

**DISEÑO Y FABRICACION DE UN TANQUE
DIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE
COMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS**

**WILMER CÉLIS LOPEZ
IVÁN FARLEY ORDUZ CORREDOR**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

**DISEÑO Y FABRICACION DE UN TANQUE
DIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE
COMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO
DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS**

WILMER CÉLIS LOPEZ

IVÁN FARLEY ORDUZ CORREDOR

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

RÓMULO NIÑO DELGADO

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

*“A dios por darme las fuerzas para llevar a cabo mi proyecto de vida
A mis padres Beatriz y Hernando por su amor y apoyo incondicional
A mi hermano Edward por su ejemplo de responsabilidad
A mi compañera Zaira por su constante apoyo y darme fuerzas para
terminar
A mi hijo Andrés Felipe por ser el motor y fin de mi vida”*

Wilmer Celis López

*“A Dios, por todas las bendiciones que siempre me acompañan
A mi mamá (Paulina), a mi papá (Victor Manuel) y a mi hermano
(Victor Fabiany) quienes siempre confiaron en mí, demostrándolos con
su amor, paciencia y apoyo incondicional.”*

Iván Farley Orduz Corredor

AGRADECIMIENTOS

A **Rómulo Niño Delgado**, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A nuestros padres y familiares, que nos motivaron de una u otra forma a culminar este gran trabajo.

A todos nuestros amigos.

Iván Farley Orduz Corredor

Wilmer Andrés Celis López

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	24
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	29
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	30
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	30
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	30
2. PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST	31
2.1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y SU CLASIFICACION.....	32
2.2. GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS A NIVEL NACIONAL	34
2.3. GENERALIDADES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	36
2.3.1. <i>Definición</i>	36
2.3.2. <i>Beneficios del compost</i>	37
2.3.3. <i>El proceso de compostaje:</i>	38
2.3.3.1. <i>Fase de latencia y crecimiento:</i>	39
2.3.3.2. <i>Fase termófila:</i>	39
2.3.3.3. <i>Fase de maduración:</i>	41
2.3.4. <i>Factores que intervienen en el proceso de compostaje</i>	41
2.3.4.1. <i>Temperatura.</i>	42
2.3.4.2. <i>Humedad</i>	43
2.3.4.3. <i>Nivel de acidez pH</i>	44
2.3.4.4. <i>Oxígeno</i>	45
2.3.4.5. <i>Relación carbono nitrógeno</i>	46
2.3.4.6. <i>Tamaño de partículas</i>	48
2.3.5. <i>Materiales para compostar</i>	49
2.4. MÉTODOS PARA LA FABRICACIÓN DE COMPOST	50
2.4.1. <i>Compostaje en pilas</i>	50
2.4.1.1. <i>Pilas estáticas</i>	50

2.4.1.2.	<i>Pilas estáticas aireadas</i>	53
2.4.2.	<i>Compostaje domestico</i>	55
2.4.2.1.	<i>Compostador de palés</i>	55
2.4.2.2.	<i>Compostador de ladrillos</i>	57
2.4.3.	<i>Compostaje en reactores o contenedores</i>	58
2.4.3.1.	<i>Reactores horizontales rotatorios</i>	59
2.4.3.2.	<i>Reactores verticales estáticos</i>	60
2.4.3.3.	<i>Reactores verticales dinámicos</i>	61
2.5.	PRODUCCIÓN DE COMPOST MEDIANTE EL USO DE UN TANQUE DIGESTOR.....	62
3.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL TANQUE DIGESTOR.....	66
3.1.	REQUERIMIENTOS GENERALES.....	66
3.2.	PARÁMETROS TÉCNICOS.....	67
3.2.1.	<i>Sistema de potencia</i>	67
3.2.2.	<i>Sistema de la estructura del tanque</i>	68
3.2.3.	<i>Sistema de rotación y bastidor</i>	68
3.2.4.	<i>Sistema de compuertas carga, descarga e inspección</i>	69
3.3.	BOCETOS	70
4.	DISEÑO DEL TANQUE DIGESTOR PARA LA PRODUCCION DE COMPOST....	71
4.1.	DISEÑO DEL TANQUE	72
4.1.1.	<i>Diseño de la envolvente del tanque</i>	72
4.1.2.	<i>Diseño de las tapas de carga y descarga</i>	79
4.1.2.1.	<i>Tapa de carga</i>	79
4.1.2.2.	<i>Tapa de descarga</i>	80
4.1.3.	<i>Compuertas de inspección</i>	83
4.1.4.	<i>Diseño del sistema de aspas</i>	84
4.2.	SISTEMA DE ROTACIÓN.....	88
4.2.1.	<i>Anillos de rotación</i>	88
4.2.2.	<i>Masas de rotación</i>	90
4.2.2.1	<i>Diseño del pasador</i>	91
4.2.2.2.	<i>Selección de los rodamientos</i>	98
4.2.2.3.	<i>Configuración de las masas de rotación:</i>	101

4.3.	DISEÑO DEL BASTIDOR	103
4.3.1.	<i>Bases Del Bastidor</i>	103
4.3.2.	<i>Marco estructural del Bastidor</i>	107
4.4.	DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA.....	108
4.4.1.	<i>Selección del motor</i>	109
4.4.2.	<i>Selección de las bandas V</i>	111
4.4.3.	<i>Selección del reductor</i>	114
4.4.4.	<i>Cálculo y selección de los engranajes</i>	115
4.4.5.	<i>Configuración final del sistema de potencia</i>	120
5.	CONSTRUCCION DE LA MAQUINA.....	121
5.1.	FABRICACION DE ENVOLVENTE	121
5.2.	ELABORACIÓN DE COMPUERTAS DE INSPECCIÓN	122
5.3.	ELABORACIÓN DE TAPA FRONTAL Y DESCARGUE	122
5.4.	FABRICACIÓN DE ANILLOS	125
5.5.	FABRICACIÓN DE ASPAS INTERNAS.....	128
5.6.	ELABORACIÓN DEL BASTIDOR.....	129
5.7.	FABRICACIÓN DE MASAS DE ROTACIÓN.....	130
5.8.	MONTAJE DE TANQUE SOBRE BASTIDOR.....	131
5.9.	MONTAJE DE LA CORONA Y EL REDUCTOR EN LA TAPA DE CARGA	132
5.10.	MONTAJE DE MOTOR ELÉCTRICO Y SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	133
5.11.	PINTURA GENERAL DEL TANQUE.....	134
5.12.	VISTA GENERAL DE TANQUE TERMINADO	136
6.	PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	137
7.	RECOMENDACIONES	140
8.	CONCLUSIONES	142
	BIBLIOGRAFÍA.....	144
	ANEXOS	145

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Residuos sólidos orgánicos aptos para fabricación de compost	27
Figura 2. Residuos en proceso de compostaje	27
Figura 3. Composición de los residuos sólidos en Colombia	34
Figura 4. Empleo de compostaje como abono en agricultura y jardinería.	36
Figura 5. Grafica de las fases del compostaje (temperatura vs tiempo).	40
Figura 6. Perfil de temperatura de una pila estática de compostaje.	41
Figura 7. Variación del Ph en el proceso de compostaje.	43
Figura 8. Fotografía de un sistema volteador de compostaje adaptado a tractores.	52
Figura 9. Esquema de funcionamiento de pilas estáticas aireadas.	54
Figura 10. Pilas de volteo con aireación positiva.	55
Figura 11. Caja para compostar en casa.	56
Figura 12. Compostador redondo de malla.	57
Figura 13. Compostador de ladrillos.	58
Figura 14. Fotografía del sistema BW Organics, Inc. de tambor rotatorio horizontal.	59
Figura 15. Fotografía del sistema EPTC de la empresa environmental products and technologies corporation.	60
Figura 16. Sistema BioSystem Solutions.	62
Figura 17. Esquema del diseño conceptual a mano alzada.	70
Figura 18. Configuración general del tanque biodigestor.	71
Figura 19. Partes del tanque biodigestor.	71
Figura 20. Sección de la envolvente del tanque.	73
Figura 21. Lamina de HR de 3/16 para la envolvente.	74
Figura 22. Secciones para construcción de la envolvente.	75
Figura 23. Factor de seguridad de la estructura.	76
Figura 24. Apoyos del modelo de la estructura.	76
Figura 25. Estado de cargas para el modelo del tanque.	76
Figura 26. Grafica de deformaciones en la envolvente del tanque.	77
Figura 27. Grafica de esfuerzos en la envolvente del tanque.	77
Figura 28. Tapa de carga del tanque.	75
Figura 29. Tapa de descarga.	79
Figura 30. Detalle de las horquetas.	80
Figura 31. Detalle de las perforaciones.	80
Figura 32. Detalle de la guía para montaje de la tapa.	81

Figura 33. <i>Detalle bases de sujeción para la tapa trasera.</i>	82
Figura 34. <i>Detalle del sistema de sujeción de la tapa de descarga.</i>	83
Figura 35. <i>Detalle de la compuerta de inspección.</i>	83
Figura 36. <i>Dimensiones de la compuerta y platina.</i>	84
Figura 37. <i>Dimensiones de las aspas lamina HR 3/16.</i>	84
Figura 38. <i>Sección de la envolvente del tanque y su juego de 8 aspas.</i>	85
Figura 39. <i>Desfase entre los juegos de aspas.</i>	85
Figura 40. <i>Estado de cargas para las aspas.</i>	86
Figura 41. <i>Grafica de esfuerzos sobre las aspas.</i>	87
Figura 42. <i>Grafica de deformaciones de las aspas.</i>	87
Figura 43. <i>Factor de seguridad para las aspas.</i>	88
Figura 44. <i>Configuración de los anillos del tanque.</i>	89
Figura 45. <i>Anillos guía.</i>	89
Figura 46. <i>Sección transversal de los anillos.</i>	90
Figura 47. <i>Configuración transversal del tanque y las masas de rotación.</i>	91
Figura 48. <i>Fuerzas sobre las masas de rotación.</i>	92
Figura 49. <i>Estado de cargas del pasador.</i>	93
Figura 50. <i>Factor de seguridad del pasador con un diámetro de 1".</i>	95
Figura 51. <i>Grafica de deformaciones sobre al pasador con un diámetro de 1".</i>	95
Figura 52. <i>Apoyos del pasador con un diámetro de 2".</i>	96
Figura 53. <i>Estado de cargas sobre el pasador de diámetro de 2".</i>	96
Figura 54. <i>Grafica de esfuerzos sobre al pasador con un diámetro de 2".</i>	97
Figura 55. <i>Grafica de deformaciones sobre al pasador con un diámetro de 2".</i>	99
Figura 56. <i>Factor de seguridad del pasador con un diámetro de 2".</i>	100
Figura 57. <i>Geometría de las masas de rotación.</i>	101
Figura 58. <i>Despieza del conjunto masa, pasador y rodamiento.</i>	101
Figura 59. <i>Configuración de las bases del bastidor.</i>	104
Figura 60. <i>Detalle de la disposición de los refuerzos internos de las bases.</i>	104
Figura 61. <i>Apoyo para la base del bastidor.</i>	105
Figura 62. <i>Estado de cargas sobre la base del bastidor.</i>	105
Figura 63. <i>Grafica de esfuerzos para la base del bastidor.</i>	106
Figura 64. <i>Grafica de deformaciones para la base del bastidor.</i>	106
Figura 65. <i>Factor de seguridad para la base del bastidor.</i>	107
Figura 66. <i>Ensamble del bastidor.</i>	108
Figura 67. <i>Configuración del sistema de potencia.</i>	121
Figura 68. <i>Maquina cilindradora y Envolvente del tanque con presentación de anillos.</i>	122
Figura 69. <i>Compuertas de inspección.</i>	123

Figura 70. Máquina abombadora y proceso para elaboración de tapas.	124
Figura 71. Tapa de carga soldada	124
Figura 72. Tapa de descarga montada en el tanque.	124
Figura 73. Taladrado de los agujeros de la tapa de descarga.	124
Figura 74. Marcado sobre lámina de parámetros para agujeros de la tapa de descargue	125
Figura 75. Maquina en la que cilindaron los anillos.	125
Figura 76. Tensor de tornillo para asegurara asentamiento de anillo sobre periferia del tanque.	126
Figura 77. Anillos soldados.	127
Figura 78. Soldadura de anillo con electrodo revestido.	127
Figura 79. Sistema de aspas internas del tanque.	128
Figura 80. Soldadura de refuerzos en las bases del bastidor con equipo MIG.	129
Figura 81. Bases terminadas.	129
Figura 82. Bases soldadas al marco del bastidor.	130
Figura 83. Masas de rotación montadas en las bases del bastidor.	130
Figura 84. Elevación del tanque por medio del polipasto.	131
Figura 85. Corona montada en la tapa del tanque.	132
Figura 86. Motoreductor.	132
Figura 87. Montaje del motoreductor.	133
Figura 88. Montaje del motor y las poleas.	134
Figura 89. Pintado del tanque.	135
Figura 90. Anillos de rotación pintados de rojo y compuerta de carga con la corana.	136
Figura 91. Vista general del tanque terminado.	136
Figura 92. Anclaje del tanque bioreactor.	137
Figura 93. Tanque instalado visto desde la compuerta de descarga.	138
Figura 94. Material en tolva ya triturado.	138

LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Relación carbono nitrógeno de los materiales compostables.	48
Tabla 2. Materiales que no sirven para compostar.	49
Tabla 3. Materiales que son mejor evitar para compostar.	49
Tabla 4. Materiales a compostar.	50
Tabla 5. Pesos aproximados a soportar por la estructura.	91

LISTA DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
ANEXO A. PROPIEDADES DE LAS LAMINAS HOT ROLLED A36	146
ANEXO B. PROPIEDADES Y SELECCIÓN DE LA SOLDADURA	148
ANEXO C. PROPIEDADES DEL ACERO 1045	152
ANEXO D. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS CONICOS CATALOGO DE LA FAG	153
ANEXO E. DIMENCIONES PARA LAS VIGAS IPN	155
ANEXO F. TABLA DE MOTORES TRIFASICOS COMERCIALES	156
ANEXO G. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL CÁLCULO DE LAS BANDAS TOMADAS DEL LIBRO DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS DE ROBERT L. MOTT.	157
ANEXO H. TABLAS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOREDUCTOR TOMADAS DEL CATALOGO DE SEW EURODRIVE	159
ANEXO I. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL CÁLCULO DE ENGRANAJES CONICOS RECTOS TOMADOS DEL LIBRO DISEÑO DE ELEMENTOS MECANICOS FAIRES	161
ANEXO J. PLANOS DEL TANQUE DIGESTOR	164

GLOSARIO

ABONO ORGÁNICO: Sustancia de origen natural procedente de los seres vivos, que aporta al suelo y las plantas nutrientes para su buen desarrollo.

ACOPIO: La acción tendiente a reunir residuos sólidos en un lugar determinado y apropiado para su recolección, tratamiento o disposición final.

ALMACENAMIENTO O ALMACENAJE: El depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición fina.

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

BASURA: Dos o más desperdicios que revueltos entre sí provocan contaminación, enfermedad, pérdida de recursos naturales.

BASURERO: Sitio o terreno donde se disponen residuos sólidos, sin que se adopten medidas de protección del medio ambiente.

BIODEGRADABLE: Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivientes, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como bacterias, hongos, gusanos e insectos. Lo contrario corresponde a sustancias no degradables, como plásticos, latas, vidrios que no se descomponen o desintegran, o lo hacen muy lentamente. Los órganoclorados, los metales pesados, algunas sales, los detergentes de cadenas ramificadas y ciertas estructuras plásticas no son biodegradables.

COMPOST O ABONO ORGÁNICO: Es el producto resultante del proceso de compostaje.

COMPOSTAJE: Es un proceso de reciclaje completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.

CONTAMINANTE: Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

DISPOSICIÓN FINAL: La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

ELIMINACIÓN: Sacar, separar, descartar un residuo del circuito de utilización. Los residuos se han de eliminar sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos o métodos que puedan causar perjuicios al medioambiente.

FERMENTACIÓN: Transformación de compuestos orgánicos en compuestos más simples y/o inorgánicos por la acción de microorganismos.

Fracción Orgánica de Residuos Parte de los residuos constituida por desperdicios de origen doméstico, como por ejemplo verduras, frutas, carnes, pescados, harinas o derivados, etc., susceptible de degradarse biológicamente, y también por los residuos de jardinería y poda. Se designa así, por extensión, a todo el contenido del contenedor especializado destinado a la recogida segregada de materia orgánica o contenedor marrón.

GENERACIÓN: La acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo.

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS: El conjunto articulado e interrelacionado de acciones y normas operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos sólidos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

HUMUS: La materia orgánica del suelo, procede de restos vegetales, animales y de microorganismos. La porción de esta que ha estado sometida a una transformación suficiente como para que el material resultante sea irreconocible se denomina materia húmica o simplemente humus, y suele constituir menos del 10% en peso del suelo

LIXIVIADOS: Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

ORGÁNICO: Pertenece o derivado de los organismos vivos. Que pertenece a los compuestos químicos que contienen carbono.

PLANTA DE COMPOSTAJE: Centro donde se elabora el compost a partir de los residuos sólidos.

PLANTA DE SELECCIÓN Y TRATAMIENTO: La instalación donde se lleva a cabo cualquier proceso de selección y tratamiento de los residuos sólidos para su valorización o, en su caso, disposición final.

PROCESO DE DEGRADACIÓN: Proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

RECICLABLE: Materiales que todavía tienen propiedades físicas o químicas, útiles después de servir a su propósito original y que, por lo tanto pueden ser reutilizados o refabricados convirtiéndolos en productos adicionales.

RECICLAJE: Proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea éste el mismo en que fue generado u otro diferente. Según la complejidad del proceso que sufre el material o producto durante su reciclaje, se establecen dos tipos directo, primario o simple; e indirecto, secundario o complejo.

RELLENO SANITARIO: La obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos ubicados en sitios adecuados al ordenamiento ecológico, mediante el cual los residuos sólidos se depositan y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir y minimizar la generación de contaminantes al ambiente y reducir los riesgos a la salud.

RESIDUOS ORGÁNICOS: Los residuos orgánicos son los residuos de comida y restos del jardín. Son todos aquellos residuos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores.

RESIDUOS SÓLIDOS: En función de la actividad en que son producidos, se clasifican en agropecuarios (agrícolas y ganaderos), forestales, mineros, industriales y urbanos. A excepción de los mineros, por sus características de localización, cantidades, composición, etc., los demás poseen numerosos aspectos comunes desde el punto de vista de la recuperación y reciclaje.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): Son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño

RESIDUOS VEGETALES: Residuos de origen vegetal, procedentes de jardinería, poda de parques y jardines urbanos, limpieza de bosques, etc.

SEPARACIÓN MECÁNICA: Método para separar los materiales reciclables por medios mecánicos o electromecánicos luego del recogido de los residuos sólidos.

VECTOR: Cualquier insecto, artrópodo u otro animal capaz de transmitir enfermedades.

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y FABRICACION DE UN TANQUE DIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS*

AUTORES:

*Wilmer Celis López***

*Iván Farley Orduz Corredor***

PALABRAS CLAVES:

Compost, reciclaje, biodigestor, compostaje, diseño, construcción

DESCRIPCIÓN:

Uno de los principales problemas ambientales que hoy se presentan es el ritmo acelerado del crecimiento urbanístico, fenómeno que conlleva un aumento proporcional de los desechos sólidos producidos y que deben ser acumulados para su disposición final. Este proyecto pretende brindar una herramienta ingenieril para aprovechar dichos desechos orgánicos mediante el proceso de compostaje. Para tal hecho se diseñó y construyó un tanque biodigestor rotativo en el cual se llevará a cabo la transformación de la materia orgánica.

Durante el proceso de compostaje se presentan varias etapas en las cuales es importante controlar algunas propiedades como la humedad, temperatura, Ph, aireación y la relación carbono-nitrógeno. Es ahí donde el tanque biodigestor entra como un actor principal acelerando el proceso (de seis meses a dos o tres semanas) al permitir un control más eficaz de estas variables. El tanque biodigestor rotativo aunque representa una inversión inicial considerable brinda grandes ventajas como un gran volumen de producción, mínima presencia de lixiviados, ausencia de malos olores, bajos costos de operación y mantenimiento; con respecto a otras alternativas para la producción de compost.

El uso de una herramienta CAD como Solid Works, permitió un análisis geométrico detallado de los componentes, que luego fueron exportados a una herramienta CAE como lo es Solid Works Simulation para realizar los análisis estructurales necesarios.

Durante la construcción se tuvo especial cuidado en el uso de los materiales y procesos adecuados para la fabricación de los componentes, para garantizar su funcionalidad, calidad y larga vida.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Rómulo Niño Delgado.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND MANUFACTURE OF A DIGESTER TANK FOR COMPOST PRODUCTION THROUGH THE USE OF ORGANIC SOLID WASTE *

AUTHORS:

*Wilmer Celis Lopez **
Ivan Farley Orduz Corredor ***

KEYWORDS:

Compost, recycling, bio-digester, composting, design, construction

DESCRIPTION:

One of the main environmental problems that are presented today is the rapid pace of urban growth; a phenomenon that involves a proportional increase of solid waste produced and must be accumulated for final disposal. This project aims to provide an engineering tool to take advantage of these organic wastes by composting. To this fact was designed and built a rotary digester tank which will be carrying out the transformation of organic matter.

During the composting process are several stages in which it is important to control some properties such as humidity, temperature, pH, aeration and the carbon-nitrogen relation. This is where the digester tank enters as a major player accelerating the process (from six months to two or three weeks) to allow more effective control of these variables. Although, the rotary digester tank represents an initial investment offers considerable advantages like a high volume production, minimal presence of leachate, no odor, low operating costs and maintenance; compared to other alternatives for the production of compost.

The use of a CAD tool as Solid Works, allowed a detailed geometric analysis of the components, which were then exported to a CAE tools such as Solid Works Simulation to perform the necessary structural analysis.

During construction, care was taken in the use of materials and appropriate processes to manufacture of the components, to ensure functionality, quality and long life.

* Work Degree

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering,
Mr. Rómulo Niño Delgado.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales que hoy se presentan es el ritmo acelerado del crecimiento urbanístico, fenómeno que conlleva un aumento proporcional de los desechos sólidos producidos y que deben ser acumulados para su disposición final. Frente a esta creciente e innegable problemática, se han planteado novedosas alternativas orientadas a la gestión integral de los residuos sólidos. Una de éstas es la producción de compost, el cual utiliza como materia prima los residuos orgánicos sólidos. Este producto es ampliamente usado en la industria agrícola y jardinería como abono, permitiendo la reincorporación de nutrientes al ciclo natural de fertilización del suelo. Una de las máquinas necesarias para realizar este proceso a nivel industrial, consiste en un tanque digestor rotativo; depósito cilíndrico metálico donde después de un proceso de disminución de volumen, realizado por una máquina trituradora se acumulan los residuos sólidos orgánicos y se hacen rotar durante dos a tres semanas mientras se realiza el proceso de descomposición aeróbico.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha desarrollado la presente tesis de grado, la cual tiene como fin el diseño y construcción de un tanque biodigestor rotativo, que permita la producción de 9 ton de compost, basándose en criterios de funcionalidad y economía, con el fin de respaldar el naciente sector empresarial regional dedicado a esta actividad económica, afianzando ampliamente la relación Universidad -Industria, reafirmando el importante papel que cumple la Universidad como ente generador de progreso sostenible y mejoramiento de la sociedad y su ambiente.

En el primer capítulo se hace un planteamiento general del problema se dan a conocer algunos requerimientos del proceso y se trazan los objetivos a cumplir.

En el capítulo 2 se presentan las generalidades del proceso de compostaje para que el lector entienda de manera clara la importancia del tanque bioreactor dentro del proceso además de presentar otras alternativas.

En el capítulo 3 se lleva a cabo el diseño conceptual del tanque con todos sus subsistemas y geometrías. En el capítulo 4 se hace el desarrollo matemático que sustenta el diseño del tanque, además de mostrar la selección de sus componentes y uso de software como SolidWorks, SolidWorks Simulation en su diseño.

En los últimos capítulos se presenta la construcción y ensamble de la maquina, las pruebas realizadas, las conclusiones y recomendaciones del presenta trabajo.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Son innumerables y de carácter primordial los nacientes retos que le son planteados a la humanidad con el propósito de aminorar el desequilibrio ambiental que actualmente atraviesa nuestro planeta.

Uno de los principales problemas ambientales que hoy se presentan es el ritmo acelerado del crecimiento urbanístico, fenómeno que conlleva un aumento proporcional de los desechos sólidos producidos y que deben ser acumulados para su disposición final. Frente a esta creciente e innegable problemática, se han planteado novedosas alternativas orientadas a la gestión integral de los residuos sólidos, las cuales implementan nuevas tecnologías aplicadas a la disposición final de los residuos sólidos, permitiendo extender la vida útil de los rellenos sanitarios, haciendo un control del impacto producido por dichos residuos, sin poner en riesgo el ambiente y la salud pública.

