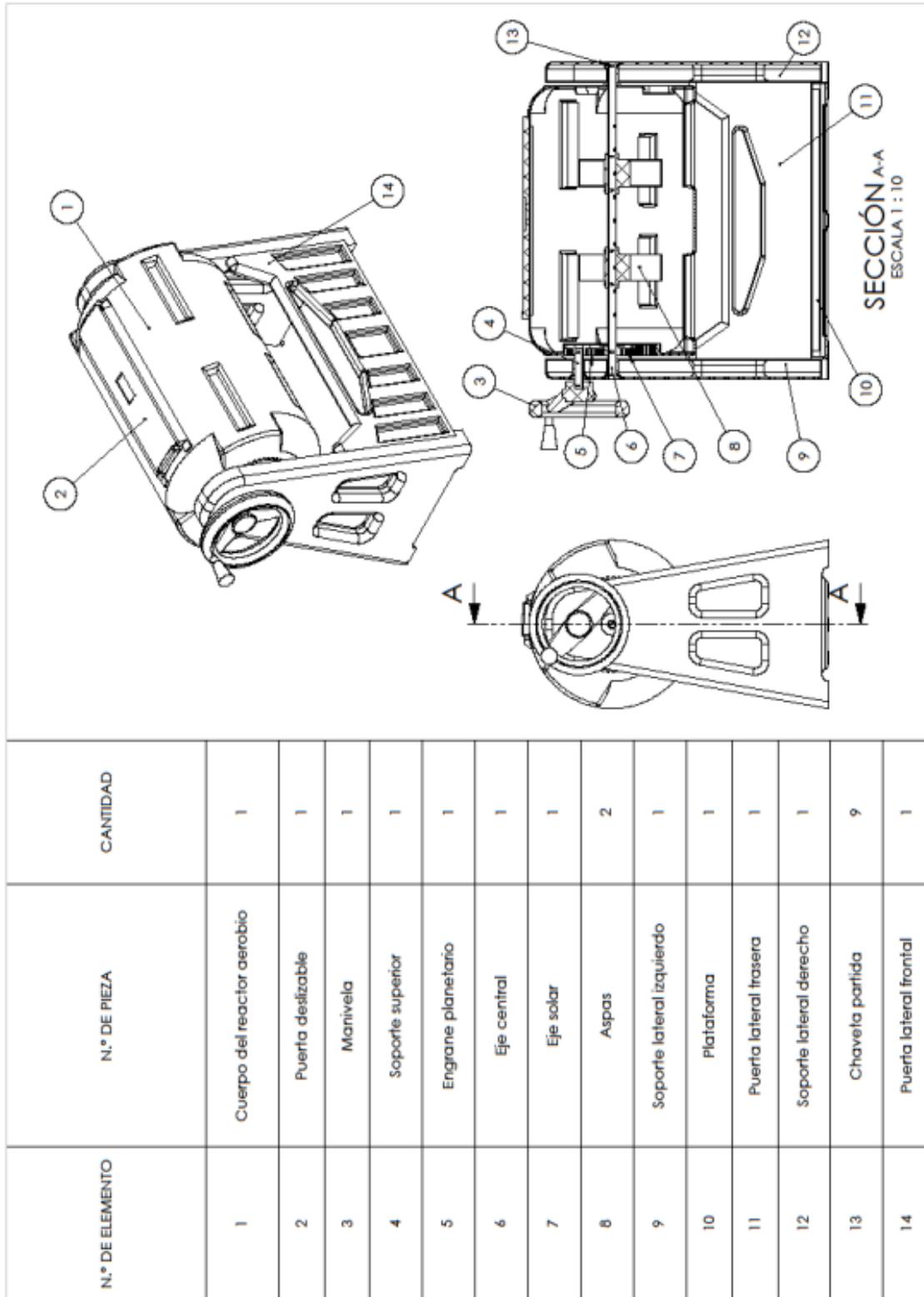












4.5. Prototipo físico del reactor aerobio.

Con base al diseño propuesto del reactor aerobio se generó un prototipo físico a escala (figura 59). El modelo presentado es una referencia visual del reactor aerobio y tiene por objetivo mostrar la funcionalidad de los principales mecanismos del producto, así como las principales funciones del mismo. Este prototipo fue diseñado única y exclusivamente como ayuda visual, por lo que las medidas y las características especiales de este producto no aplican en el mismo.



Figura 59 Prototipo físico del reactor aerobio.