Una de estas opciones, comprende el aprovechamiento de los residuos orgánicos sólidos biodegradables, como fuente primaria para la elaboración de compost, producto biológico resultado de la descomposición rápida de la materia orgánica por parte de organismos descomponedores y pequeños animales en condiciones aerobias controladas.

Este producto es ampliamente usado en la industria agrícola y jardinería como abono, permitiendo la reincorporación de nutrientes al ciclo natural de fertilización del suelo, frenando el empleo de abonos químicos, brindando productos orgánicos sin contaminantes y contribuyendo en forma representativa a mitigar el impacto ambiental generado por el crecimiento urbanístico.



Figura 1. Residuos sólidos orgánicos aptos para fabricación de compost.

Actualmente empresas del sector agrícola han liderado la iniciativa de implementar procesos industriales enfocados a la obtención de compost, actividades orientadas a lograr la mayor eficiencia y efectividad que produzcan una sostenibilidad ambiental a partir de una relación costo beneficio óptima. Para la implementación industrial del proceso de compostaje, es necesario la puesta en marcha de una serie de máquinas que permitan realizar un control sobre las condiciones químicas de los residuos (humedad, niveles de pH, temperatura), con el fin de garantizar el compost más enriquecido con nutrientes.



Figura 2. Residuos en proceso de compostaje.

Una de estas máquinas, comprende un tanque digestor rotativo, depósito metálico cerrado donde después de un proceso de disminución de volumen, realizado por una máquina trituradora se acumulan los residuos sólidos orgánicos, (frutas, verduras, residuos alimenticios), y se hacen rotar (en un rango de 4 a 7 rpm) durante dos semanas mientras se realiza el proceso de descomposición orgánica aeróbica, tiempo durante el cual es agregado aserrín para control de la humedad y verificadas las condiciones químicas del producto, para su posterior secado y empaque para comercialización.

Para el diseño y construcción de este tipo de maquinaria, empresas del sector industrial metalmecánico están enfocadas en brindar soluciones de ingeniería, que puedan cumplir de manera funcional y económica los diferentes procesos necesarios para la descomposición de los productos sólidos orgánicos a nivel industrial, ya que los compostadores cerrados actuales solo permiten el tratamiento de pequeñas cantidades de residuos. Esto se realiza a través del desarrollo de maquinaria especializada para dicho proceso, necesidad que involucra el diseño estructural de un tanque cilíndrico metálico rotativo con capacidad aproximada de 9 toneladas, que permita realizar mediciones de las condiciones químicas del compost en descomposición, con un sistema interno de aletas que facilite la mezcla homogénea del producto evitando la compactación del compost y por ende la generación de malos olores, además que permita el descargue del material para su posterior secado. Todo esto realizando un diseño mecánico que garantice la funcionabilidad del bioreactor, acorde a criterios de productividad, seguridad, economía, y fácil manejo brindando soporte ingenieril a procesos de manufactura de maquinaria a nivel industrial.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Resulta de vital importancia el papel fundamental que cumple la universidad como institución generador de progreso y desarrollo para el sector industrial y especialmente el sector metalmeccánico de nuestra región. Bajo esta perspectiva, es donde este trabajo de grado tiene como objetivo brindar la posibilidad de dar respuesta a los problemas de ingeniería, que se presentan al sector regional de manufactura de maquinaria y aprovechamiento de residuos orgánicos sólidos. Al realizar el diseño del bioreactor, se logra dar apoyo ingenieril a las necesidades planteadas para el aprovechamiento de los residuos, renglón de nuestra economía comprometido con el reto global de mitigar los daños causados al medio ambiente y de papel fundamental en la implementación de procesos industriales mucho más amigables con la naturaleza y su conservación. De igual manera se brindan conceptos de ingeniería a empresas nacientes del sector metalmeccánico, permitiendo integrar en un solo proyecto los imprescindibles conceptos teóricos junto a los conceptos experimentales, permitiendo orientar y liderar nuevos procesos para la industria metalmeccánica regional. Siendo así el desarrollo del proyecto, es de vital importancia, no solo por la importancia del bioreactor como depósito dentro del proceso para la producción del compost, sino que permite el desarrollo de nuevas alternativas para el aprovechamiento de recursos orgánicos antes despreciados, y que no solo contribuyen en el aspecto ambiental sino le hace frente a la posibilidad de generación de nuevas industrias y por ende nuevas fuentes de empleo en la región.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo General

- ✓ Cumpliendo con la misión de la Universidad se busca afianzar la relación entre la Universidad y el sector industrial metalmeccánico, brindando soluciones de ingeniería a las empresas fabricantes de maquinaria, por medio de la aplicación de conceptos del diseño mecánico, enfocados a desarrollar equipos funcionales para el sector de la producción de compost, convirtiéndose en un actor activo en el proceso de desarrollo industrial y tecnológico para la región y el país.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar y construir un tanque digester con capacidad para 9 toneladas de compost. Que consta de un cuerpo cilíndrico con aletas en su interior, dos compuertas axiales: una para cargue, la otra para descargue; compuertas de inspección y anillos de rotación. Todo esto fabricado en acero estructural A36 y diseñado con la ayuda de herramientas CAD/CAE como SolidWorks y CosmosWorks.
- ✓ Diseñar y construir los elementos mecánicos que constituyen el sistema de rotación del tanque digester, la estructura soporte y las masas rotativas. Que le permita al tanque girar entre 4 y 7 rpm aproximadamente.
- ✓ Seleccionar los componentes mecánicos que constituyen el sistema de potencia como lo son engranajes, corona, motoreductor y motor eléctrico (aproximadamente 15 hp), necesarios para la rotación del tanque.

2. PROCESO DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST

Sin duda alguna son miles las toneladas de residuos orgánicos sólidos generadas en los centros urbanísticos de nuestro país, y más aún con el acelerado crecimiento de las ciudades y el aumento de la densidad poblacional urbana.

Estos residuos orgánicos generalmente son tratados y desechados como basuras y se depositan finalmente en los ya saturados rellenos sanitarios, sitios donde no reciben ningún tipo de tratamiento y ocupan amplios espacios de deposición final. Además las características fisicoquímicas de los residuos sólidos urbanos orgánicos y los procesos de descomposición que le son propios, contribuyen a la generación de gases y lixiviados con altas cargas contaminantes, creando la necesidad de sistemas de tratamiento costosos y complejos, necesarios para realizar la remoción de contaminantes que exige la normatividad, de tal manera que se mitigue el deterioro de los recursos agua, aire y suelo.

Frente al grave impacto ambiental que genera la acumulación de residuos, actualmente en Colombia se busca dar solución a esta problemática, implementando la gestión ambiental de residuos sólidos, estrategia que constituye desde la separación en la fuente (orgánico, reciclable e inservible), hasta la transformación de los que permiten este proceso o la disposición final de los que no se pueden reciclar.

A partir de la separación en la fuente se han buscado usos alternativos benéficos para el entorno, como es el proceso de reciclaje para la transformación de los residuos sólidos orgánicos nuevamente en materia prima.

El proceso de compostaje de los residuos orgánicos como biofertilizantes y acondicionadores de suelos, la producción de gas, humus, los biocombustibles, entre otros, son técnicas mediante las cuales se puede aprovechar éste tipo de residuos.

Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos es el proceso para obtención de compostaje, el cual se define como descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando la estructura molecular de los mismos. De acuerdo al tiempo de degradación, se da el grado de madurez al realizar biotransformación o degradación parcial (descomposición de un compuesto orgánico en otro similar) y mineralización o degradación completa, cuando todas las moléculas de dióxido de carbono se descomponen en su totalidad. Estos residuos inorgánicos inertes o minerales se incorporan a la estructura del suelo, de los microorganismos y de las plantas causando beneficios ambientales, sociales, económicos y de salubridad al entorno. Esta alternativa, la generación de compostaje es la más usada debido a que permite tratar cantidades altas de residuos, siendo el caso de la generación de los residuos sólidos urbanos.

2.1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y SU CLASIFICACION

Actualmente, de acuerdo a las definiciones impuestas por la normatividad dada por el Ministerio Del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, se entiende por residuo como cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es

susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Aunque esta definición está orientada a cualquier tipo de residuo, en este caso el interés se centra en los residuos orgánicos sólidos, los cuales son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Este tipo de residuos incluyen los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada.

A pesar de que existen varios criterios para la clasificación de los residuos sólidos, las más frecuentes están basadas con su naturaleza y con su fuente de generación. Para la clasificación basada en la fuente de generación se tiene:

- **Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles:** consideramos dentro de esta fuente a los residuos almacenados también en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos. En este caso, sus posibilidades de aprovechamiento son un poco más limitadas, por la dificultad que representa llevar adelante el proceso de separación física.
- **Residuos sólidos orgánicos institucionales:** residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas. Se caracteriza mayormente por contener papeles y cartones y también

residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.

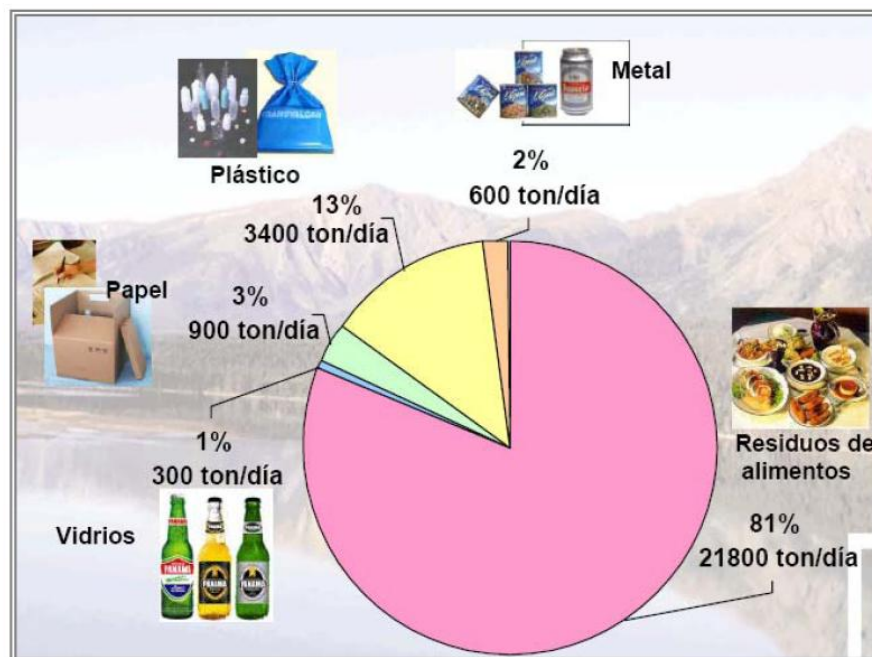
- **Residuos sólidos de mercados:** son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena fuente para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.
- **Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:** son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos últimos son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Requieren de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino (previo tratamiento).
- **Residuos sólidos orgánicos domiciliarios:** son residuos provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que mayormente contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados y papeles. Representa un gran potencial para su aprovechamiento en los departamentos del país.

2.2. GENERACION DE RESIDUOS SOLIDOS A NIVEL NACIONAL

En Colombia, el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo ha logrado estimar las cantidades de residuos sólidos orgánicos a nivel nacional. Los resultados de generación son los siguientes:

- Cuatro grandes ciudades (Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla): 11.275 Ton/día, lo que equivale al (41%) de residuos generados, solo Bogotá genera 6500 ton/día.
- En las 28 ciudades capitales se generan 5.142 Ton/ día (18.7%).
- En los 1054 municipios se generan 11.083 ton/ día (40.3%).

En total, en Colombia se generan 27.500 toneladas/día de residuos sólidos (1086 municipios 32 departamentos) y de acuerdo a la composición de los mismos, el 65% son residuos sólidos orgánicos. Otros estudios dicen que en Colombia se genera alrededor del 81% de residuos sólidos orgánicos, como se puede observar en la siguiente figura



FUENTE: MARMOLEJO, R. En: Presentación Sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Colombia. Procuraduría delegada para asuntos agrarios. Cali, 2004, p.3.

Figura 3. Composición de los residuos sólidos en Colombia

2.3. GENERALIDADES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

2.3.1. Definición

El **compost** es un abono orgánico (ni mineral ni químico) obtenido a partir de la descomposición aerobia de la materia orgánica. Es lo que se produce cuando los materiales de origen animal o vegetal se biodegradan por la acción de miles de microorganismos. Es un producto estable, de olor agradable y con multitud de propiedades beneficiosas para los suelos y las plantas.

El **compostaje** se puede definir como la técnica por la cual la materia orgánica es descompuesta de forma controlada, imitando los procesos naturales de fermentación termófila para producir humus, convirtiéndose en un producto válido para abonar nuestros suelos y plantas. Es, asimismo una forma de reciclaje. Podemos decir, por tanto, que el compostaje es el cierre artificial del ciclo de la materia orgánica.

De las diferentes alternativas para el aprovechamiento de los recursos sólidos orgánicos, la estrategia más desarrollada es la producción de compostaje, el cual es un proceso natural y biooxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos, contribuyendo ampliamente a la renovación del ciclo natural de los nutrientes del suelo y disminuyendo el uso de fertilizantes químicos.



Figura 4. Empleo de compostaje como abono en agricultura y jardinería.

Es notorio que los residuos orgánicos, constituyen la principal materia prima para el proceso de elaboración de compostaje, proceso que se lleva a cabo en diferentes procesos y etapas que aseguran una degradación del material y el enriquecimiento de nutrientes necesario para el suelo.

2.3.2. Beneficios del compost

El compost, al tratarse de un abono natural mantiene la actividad biológica del suelo, y le aporta los elementos nutritivos más importantes y oligoelementos. Pero su función más importante con respecto al suelo es la reestructurante. Además, gracias a los procesos microbianos permite movilizar los oligoelementos bloqueados en el suelo y ponerlos a disposición de las plantas. Los microbios y las enzimas sirven de catalizadores para la absorción de gran parte de los elementos nutritivos. Por tanto, el uso principal del compost es el de reestructurante del suelo. Desglosando estos datos, los beneficios del uso del compost se pueden enumerar de la siguiente forma:

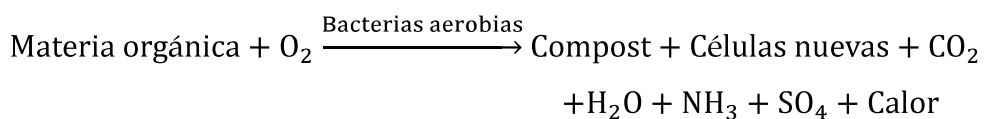
- Efectos en la estructura del suelo: Los millones de microorganismos que viven en el compost contribuyen a formar y estabilizar la tierra.

Esta materia orgánica presente en el compost capta las partículas del suelo (arena, arcilla y limo), actuando como aglomerante. Estos agregados que se han formado mantienen la estructura del suelo, para que no se los lleve el viento ni el agua. Estos efectos se observan en un aumento de la capacidad del suelo para retener agua, un incremento de la porosidad de suelos difíciles, una mejora en la ventilación y calentamiento de los suelos y, en definitiva, la creación de una estructura aterronada.

- Efectos sobre los nutrientes de las plantas: La materia orgánica al mineralizarse, libera una serie de elementos que permiten a los microorganismos fijar el nitrógeno del aire y descomponer los minerales liberando los nutrientes. Esto es debido a que el compost contiene una gran reserva de nutrientes que poco a poco entrega a las plantas, además al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, evita la erosión y la desertificación.
- Efectos sobre la salud del suelo: El compost, al aumentar la actividad biótica, proporciona sustancias activas como hormonas vegetales y antibióticos, es rico en microbios y frena la acción y proliferación de microorganismos dañinos.
- Efectos sobre la calidad del suelo: Únicamente proporciona elementos orgánicos que son transformados y pasan al ciclo de la materia orgánica, evitando así el peligro que supone para el suelo y las aguas subterráneas, el uso de fertilizantes químicos.

2.3.3. El proceso de compostaje:

El proceso de compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica mediante su oxidación y la acción de diversos microorganismos presentes en los propios residuos.



El proceso de descomposición de la materia orgánica dura aproximadamente entre 5 y seis meses (en condiciones naturales), y en dicho periodo se distinguen las siguientes fases:

2.3.3.1. Fase de latencia y crecimiento:

Es el tiempo que necesitan los microorganismos para aclimatarse a su nuevo medio y comenzar a multiplicarse. Esta fase suele durar de 2 a 4 días y al final de ella la temperatura alcanza más de 50°C. El valor de pH se encuentra en torno a 6, debido a la reacción ácida de los jugos celulares y a la actividad bacteriana (incrementada por el aumento de la temperatura) con formación de ácidos provoca la disminución del pH hasta aproximadamente 5,5. En esta fase, bacterias y hongos mesófilos, disponen de todas las sustancias directamente asimilables contenidas en estado natural en el medio orgánico. Estos microorganismos liberan ácidos a partir de la materia orgánica. Las bacterias son las que predominan en esta etapa. Son las responsables de la mayoría de los procesos de descomposición, ya que poseen un amplio rango de enzimas que degradan una gran variedad de materiales orgánicos, así como de la producción de energía calorífica en el compost. La mayoría de las bacterias mesofílicas son las que normalmente se encuentran en el suelo vegetal.

2.3.3.2. Fase termófila:

Dependiendo del producto de partida y de las condiciones ambientales, este proceso suele durar entre una semana, en los sistemas acelerados, y de uno a dos meses en los de fermentación lenta. El aumento de la temperatura, como consecuencia de la intensa actividad, provoca la

proliferación de las primeras especies termófilas presentes en los residuos en estado latente. Especies de bacterias y de hongos termófilos entran en actividad hasta temperaturas de 65°C, en ese momento aumenta la actividad enzimática, la hidrólisis, transformación de las grasas y el ataque superficial de la celulosa y lignina formando sustancias orgánicas simples. Durante esta fase de altas temperaturas, se superan los 70°C durante dos o tres semanas, lo cual elimina gérmenes patógenos, larvas y semillas. Sólo sobreviven las bacterias termófilas, se debilita la actividad biológica y se produce la pasteurización y estabilización del medio. Esta es la fase que más se debe vigilar para asegurar una buena pasteurización y evitar una excesiva mineralización si se prolonga demasiado.

En cuanto a las bacterias responsables ahora de la degradación, tanto de proteínas como de lípidos y grasas, se han conseguido aislar miembros del género *Bacillus* (temperatura óptima 50-55°C) y del género *Thermus*, cuando se alcanzan las temperaturas más altas del compost. Los hongos, que incluyen mohos y levaduras, son los responsables de la degradación de desechos resistentes, permitiendo a las bacterias continuar el proceso de descomposición una vez que la mayoría de la celulosa ha sido degradada. En lo referente a los actinomicetos hay que destacar su papel, ya que degradan compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, quitina y proteínas). Sus enzimas les permiten descomponer químicamente desechos duros como cortezas, tallos, troncos, raíces, papeles, etc.

Por encima de 70°C cesa prácticamente la actividad microbiana. Cuando la temperatura vuelve a bajar reaparecen las formas activas (formas no esporuladas), y presentan entonces también mucha actividad los protozoos, que actúan como consumidores secundarios ingiriendo bacterias y hongos, los nematodos, los miriópodos, etc.

El medio se alcaliniza como consecuencia de la formación de amonio. Los valores máximos que se alcanzan se encuentran en torno a 8,5.

2.3.3.3. Fase de maduración:

Es un período de fermentación lenta. Puede llegar a durar tres meses. Los microorganismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen otros, como hongos que continúan el proceso de descomposición: los basidiomicetes van degradando la lignina, los actinomicetos descomponen la celulosa, etc. En esta fase, a partir de componentes orgánicos, se sintetizan coloides húmicos, hormonas, vitaminas, antibióticos y otros compuestos que favorecerán el desarrollo vegetal. Se agota la materia orgánica susceptible de aportar carbono, disminuye la actividad biológica y presencia de bacterias termófilas, dando lugar a un descenso progresivo de las temperaturas. El pH disminuye tendiendo a la neutralidad en esta fase.

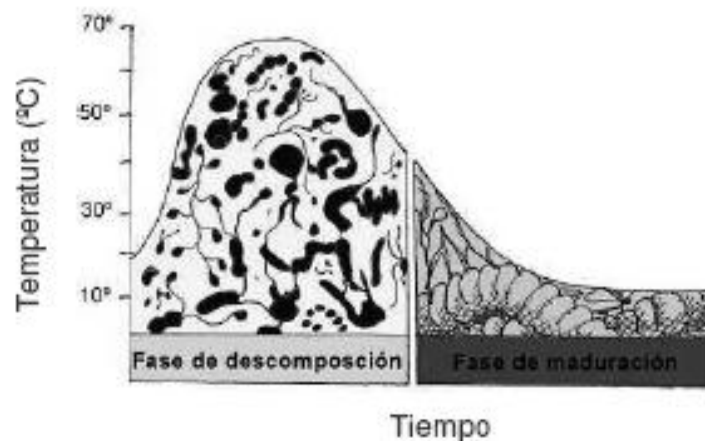


Figura 5. Grafica de las fases del compostaje (temperatura vs tiempo).

Fuente: Manual de compostaje, amigos de la tierra.

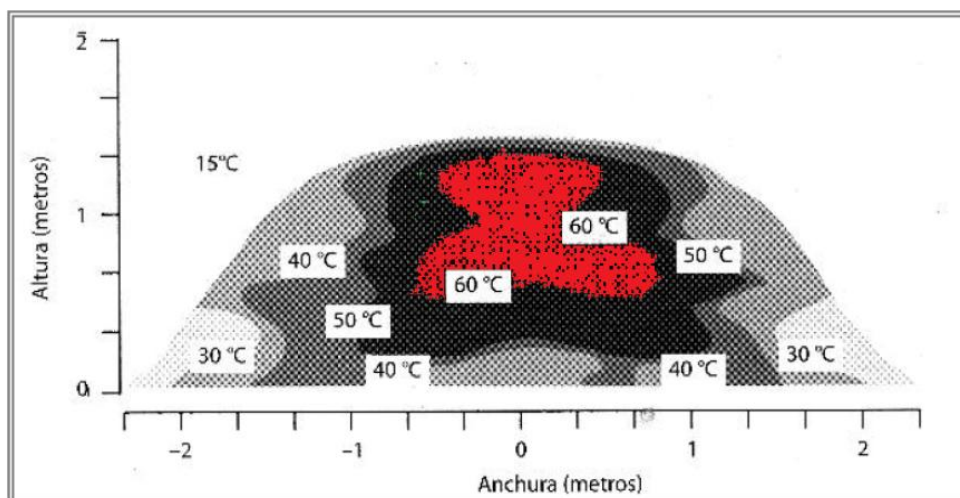
2.3.4. Factores que intervienen en el proceso de compostaje

En el proceso de compostaje, son los microorganismos los responsables de la transformación del sustrato, por lo tanto, todos aquellos factores que puedan inhibir su crecimiento y desarrollo, afectarán también sobre el

proceso. Los factores más importantes que intervienen en éste proceso biológico son:

2.3.4.1. Temperatura.

Las fases mesófila y termófila del proceso, tienen un intervalo óptimo de temperatura. Se ha observado que las velocidades de crecimiento se duplican aproximadamente con cada subida de 10 grados centígrados de temperatura, hasta llegar a la temperatura óptima. En la siguiente gráfica se muestra un área de color rojo, es el lugar donde se alcanzan temperaturas más altas, a partir de éste nivel se empiezan a eliminar microorganismos patógenos dándose el proceso de sanitización ayudados adicionalmente por los antibióticos producidos por algunos microorganismos que favorecen su eliminación.



FUENTE: DIAZ, et al. Tomado de ATLAS, Ronald M. y BARTHA, Richard. Ecología y microbiología ambiental. Citado por PUERTA ECHEVERRI, Silvia. Evaluación física, química y microbiológica del proceso del compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia (Ant). Medellín: Tesis de Maestría en Biotecnología. 2007. p.65.

Figura 6. Perfil de temperatura de una pila estática de compostaje.

Hacia los 70 °C grados centígrados se inhibe la actividad microbiana por lo que es importante la aireación del compost para disminuir la temperatura y evitar la muerte de los microorganismos. Durante estos cambios de temperatura las poblaciones bacterianas se van sucediendo

unas a otras. Este ciclo se mantiene hasta el agotamiento de nutrientes, disminuyendo los microorganismos y la temperatura.

Cada especie de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) tiene una temperatura óptima de desarrollo. Así para los criófilos es de 5°C a 15°C, para los mesófilos de 15°C a 45°C y para los termófilos de 45°C a 75°C aproximadamente. El grupo que resulte favorecido por una temperatura concreta descompondrá la materia orgánica del residuo, utilizándola como fuente de energía y de obtención de materiales para reproducirse. Los microorganismos generan calor según van descomponiendo la materia orgánica, como consecuencia de las reacciones exotérmicas asociadas al metabolismo. Este calor hace variar la temperatura de la pila, alcanzándose temperaturas de hasta 75°C. La variación dependerá de las dimensiones de la pila (el calor producido será proporcional al volumen o masa de la pila, pero la pérdida lo será a la superficie) y también, aunque en menor grado, de las condiciones ambientales.