4.5.1. Función 1: Desplazamiento de las puertas laterales de la estructura.

Esta característica del prototipo tiene la finalidad de mostrar el desplazamiento de las puertas de la estructura para ser abiertas y cerradas por el usuario (figura 60).

La estructura fue diseñada de modo que además de soportar los componentes, sirva para contener la composta una vez que termina el proceso dentro del cuerpo del reactor aerobio. Cuando el usuario deposite la composta terminada en la estructura, este puede volver a comenzar el ciclo nuevamente en el cuerpo del reactor aerobio. Este proceso permitirá reducir los tiempos de proceso y uso de la composta, además la composta terminada puede permanecer depositada en la estructura hasta que el usuario disponga de ella.

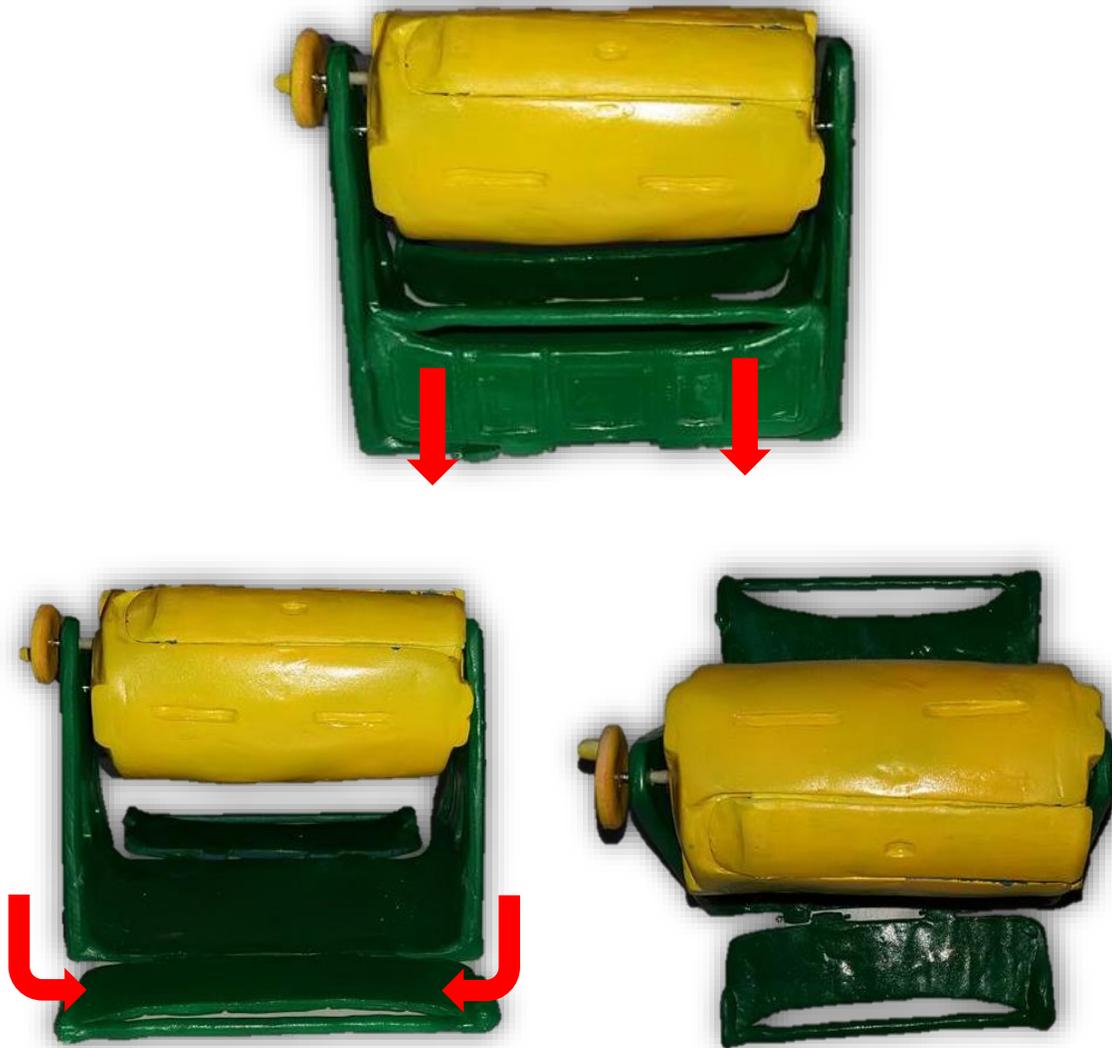


Figura 60 Desplazamiento de las puertas laterales de reactor aerobio.