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo de 35°C a 55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas, aunque a veces estas temperaturas sean superadas espontáneamente por la misma dinámica del proceso. A temperaturas excesivamente altas, muchos microorganismos interesantes para el compostaje mueren y otros no actúan porque están esporulados, La transformación óptima sería con 15 días a 45°C y después dejar subir la temperatura a 60-70°C para higienizar, ya que a los 50°C desaparecen los hongos.

2.3.4.2. Humedad

Este factor es indispensable para la nutrición de los microorganismos, ya que el agua es el medio en que se disuelvan los nutrientes.

Teóricamente una descomposición aeróbica puede realizarse entre unos valores de humedad del 30 al 70%, siempre que se pueda asegurar una buena aireación, que dependerá tanto del método de aireación como de la textura del residuo o residuos utilizados (fibrosos, granulosos, pulverulentos, etc.)

En el compostaje es primordial evitar la humedad elevada ya que cuando está muy alta, el aire de los espacios entre partículas de residuos se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio. Por otro lado, si la humedad es muy baja, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retarda. Se consideran niveles óptimos de humedades entre 40% - 60%, éstos dependen de los tipos de material a utilizar.

2.3.4.3. Nivel de acidez pH

El compostaje permite un amplio intervalo de pH (3.0 - 7.0), sin embargo los valores óptimos están entre 5.5 y 7.0, porque las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido. El valor del pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento llegando a un valor de 6 a 7 en el compost maduro.

Para regular el pH de los materiales de partida, podemos mezclar residuos del pH complementario. La variación de pH a lo largo del proceso de compostaje es importante. En la primera fase, la mesofílica, el pH puede disminuir por la formación de ácidos libres, pero después va aumentando. Subidas fuertes de pH pueden facilitar la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal.

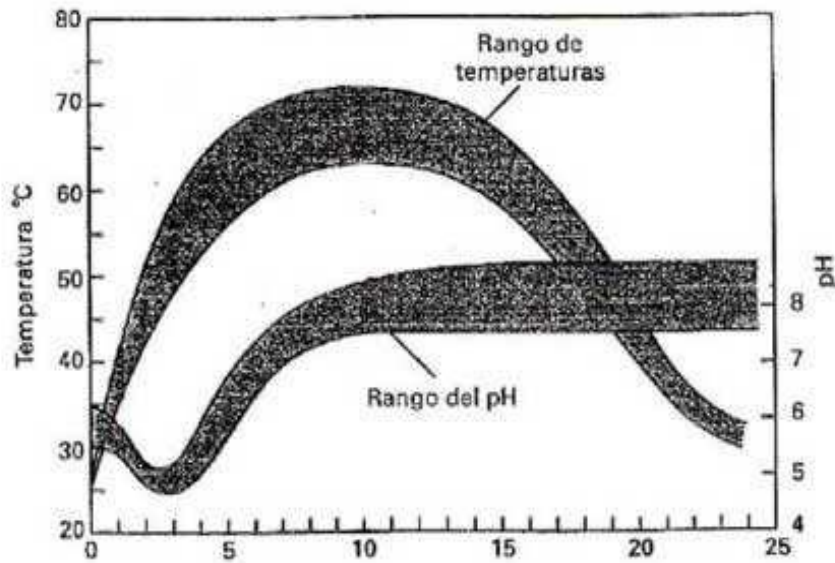


Figura 7. Variación del Ph en el proceso de compostaje.

Fuente: Tchobanoglous et al

2.3.4.4. Oxígeno

El oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan descomponer eficazmente la materia orgánica.

Debe ser suficiente para mantener la actividad microbiana, sin que aparezcan condiciones anaerobias, que, además de entorpecer el proceso, dan lugar a la aparición de olores y a un producto de inferior calidad. Por debajo del 10% se dan las condiciones anaerobias. Es el mínimo al que podemos mantener la compostera para que no inicie un proceso anaerobio.

Obtener la cantidad de oxígeno necesaria por día y por masa de material es posible, pero hay que tener en cuenta que depende del tipo de material, de la textura y humedad, de si se voltea o no y de la frecuencia de volteo. La concentración óptima se encuentra entre el 5% y el 15% en volumen de O₂. La aireación facilita la pérdida de CO₂.

El volteo de una pila de compostaje es necesario, no tan solo para airear, sino también para homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas

consigan una temperatura uniforme. Cada volteo además, consigue disminuir de 5°C a 10°C la temperatura, lo cual puede ser muy importante si se exceden los 60°C. De todas formas, la temperatura de la pila se recupera rápidamente si el compostaje todavía no está finalizado.

2.3.4.5. Relación carbono nitrógeno

Los materiales introducidos en la compostera tienen que presentar nutrientes, pero más importante que las cantidades es la proporción existente entre los dos macronutrientes principales, carbono y nitrógeno, lo que se conoce como relación C/N. Este aspecto es muy importante para que funcione el compostaje y para que se aprovechen y se retengan al máximo los nutrientes.

La cantidad de carbono necesaria es considerablemente superior a la de nitrógeno, ya que los microorganismos la utilizan como fuente de energía (se pierde en forma de CO₂) y porque está en el material celular en una cantidad muy superior a la del nitrógeno (necesario para la síntesis de proteínas).

Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y grasas. El nitrógeno utilizado se encuentra, casi en su totalidad en forma orgánica.

Conviene limitar las pérdidas de nitrógeno. Se pierde este elemento cuando las sustancias que contienen carbono son resistentes al ataque microbiano, o cuando las sustancias con nitrógeno se descomponen con demasiada rapidez. Si el proceso se realiza de forma adecuada el amoníaco desprendido es captado, transformado e incorporado a los microorganismos. Las pérdidas máximas se producen cuando la fermentación es más activa (30-35°C). No debe perderse más del 20% del

nitrógeno total. La humedad del medio, ayuda a la conservación del nitrógeno, se diluye el amoníaco y se evita su pérdida en forma de gas.

Se dice que una relación C/N entre 25/1 y 35/1 es la adecuada. Si la fermentación durante el compostaje es correcta, la relación C/N disminuirá a lo largo del proceso. Si el exceso de carbono es muy grande, la actividad biológica disminuye, y se alarga la fermentación. Hay que indicar que si la relación C/N es alta durante el compostaje retrasa tan solo la descomposición, mientras que en el caso de la aplicación al suelo el problema sería más grave, ya que provocaría el "hambre de nitrógeno". Si un residuo tiene una relación C/N adecuada, pero contiene muchas ligninas o celulosas, su velocidad de descomposición será también muy lenta.

Si la relación C/N es muy baja se produce un fenómeno de autorregulación en el cual se pierde el exceso de nitrógeno como amoníaco. Es un fenómeno que no afecta negativamente al compostaje en si mismo, pero como consecuencia se pierden nutrientes. La mezcla de distintos residuos con distinta relación C/N puede solucionar este problema. Si se consigue un producto final con bajo contenido en materia orgánica, una solución puede ser añadir material con ligninas. Valores altos pueden corregirse retirando celulosa o bien añadiendo materiales con alto contenido en nitrógeno.

A continuación se muestra en la tabla las distintas relaciones C/N de los materiales compostables:

MATERIAL		C/N
Residuos de comida	Residuos de comida	15
	Fruta	35
Residuos de jardín	Césped	20
	Leguminosas verdes	15
	Hojas caídas (según hoja)	40-80
	Ramas de árboles trituradas	100-300
Papel	Mezclado	170
	Periódico	980
Madera y tallos	Aserrín	200-500
	Madera de pino	720
	Paja, tallos de maíz	50-150
Estiércoles	Vaca	18
	Cerdo	20
	Aves	15
	Oveja	22
	Estiércol + cama	20-25

Tabla 1. Relación carbono nitrógeno de los materiales compostables.

2.3.4.6. Tamaño de partículas

El tamaño de partículas no debe ser ni muy fina ni muy gruesa, porque si es muy fina, se obtiene un producto apelmazado, lo que impide la entrada de aire al interior de la masa y no se llevará a cabo una fermentación aerobia completa. Si las partículas son muy grandes, la fermentación aeróbica tendrá lugar, solamente en la superficie de la masa triturada. Aunque el desmenuzamiento del material facilita el

ataque microbiano, no se puede llegar al extremo de limitar la porosidad, es por ello que se recomienda un tamaño de partícula de 1 a 5 cm.

2.3.5. Materiales para compostar

Todos los materiales orgánicos son susceptibles de sufrir una fermentación, es decir, son biodegradables. Sin embargo, no todos estos materiales, que en principio son compostables, garantizan la misma calidad en el compost durante el proceso y en el producto final obtenido.


NO UTILIZAR	
	
Heces de perros y gatos	Contienen organismos patógenos que pueden contaminar el compost final
Revistas ilustradas	Papel con alto contenido en tintas y metales pesados que contaminan el compost final
Ceniza de carbón mineral	Material inorgánico y altamente tóxico para los organismos
Pañales desechables, compresas	Material inorgánico
Restos de aspiradora	Material inorgánico
Filtros de cigarrillo	Material inorgánico
Tejidos sintéticos	Material inorgánico
Madera tratada con barnices, aglomerados, etc.	Material orgánico tratado con productos químicos

Tabla 2. Materiales que no sirven para compostar.

MEJOR EVITAR	
	
Carne y pescado	Producen malos olores y pueden atraer animales indeseables
Productos lácteos	Contienen alto porcentaje de grasas
Productos que contengan levaduras	Sufren fermentación anaerobia
Productos cocinados con grasas	Contienen alto porcentaje en grasas
Papel de periódico	Contiene metales pesados en la tinta

Tabla 3. Materiales que son mejor evitar para compostar.


COMPOSTABLES	
	
Restos de comida: - Restos de verduras - Restos de fruta - Cáscaras de huevo - Posos de café e infusiones	Los cítricos contienen grandes cantidades de sustancias ácidas. Para evitar una acidificación del compost hay que echarlos en pocas cantidades.
Restos de poda y jardín	Las acículas de pino y plantas cupresáceas han de echarse en pocas cantidades dado su carácter ácido.
Hojas secas, paja y restos leñosos	
Césped	Dado su alto contenido en agua se corre el riesgo de putrefacción dentro del compostador.
Estiércol o heces de animales herbívoros	Acelerador natural del compostaje dado su contenido en bacterias y nitrógeno
Ceniza de leña	De procedencia orgánica y sin químicos
Tejidos naturales	Algodón, seda, lino, etc.
Serrín	Procedente de madera sin tratar
Pelo, uñas, astas, etc.	De animales o personas.
Papel o cartón; hueveras de cartón, servilletas.	Papel o cartón que no contenga tintas

Tabla 4. Materiales a compostar.

2.4. MÉTODOS PARA LA FABRICACIÓN DE COMPOST

Estos modelos no tienen por qué ser incompatibles ni excluyentes entre sí, sino que con una correcta gestión de los residuos orgánicos se debe tender a la complementariedad de los mismos. Sus diferencias radican en la cantidad de residuos a tratar, en los agentes implicados y en los recursos económicos invertidos.

2.4.1. Compostaje en pilas

2.4.1.1. Pilas estáticas

Las medidas óptimas oscilan entre 1,2 y 2 metros de altura, por 2 o 4 metros de anchura, siendo la longitud variable. La sección tiende a ser

trapezoidal, aunque en zonas muy lluviosas es semicircular para favorecer el drenaje del agua.

Las pilas son ventiladas por convección natural. El aire caliente que sube desde el centro de la pila crea un vacío parcial que aspira el aire de los lados. La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición, todo lo cual afecta el movimiento del aire hacia el centro de la pila.

El tamaño y la forma de las pilas se diseñan para permitir la circulación del aire a lo largo de la pila, manteniendo las temperaturas en la gama apropiada. Si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro, mientras que si son demasiado pequeñas no calentarán adecuadamente. El tamaño óptimo varía con el tipo de material y la temperatura ambiente.

Una vez constituida la pila, la única gestión necesaria es el volteo o mezclado con una máquina adecuada. Su frecuencia depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que deseamos realizar el proceso, siendo habitual realizar un volteo cada 6 - 10 días. Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 o 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado.



**Figura 8. Fotografía de un sistema volteador de compostaje adaptado a tractores.
Fuente: Brent Hansen Environmental Bussinness Cosulting And Proyect Managemet LTD.**

El compostaje en pilas simples es un proceso muy versátil y con escasas complicaciones. Se ha usado con éxito para compostar estiércol, residuos vegetales, fangos y R. S. U. El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. El proyecto debe hacerse evitando que las máquinas volteadoras pasen por encima de la pila y la compacten. Los lados de las pilas pueden ser tan verticales como lo permita el material acumulado, que normalmente conduce a pilas sobre dos veces más anchas que altas. Actualmente se tiende a realizarlo en naves cubiertas, sin paredes, para reutilizar el agua de los lixiviados y de lluvia para controlar la humedad de la pila. La duración del proceso es de unos dos o tres meses, más el periodo de maduración.

2.4.1.2. Pilas estáticas aireadas

Es un sistema donde la pila de compost permanece estática a lo largo del proceso de compostaje. El aire se introduce a través de un sistema situado en el suelo bajo la pila. Con este sistema se eliminan las condiciones anaerobias ya que está asegurado un volumen constante de aire que además puede regularse de controladores según las necesidades de la masa.

La corriente de aire puede ser positiva o negativa, esta última suele utilizarse en situaciones en las que es necesario controlar el olor del compost. En otras ocasiones la aireación solo se realiza durante la etapa termófila mientras que durante la maduración no se aplica. Las combinaciones que se pueden hacer dependen del tipo de material y su humedad, de las condiciones de partida, de los plazos para la finalización del proceso, etc. El proceso requiere una inversión y mantenimiento mayores que en el caso de las pilas aunque el coste de mano de obra es más bajo.

- Aireación negativa

La pila se forma acumulando los desechos orgánicos con compost maduro y la fuente de carbono por encima de una tubería perforada que se une a una bomba de succión. Unido a este sistema se instala una pila como sistema de biofiltro para el control del olor que se forma con compost maduro o biomasa vegetal. Al final del proceso de compostaje la pila debe voltearse en un montón aparte para acabar de madurar el compost, en torno a las 6-12 semanas.

Este método es utilizado cuando los residuos tienen alta producción de olores desagradables que pueden afectar a poblaciones cercanas, se dispone de poca superficie para el compostaje y su estructura original es demasiado apelmazada y con alto grado de humedad.

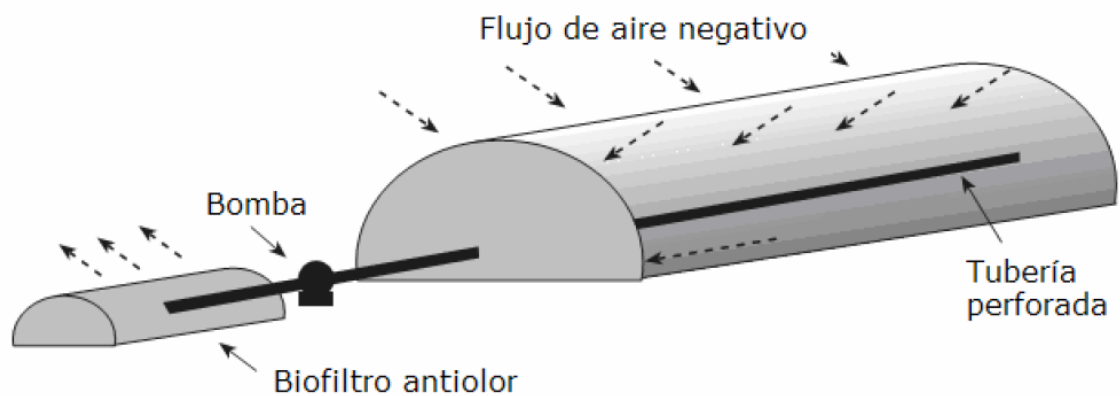


Figura 9. Esquema de funcionamiento de pilas estáticas aireadas negativamente. Fuente: Kansas State University.

- Aireación positiva

En este caso, los tubos expulsan aire a través de la pila saliendo por la parte superior de esta, por lo que es complicado controlar la emisión de malos olores. En este caso, si es necesario puntualmente se pueden controlar con una capa gruesa de material plástico. Este sistema suministra mejor oxigenación a la pila con respecto a la aireación negativa, sobre todo por la ausencia de mecanismos de filtración de malos olores. Este sistema es más efectivo para disminuir la temperatura de la pila en condiciones controladas mediante mecanismos automáticos.



Figura 10. Pilas de volteo con aireación positiva.
Fuente Internet: gestionintegralresiduos.blogspot.com.

2.4.2. Compostaje domestico

Las principales ventajas del compostaje doméstico son, que reducen el impacto ambiental causado por el transporte y la gestión de los residuos biodegradables, y que permiten que sea el propio productor del compost quien pueda utilizarlo, cerrando así el ciclo del reciclaje y evitando la fabricación y utilización de otros productos.

2.4.2.1. Compostador de palés

Sólido, ligero y barato. Al ser de madera posee un aspecto que se integra perfectamente con el paisaje. Ofrece la posibilidad de reutilizar maderas tiradas en la basura o palés de obra.

Los materiales necesarios para su fabricación son:

- 4 palés
- clavos
- 3 bisagras
- cierre
- tapadera, alfombra vieja o plástico

Se colocan los palés en forma de caja (sin suelo y sin techo), se unen tres de ellos con los clavos formando una estructura sólida. El cuarto palé hace de puerta, lo que se une a los demás por un lado mediante las bisagras, y en el otro se pone un pequeño cierre para poder abrirlo con facilidad. Por último, se coloca encima una tapadera.

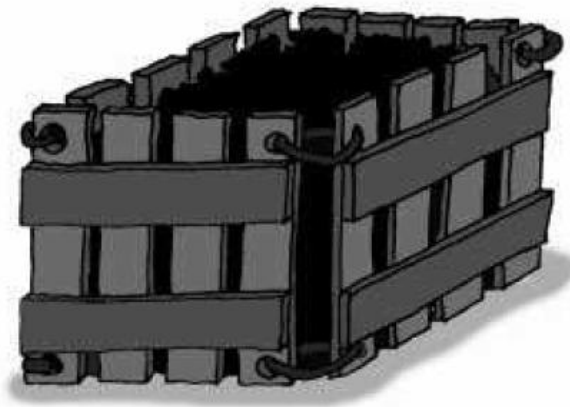


Figura 11. Caja para compostar en casa.
Fuente: amigos de la tierra, curso de compostaje España

Compostador redondo de malla

Sólido, barato, ligero y fácil de construir. Los materiales necesarios para su fabricación son:

- trozo de malla metálica o plástica, comprada en ferretería
- cuerda
- cartón (para aislar los materiales ya que el tamaño de luz de la malla suele ser demasiado grande)
- tapadera, alfombra vieja o plástico

Se coloca la malla en forma de cilindro y se unen los dos extremos con cuerdas hasta que quede firme. Por dentro, se forra con el cartón, previamente perforado para que pueda entrar el aire y se une con la cuerda. Por último, se coloca la tapadera.



Figura 12. Compostador redondo de malla.
Fuente: manual compost adt 2008.

2.4.2.2. Compostador de ladrillos

Sólido y resistente. Su construcción requiere un esfuerzo relativo pero su duración es muy larga.

Los materiales necesarios para su fabricación son:

- ladrillos (número suficiente para cubrir 3 paredes)
- cemento
- lona de plástico

Se colocan los ladrillos fijados con cemento en forma de U tumbada, de manera que los orificios de los ladrillos comuniquen el exterior con el interior. Por encima del montón se coloca una lona de plástico que lo proteja de las condiciones ambientales externas.

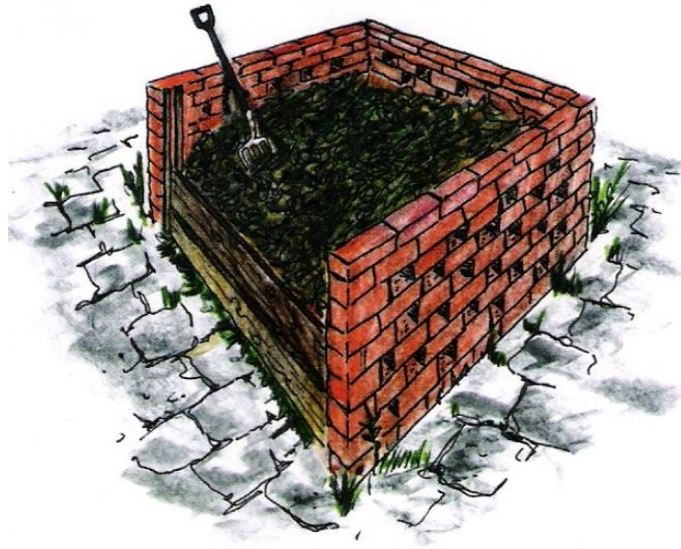


Figura 13. Compostador de ladrillos.
Fuente Internet: www.maipue.org.ar/node/214

2.4.3. Compostaje en reactores o contenedores

Se refiere a un grupo de métodos y procedimientos que comprende un compostaje en estructuras aisladas, contenedores, reactores o naves. Estos procesos cuentan con técnicas de volteo, mezcla y aireación forzada para aumentar la velocidad del proceso. Algunos métodos combinan varias técnicas (pilas dinámicas, aireación de pilas, etc.) para salvar las posibles deficiencias de estos métodos por separado y conseguir las ventajas de cada uno de ellos.

Estos sistemas se aplican cuando se requieren tasas elevadas de transformación y condiciones muy controladas, elaborándose el compost en menor tiempo. Son sistemas más complejos de construir, operar y mantener. Este sistema permite una amplia gama de diseños ya sean horizontales o verticales, normalmente están provistos de un sistema de agitación que permita una aireación y homogeneización de la masa, en formato de Bioreactor, donde el producto fresco entra por un lado y sale procesado por el otro.

Su utilización está indicada en el caso de mezclas complejas con algún tipo de dificultad como el caso de la transformación de lodos, aguas residuales o biocompost. Existen diversas tecnologías desarrolladas que se pueden clasificar en:

2.4.3.1. Reactores horizontales rotatorios

- **Tambor rotatorio:**

Se trata de un tambor rotatorio cilíndrico con puertas deslizantes en sus extremos de distintas capacidades según las necesidades, con una cavidad interior para almacenar los residuos. Una vez se ha cargado el tambor este comienza a rotar a unas 4 revoluciones por hora. Es necesario incorporar agua para controlar el nivel de humedad de la biomasa hasta llegar aproximadamente a un 35%. Es recomendable la adición de alguna fuente de carbono como aserrín, restos de poda o cultivos para aumentar la porosidad, absorber los excesos de humedad y olores, además de mantener las temperaturas termófilas para completar el proceso de compostaje. El proceso dura aproximadamente de 4 a 6 días, momento en el cual se comienza la descarga de 1/3 de la carga mientras se inicia una nueva recarga.



Figura 14. Fotografía del sistema BW Organics, Inc. de tambor rotatorio horizontal

- **Bioreactor aeróbico rotatorio**

A diferencia del anterior este sistema controla la temperatura y la humedad del proceso de compostaje mediante sensores y esto repercute sobre la velocidad de rotación del bioreactor y sobre un sistema de aireación que incorpora oxígeno en el interior del bioreactor. Este proceso de compostaje termina en unos 5 días permitiendo un nuevo ciclo continuo de carga de biomasa. Los gases generados en este proceso son dirigidos a un biofiltro lo que disminuye la emisión de malos olores.

Este sistema tiene una capacidad de unas 20 a 25 toneladas de biomasa en un mismo ciclo de producción de compost. La estructura del bioreactor tiene instalado dos anillos de acero que permiten una rotación suave en el proceso y sobre el que actúan los mecanismos de acción de frenado.

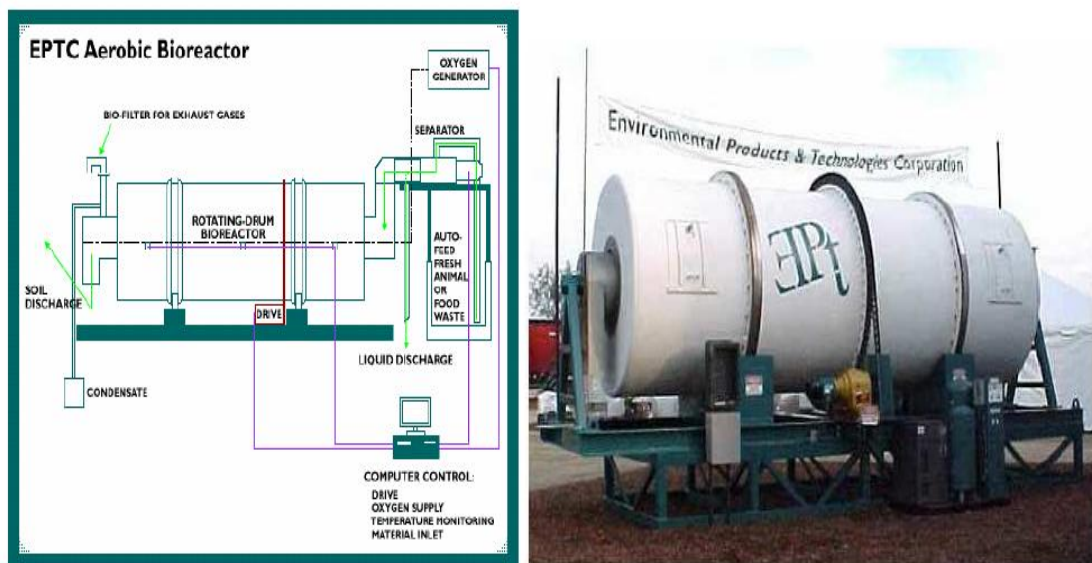


Figura 15. Fotografía del sistema EPTC de la empresa environmental products and technologies corporation.