4.5.2. Función 2: Transmisión del movimiento del sistema de engranes al eje y al cuerpo del reactor aerobio.

Esta característica del prototipo muestra la función que tiene el sistema de engranes para transmitir el movimiento de rotación del eje y el cuerpo del reactor aerobio en sentidos contrarios cuando el usuario utiliza la manivela lateral. (figura 61). Esta característica es especial ya que define a este compostero y fue diseñada con la finalidad de acelerar el proceso del compostaje por medio de la aireación forzada.



Figura 61 Transmisión del movimiento del sistema de engranes.

4.5.3. Función 3: Deslizamiento de la puerta del cuerpo del reactor aerobio.

Esta característica del prototipo muestra la función que tiene la puerta para ponerse y quitarse en el cuerpo del reactor aerobio. Esta característica permitirá facilitar el flujo de entradas y salidas de material a compostar del cuerpo del reactor aerobio. Una puerta deslizable que abarca la longitud transversal del cuerpo, permitirá que el usuario deposite el material a compostar y recolecte la composta sin complicación alguna.

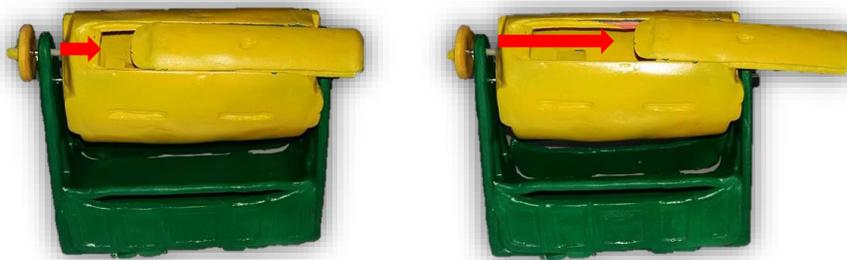


Figura 62 Deslizamiento de la puerta del cuerpo del reactor aerobio.

Referencias Bibliográficas

- [1] Añón, M. S. (2014). *Vermican*. Recuperado el 06 de 2015, de Un repaso a la historia del Compostaje: http://www.ecompostaje.com/index.php?option=com_content&view=article&id=163%3Aun-repaso-a-la-historia-del-compostaje&catid=55%3Ablog&Itemid=76&lang=es
- [2] Reyes, A. d. (2007). *Manual Básico para hacer Compost*. Madrid: Amigos de la Tierra.
- [3] Techobanoglous, G. (2014). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid: Mc Graw Hill.
- [4] Ros, M. (2010). *Compostaje*. Murcia: Agrowaste.
- [5] Laos, F. (2003). Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino Patagónica: determinación de índices de madurez para su utilización agronómica. Argentina: Tesis doctoral Universidad nacional del Comahue.
- [6] Pilar Román, María M. Martínez, Alberto Pantoja. (2013). *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: FAO.
- [7] Programa de saneamiento de Montevideo. (2005). *Tecnologías de manejo de residuos sólidos*. Montevideo: Fichtner.
- [8] Ashby, M. F. (2005). *Materials selection in mechanical design*. Oxford: Elsevier.
- [9] Askeland, D. R. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Thomson.
- [10] Santaella, L. (01 de Marzo de 2014). Concepto definición. Obtenido de Definición de Plástico: <http://conceptodefinicion.de/plastico/>

- [¹¹] Strong, A. B. (2006). *Plastics: materials and processing*. En *Introduction to plastics* (pág. 1). New Jersey: Pearson.
- [¹²] Pugliese, L. (2002). *Defining engineering plastics*. Illinois: DSM.
- [¹³] Méndez, J. E. (2010). *Introducción a la ciencia y tecnología de los plásticos*. México: Trillas.
- [¹⁴] American society for testing and materials. (2008). *Códigos de identificación de resinas*. Pennsylvania: ASTM international.
- [¹⁵] Álvarez, J. (4 de Diciembre de 2013). *Plásticos commodities*. Obtenido de <https://jalvarez7399.wordpress.com/2013/12/04/plasticos-comodities/>
- [¹⁶] Brown, G. (14 de Junio de 2011). *Tecnología de los materiales*. Obtenido de *Polímeros termofijos*: <http://polmerostermofijos.blogspot.mx/2011/06/polimeros-termo-fijos.html>
- [¹⁷] Instituto Mexicano del Plástico. (2006). *Tecnología de los materiales plásticos*. México: IMPI.
- [¹⁸] Universidad Politécnica de Valencia. (2015). *Materiales Poliméricos y Compuestos*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2015, de *Efectos de la temperatura en termoplásticos*: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html
- [¹⁹] Brindis, E. A. (2002). *Propiedades básicas de los polímeros*. Matanzas: Universidad de Matanzas.
- [²⁰] Pinto, F. M. (2006). *Procesamiento y propiedades de las poliolefinas*. Venezuela: Universidad de los andes.
- [²¹] Rico, M. b., & Gomis, A. M. (2012). *Tecnología de polímeros*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