2.4.3.2. Reactores verticales estáticos

Se emplean en la fabricación de compost poco voluminosos. Los materiales se introducen en un silo vertical de unos 2 a 3 metros de altura, con forma esférica o rectangular, cuyos lados están calados para permitir la aireación. El silo se carga por la parte superior colocándose la biomasa

en lechos o capas y forzándose el paso de aire natural a través de las aberturas del silo para tal efecto. El compost, una vez elaborado, se descarga por una abertura que existe bajo el silo. Si la cantidad de material es pequeña, el silo puede funcionar de forma continua, retirándose el compost maduro a la vez que se recarga el silo por la parte superior.

Existe una evolución tecnológica que incorpora un sistema de forzado de aire hacia el interior del silo o mediante un agitador dentro del propio silo que facilita esta oxigenación del compost. Estos sistemas suelen ir monitorizados mediante controles de temperatura y humedad, que determinan la intensidad de aire forzado.

2.4.3.3. Reactores verticales dinámicos

Estos sistemas se diseñan según la escala y las necesidades de la propia explotación. Los depósitos se cargan mediante cintas automáticas y se realiza el volteo mecánicamente lo que reduce los costos de maquinaria y aumenta la bioseguridad del entorno. El sistema es automático y chequea la temperatura, oxígeno y humedad. En función de estos parámetros actúa para mantener las condiciones óptimas para el compostaje. Los gases generados pasan a través de un biofiltro que controla la emisión de malos olores y recoge los efluentes generados que son reutilizados para controlar la humedad de la masa de compostaje. Estos sistemas tardan unos 21 días en estabilizar el compost.

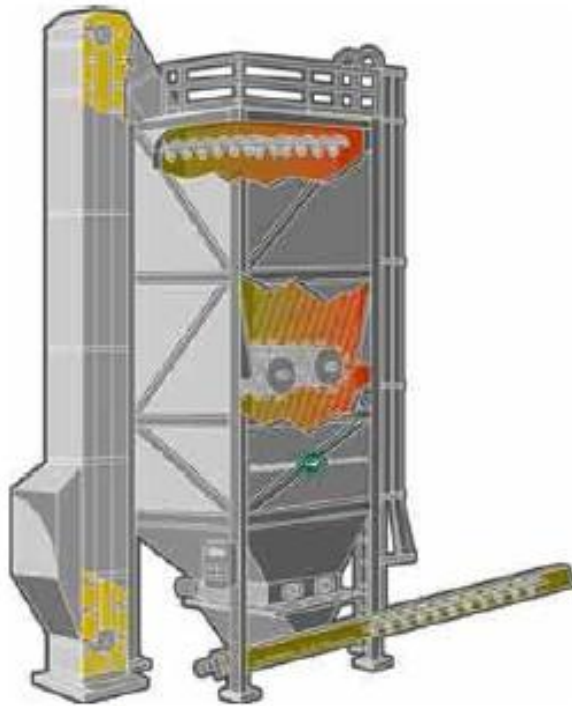


Figura 16. Sistema BioSystem Solutions.

Algunos sistemas tienen dos etapas, en la primera etapa un ecoreactor trata los residuos sólidos produciendo una deshidratación y un proceso biológico que dan a lugar a un material que ya puede ser aprovechado como abono orgánico. En una segunda etapa, mediante un bioreactor, se produce una maduración final por medio de la asimilación de nutrientes por distinta flora microbiana.

2.5. PRODUCCIÓN DE COMPOST MEDIANTE EL USO DE UN TANQUE DIGESTOR

El proceso de compostaje permite reciclar residuos orgánicos de origen municipal, comercial, industrial o agrícola. Recupera materia orgánica de los residuos, que puede ser retornada al suelo. Debe tenerse en cuenta que éste es un procedimiento de tratamiento y reducción de residuos, y no,

necesariamente, un negocio. Para asegurar la calidad agrícola y comercial del compost resultante, debe controlarse el contenido de nutrientes y materias orgánicas, así como también la presencia de sustancias indeseables, en el material de partida.

Los sistemas de tratamiento de la fracción orgánica varían de unas plantas a otras, pero en general se pueden diferenciar de modo genérico, las siguientes fases:

- **Transporte.**

Transporte de los residuos hasta la planta de compostaje. El transporte se realizará con el vehículo más apropiado en cada caso, teniendo en cuenta las características propias de cada centro (silo de descarga, posibilidades de maniobra de un camión mayor, contenedores existentes, o posibilidades de situar contenedores de mayor capacidad), el tipo de residuo generado, la sequedad de este y el olor del producto.

- **Separación de productos inertes**

Se hacen pasar los residuos orgánicos por un trommel y una cabina de selección manual (el proceso de separación de inertes varía en función de la planta) para eliminar inertes que se puedan encontrar, tales como vidrio, metales, etc.

- **Recepción y trituración de la fracción vegetal**

Se emplean trilladoras que constan de un molino alimentado por una tolva. Su función es darle a la fracción vegetal el tamaño y la textura adecuados para que cumpla su función de estructurante. El molino desgarrará la madera para que ofrezca una textura que facilite la mezcla presente un diámetro de partícula óptimo (mayor superficie posible) que

favorezca la descomposición aeróbica. En esta fase de trituración también se realiza el desfibrado, de manera que se consigue una considerable reducción del volumen, así como un aumento sustancial de la superficie de acción de los microorganismos.

- **Mezcla y homogeneización.**

En este proceso lo que se desea conseguir es el óptimo de humedad y relación C/N (de acuerdo a las cantidades y porcentajes mencionados anteriormente).

- **Carga, funcionamiento y descarga del tanque digestor**

Este tipo de compostaje cerrado permite la degradación de la materia orgánica en un corto período de tiempo y en un espacio reducido, obteniendo un compost de buena calidad, y sin problemas de olores. En consecuencia, el funcionamiento sería cargar el tanque con la mezcla a compostar y ponerlo en marcha. El tiempo del proceso puede variar entre carga y carga, ya que la cantidad de residuos no será homogénea en todos los periodos del año.

El equipo está previsto para ser cargado manualmente y funcionar automáticamente, mediante una transmisión mecánica. La aireación está realizada mediante unas ventilas en el cuerpo del tanque. En cualquier caso, el valor del compost obtenido compensa ampliamente el costo de funcionamiento.

Normalmente estos tanques funcionan en grupos de dos o más unidades, de forma que se va cargando diariamente los residuos en uno de ellos hasta alcanzar su capacidad máxima, momento en que se deja compostar mientras se carga otro tanque para repetir el ciclo. Se dispone de una entrada para introducir el agua necesaria para el proceso, y para

compensar la evaporación del agua por la acción del aire, el equipo está previsto con un humidificador para mantener el grado de humedad necesario.

Para la descarga se abre la compuerta correspondiente (trasera) mientras el equipo sigue en marcha y debido a una leve inclinación que posee la estructura, el producto compostado va saliendo del tanque en forma continua. El compost obtenido no es retirado en su totalidad y se deja una pequeña cantidad para iniciar de manera más controlada el proceso del siguiente lote a compostar.

- **Afino del compost maduro.**

Consiste en conseguir un menor tamaño de partícula y eliminación de inertes para lo cual se somete el compost maduro a un proceso denominado cribado. Las cribas tienen la función de refinar dicho compost madurado dándole una forma esponjosa, homogénea y de granulometría apropiada para la aplicación a la que se destine. La parte gruesa, constituida básicamente por materiales leñosos más resistentes a la descomposición, se recirculará en el proceso como estructurante, con la propiedad de estar inoculado con los microorganismos que deben iniciar la colonización. Existen tres tipos de cribas: la criba plana vibratoria, la criba de tambor rotativo o trommel, y las mesas densimétricas.

En ocasiones el compost que se obtiene puede contener metales pesados, los cuales proceden fundamentalmente de una mala separación en origen. Por tanto, tendrá unos límites de utilización. Controlando estos parámetros se puede obtener un compost de calidad.

3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL TANQUE DIGESTOR

3.1. Requerimientos Generales

Como fase inicial del proceso de diseño conceptual se establecieron los criterios óptimos para el funcionamiento del tanque digestor, los cuales fueron:

- El tanque debe estar dimensionado para el trabajo y una capacidad de 9 toneladas.
- El tanque debe estar configurado para ser cargado directamente de la trituradora por medio de un conducto.
- En la configuración del tanque se debe asegurar una rotación lenta para cumplir con los requerimientos del compostaje.
- El tanque debe tener puntos fijos que permitan su rotación axial y le sirvan de apoyo, esto con el fin de voltear el material y evitar que se presenten etapas anaerobias en el proceso
- Las partes desmontables del tanque deben ser a la vez resistentes y livianas para facilitar el manejo por parte de operarios.
- La fuente de potencia debe ser un motor eléctrico.
- Los elementos de transmisión de potencia y la estructura deben ser lo suficientemente resistentes y protegidos contra condiciones de trabajo a la intemperie.
- El tanque debe disponer de un sistema para garantizar la adecuada aireación del material de trabajo.
- Se debe disponer en el tanque digestor de compuertas para la inspección de las propiedades relevantes en el proceso.
- El tanque debe contar con un sistema que evite la compactación de los residuos sólidos mientras se encuentre en operación.
- Se debe contar con un sistema de fácil descarga.

3.2. Parámetros Técnicos

La definición de los parámetros técnicos fue un paso vital para establecer criterios de dimensionamiento y hacer un acercamiento preliminar a la configuración y disposición de los diferentes sistemas del tanque digestor. Los parámetros técnicos son:

- La densidad del compost está entre 750 y 850 Kg.
- La velocidad angular del tanque digestor debe estar en un rango de 4 a 7 rpm, para garantizar las diferentes etapas del proceso.
- El PH de los desechos orgánicos sólidos oscila entre 4 y 7.5.
- La temperatura máxima permitida dentro del tanque es de 70° C.
- Los niveles óptimos de humedades deben estar entre 40% - 60% dentro del tanque.

Teniendo como premisa estos parámetros, se establecieron los subsistemas que permiten el funcionamiento del tanque digestor y se plantearon sus posibles componentes mecánicos mediante búsqueda en catálogos y bocetos preliminares, generando una alternativa de diseño total para ser analizados posteriormente con la ayuda de software como SolidWorks y SolidWorks Simulación.

3.2.1. Sistema de potencia

- Elemento motriz

Como elemento motriz hemos seleccionado un motor eléctrico porque la inversión inicial es mucho menor a la de uno de combustión interna además ofrece mayor rendimiento peso potencia y su mantenimiento es mínimo.

- Mecanismos de transmisión

Para transmitir la potencia requerida se utilizarán correas en v a la salida del motor eléctrico seguido de una caja reductora que finaliza en una pareja de engranajes cónicos rectos (piñón-corona). Esto con el fin de transmitir la potencia necesaria a la velocidad requerida (4-7 rpm). Todo esto colocado en la compuerta de carga por facilidades de costo, construcción y montaje.

3.2.2. Sistema de la estructura del tanque

- Tamaño

Teniendo como referencia los catálogos de las láminas hot rolled y la carga requerida por el cliente se dimensionó el tanque para tener una buena relación de esbeltez y reducir al mínimo el retal de lámina desperdiciada.

- Aspas internas

Se deben colocar un número de aspas al interior del tanque con el fin de evitar la compactación de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje.

3.2.3. Sistema de rotación y bastidor

- Anillos de rotación

Se van a colocar 4 anillos alrededor del tanque que servirán para que este conserve su forma cilíndrica; como apoyo en conjunto con el bastidor y para permitir el giro del tanque sobre su propio eje.

- Masas de rotación

Permiten el giro del tanque sobre una estructura fija (bastidor) por medio de rodamientos. Se debe tener en cuenta una distribución uniforme de las masas tanto radial como longitudinal para asegurar la estabilidad estructural del tanque.