- [22] González, A. P. (23 de Junio de 2014). Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de Resistencia mecánica: http://www.mecapedia.uji.es/resistencia_mecanica.htm
- [23] Villareal, D. R. (2008). Características y propiedades mecánicas de los materiales. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- [24] Hibbeler, R. C. (2011). Mecánica de materiales. México: Pearson.
- [25] González, V., Botero, J. C., Rochel, R., Vidal, J., & Álvarez, M. (2005). Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 67-76.
- [26] Mott, R. L. (2009). Resistencia de materiales. México: Pearson education.
- [27] Ortiz, J. H. (24 de Noviembre de 2013). Elementos amovibles y fijos no estructurales. Recuperado el 13 de Febrero de 2016, de Propiedades física de los materiales: <https://llavi1992.wordpress.com/2013/11/>
- [28] Rotheiser, J. I. (2003). Diseño de productos plásticos. Illinois: Mc Graw Hill.
- [29] Harper, C. A. (2004). Manual de plásticos. En Diseño de productos plasticos (Vol. II, págs. 8.1-8.25). Distrito Federal: Mc Graw Hill.
- [30] Guzmán, J. F., Shastri, R., González, G. A., & Morales, L. R. (2013). Manual de plásticos para diseñadores. San Luis Potosi: Facultad del Hábitat.
- [31] PROSPECTOR. (2015). Polietileno (PE) Propiedades típicas Generic HDPE. Recuperado el 7 de Noviembre de 2015, de <http://plastics.ulprospector.com/es/generics/27/c/t/polietileno-pe-properties-processing/sp/5>
- [32] Beam, R. J. (2009). Polietileno de alta densidad HDPE. Miami: Dow Chemical E.U.A.
- [33] QuimiNet. (22 de Marzo de 2010). Usos y aplicaciones de las placas de polietileno de alta densidad. Recuperado el 18 de Noviembre de 2015, de

<http://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-de-las-placas-de-poli-etileno-de-alta-densidad-42316.htm>

- [34] Lyon, L. J. (2012). Resistencia del polietileno de alta densidad a los agentes químicos. Barquisimeto: GEMACA. Obtenido de http://www.gemaca.com/assets/descargas/resistencia_quimica.pdf
- [35] Rubin, I. I. (2009). Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. En R. p. corporation (Ed.). Distrito Federal: Limusa.
- [36] Peacock, A. J. (2000). Handbook of polyethylene. New York: Marcel Dekker.
- [37] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2008). Planeación avanzada de calidad de los productos (APQP) y planes de control. AIAG.
- [38] Veliayth, R., & Fitzgerald, E. (2004). Advanced Quality Planning: a common sense guide to AQP and APQP. Milwaukee: ASQ Press.
- [39] Gryna, F. (2001). Quality Planning & Analysis: From Product Development Through Use. New York: McGraw-Hill.
- [40] Feigenbaum, A. (2008). Control total de la calidad. Distrito Federal: CECOSA.
- [41] Gutiérrez Pulido, H., & Torres Quirarte, A. (2007). Planeación avanzada de la calidad del producto (apqp): conceptos básicos y un caso práctico. Revista digital científica y tecnológica, 1-15.
- [42] Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). Diseño y desarrollo de productos. En Generación de conceptos (págs. 119-142). Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- [43] López, I. (08 de Marzo de 2013). Estrategias de Competitividad y Desarrollo Sostenible para el Sector Turístico. Obtenido de Benchmarking y análisis de la competencia: <http://competitividadturistica.com/benchmarking-y-analisi-de-la-competencia/>

- [44] Woodland Direct. (18 de Marzo de 2015). Insulated Dual Chamber Compost Tumbler - 70 Gallons. Obtenido de <http://www.woodlanddirect.com/Contact-Us>
- [45] Rotoplast. (18 de Junio de 2013). Compostera rotoplast de 200 L. Obtenido de http://www.rotoplast.com.co/wp-content/uploads/Compostera_Rotoplast_200L_instrucciones_de_ensamble.pdf
- [46] Lifetime store. (05 de Abril de 2015). Lifetime 80 Gal. Composter Tumbler. Obtenido de <http://store.lifetime.com/products/blt/pid-60021.aspx>
- [47] Bunnings warehouse. (12 de Abril de 2015). Maze 230L Compost Tumbler. Obtenido de http://www.bunnings.com.au/maze-230l-compost-tumbler_p3160020
- [48] D.F. OMER MARKETING LTD. (16 de Abril de 2015). Dual Chamber Composter 140L. Obtenido de <http://www.dfomer.com/Dual-Chamber-Composter>
- [49] Organizacion mundial de la propiedad intelectual. (2013). Patentes. Distrito Federal: OMPI.
- [50] Fink, T. M. (31 de Diciembre de 1996). Estados Unidos Patente n° US5589391 A. Recuperado el 31 de Octubre de 2015, de https://www.google.es/patents/US5589391?dq=tumbler+composter&hl=en&sa=X&ved=0CBwQ6AEwAGoVChMlv8motKrKyAIVgrCACH3U_w5z
- [51] Dahlstrom, J. L. (19 de Noviembre de 2002). Estados Unidos Patente n° US6482627 B1. Recuperado el 31 de Octubre de 2015, de <https://www.google.es/patents/US6482627?dq=tumbler+composter&hl=en&sa=X&ved=0CD4Q6AEwBTgUahUKEwiYwKisq8rIAhUB1YAKHTJgAXE>
- [52] SIEMENS. (Enero de 2015). SIEMENS PLM software. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de CAD / Diseño Asistido por Computadora: http://www.plm.automation.siemens.com/es_mx/plm/cad.shtml

- [53] Autodesk. (Marzo de 2015). Autodesk design software. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de ¿Qué es el software de diseño?: <http://www.autodesk.mx/solutions/cad-software>
- [54] Torres, J. (2010). Diseño asistido por ordenador. Granada: Universidad de Granada.
- [55] Polímeros Mexicanos S.A. de C.V. (2012). El rotomoldeo. Recuperado el 07 de Enero de 2016, de <http://polimers.com/rotomoldeo/>
- [56] Pentas Moulding B.V. (2014). Rotational molding. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de <http://www.pentasmoulding.com/contact/>
- [57] Rico, M. B., & Gomis, A. M. (2012). Tecnología de polímeros. En Moldeo rotacional (págs. 252-285). San Vicente del Raspeig: Universidad de Alicante.
- [58] ORBY Rotomoldeo. (2014). ¿Qué es el rotomoldeo? Recuperado el 11 de Enero de 2016, de <http://www.orby.com.mx/rotomoldeo.php>
- [59] Crawford, R. J., & Gibson, S. (2015). Rotowordl. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de ¿Que es el rotomoldeo?: <https://rotoworldmag.com/que-es-el-rotomoldeo/>
- [60] Crawford, R. J., & Kearns, M. P. (2012). Practical guide to rotational moulding. London: Smithers Rapra.
- [61] Falcón, J. A. (9 de Octubre de 2012). Materiales plásticos. Recuperado el 16 de Enero de 2016, de Rotomoldeo y calandrado: <http://materialesplasticos2012jorgeaaf.blogspot.mx/2012/10/blog-post.html>
- [62] Rotoline. (2016). Máquinas de rotomoldeo. Recuperado el 18 de Enero de 2016, de <http://www.rotoline.com.br/es>
- [63] Bascope, R. T. (2012). Graficación por computadora. Recuperado el 10 de Febrero de 2016, de CAE / Ingeniería Asistida por Computadora:

<https://sites.google.com/site/grafcomputacional/estereoscopia/cae-ingenieria-asistida-por-ordenador>

- [64] Oswaldo Rojas Lazo, L. R. (2006). Diseño asistido por computador. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, IX, 7-15.
- [65] Mina, H. O. (2015). Tecnología Asistida por Computadora. Córdoba: Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.
- [66] Siemens Industry Software, S.L. (2015). FEA / Análisis de elementos Finitos. Recuperado el 20 de Febrero de 2016, de http://www.plm.automation.siemens.com/es_es/plm/fea.shtml
- [67] Dassault Systèmes. (2016). Ayuda de Solid works. Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de http://help.solidworks.com/2013/spanish/SolidWorks/cosmosxpresshelp/c_Why_Analyze_.htm