- Bastidor

Esta es la estructura encargada de soportar todo el peso del sistema cargado. Se le va a dar una inclinación para facilitar el descargue del tanque y se diseñara con la ayuda del software SolidWorks simulation.

3.2.4. Sistema de compuertas carga, descarga e inspección

- Carga y descarga

La carga se realiza en uno de las tapas del tanque que esta fija y tiene un orificio por medio del cual es alimentado el tanque directamente por la trituradora, la descarga se realiza por medio de una tapa desmontable en el extremo opuesto del tanque y una inclinación en el bastidor que ayuda a sacar el compost, estas tapas deben llevar una serie de agujeros que permitan una buena aireación de la materia orgánica para prevenir procesos de putrefacción.

- Compuertas de inspección

Se van a colocar dos compuertas de inspección y toma de muestras necesarias para hacer un seguimiento de las variables del proceso (PH, Temperatura y Humedad). Están ubicadas en la periferia del tanque, sostenidas con bisagras y llevan empaques que eviten la perdida de material por su holgura.

3.3. BOCETOS

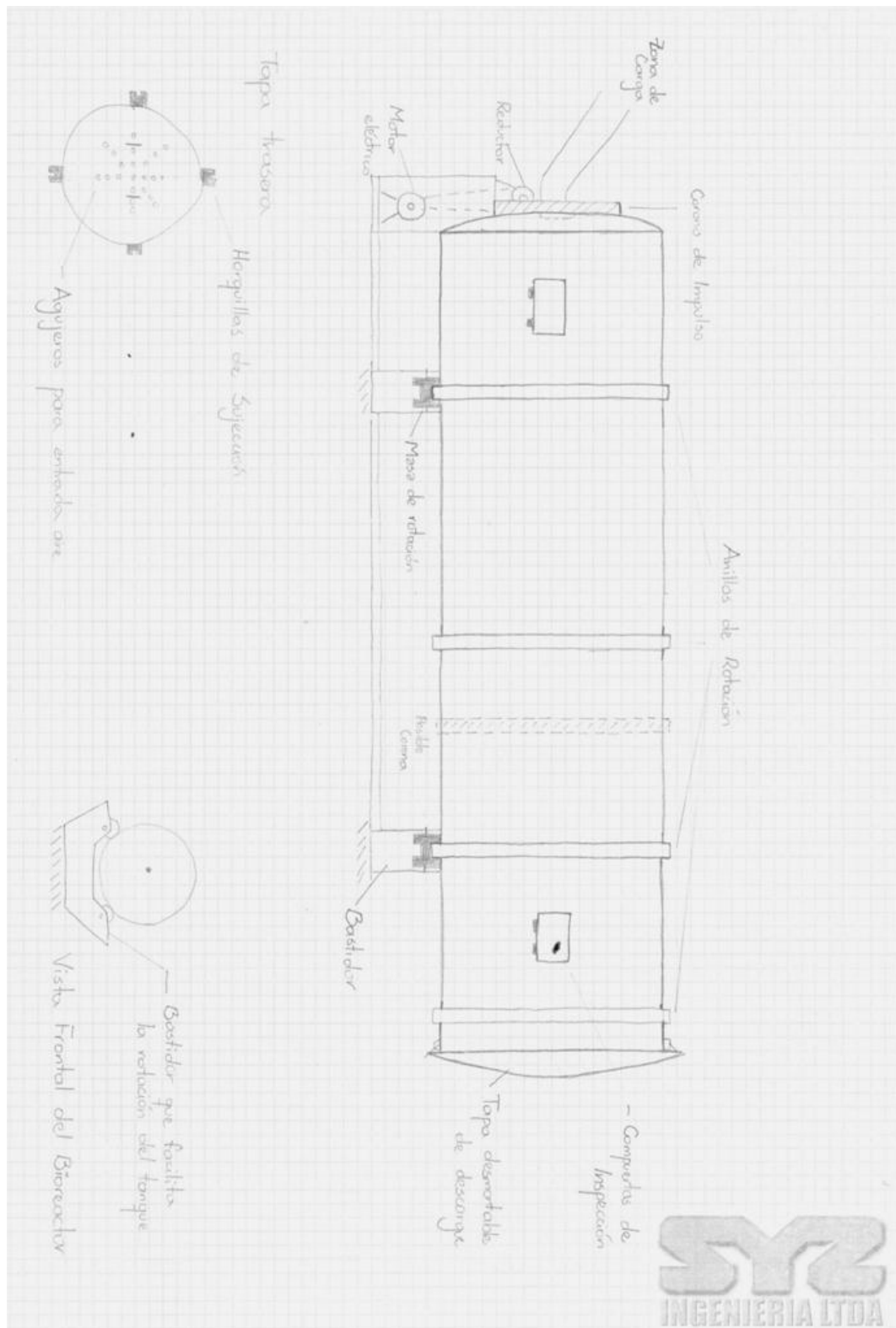


Figura 17. Esquema del diseño conceptual a mano alzada.

4. DISEÑO DEL TANQUE DIGESTOR PARA LA PRODUCCION DE COMPOST.

Posteriormente a la configuración geométrica del tanque, se realizó el diseño definitivo y detallado para cada uno de los subsistemas, realizando la selección de componentes mecánicos, esto soportado mediante el empleo de catálogos técnicos, y la verificación de su comportamiento mecánico en Solidworks Simulation.

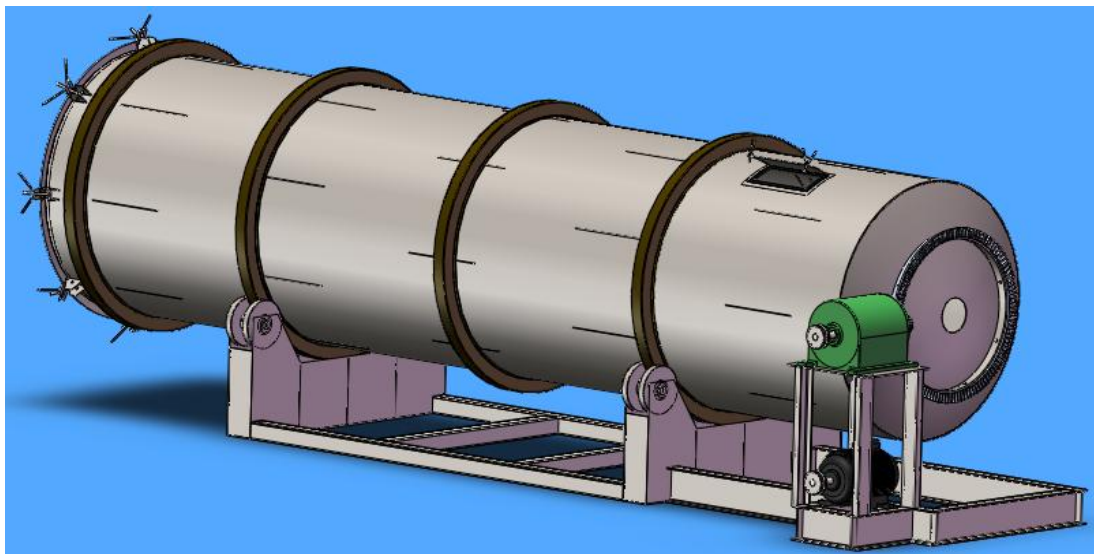


Figura 18. Configuración general del tanque biodigestor.

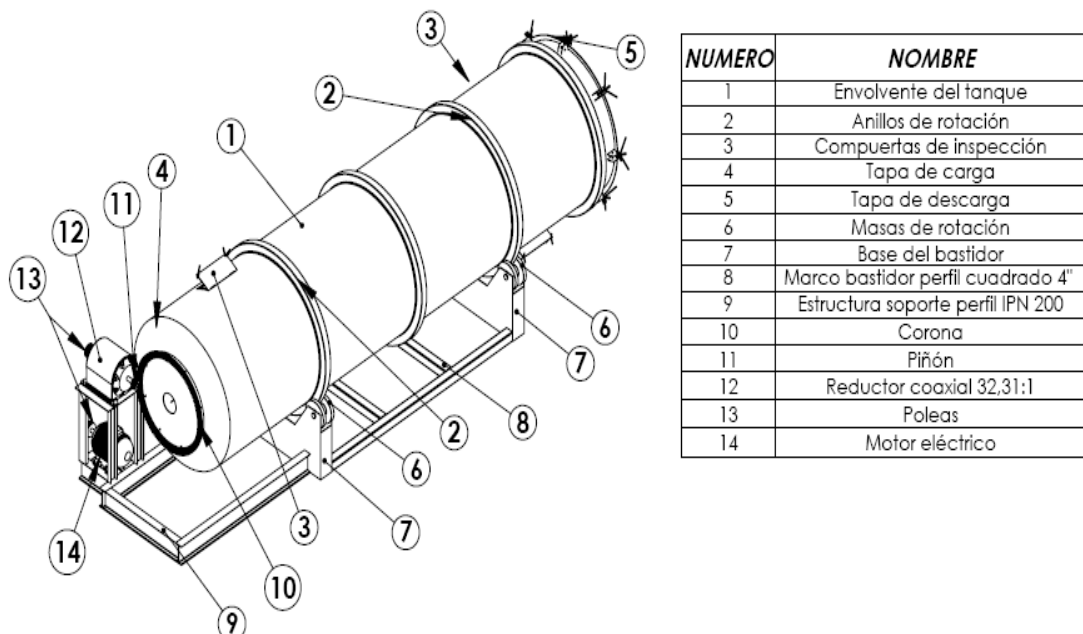


Figura 19. Partes del tanque biodigestor.

4.1. Diseño del tanque

El tanque en sí mismo es la parte vital del proyecto y es allí donde se va a realizar el proceso de compostaje. Por lo tanto debe ser lo suficientemente robusto para soportar el peso del material a compostar (carga crítica), sin que esto implique un sobredimensionamiento del espesor del tanque porque esto aumentaría su peso y costo considerablemente. Tomando esto como criterio además de la disponibilidad en el mercado local, la facilidad para el montaje y su utilidad como elemento estructural, se seleccionó como elemento base para la envolvente del tanque lámina estirada en caliente, fabricada en acero A36.

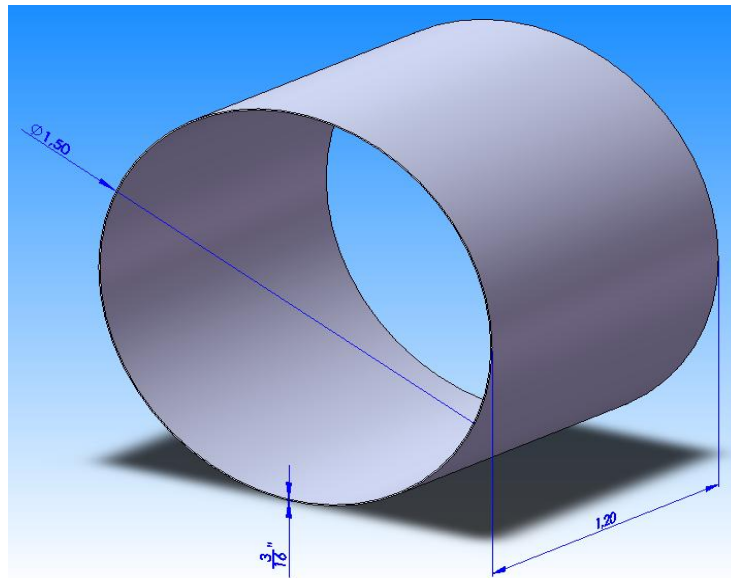
Aparte de la envolvente como elemento primario, el tanque tiene una tapa de carga (fija) y una de descarga (desmontable), dos compuertas de inspección, un sistema de aspas internas (para evitar compactación) y unas guías de rotación (anillos) que serán en ultimas las que soportarán el peso de estos componentes y permitirán la rotación de los mismos.

4.1.1. Diseño de la envolvente del tanque

En el diseño conceptual quedo definida la geometría del tanque (cilíndrica) y en esta etapa se definirán las dimensiones definitivas. Para cumplir con los requerimientos de carga de determinó un diámetro de 1.5m y una longitud de 6m que se comprobaran a continuación.

- Densidad del compost: 840 Kg/m³ (alto contenido de humedad, condición crítica)
- Carga critica de operación: 9 Ton
- Volumen del tanque:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * L$$
$$V = \frac{\pi * 1.5^2}{4} * 6$$
$$V = 10.6 m^3.$$



• Figura 20. Sección de la envoltura del tanque.

- Capacidad del tanque:

$$C = V * \rho$$

$$C = 10.6 * 840$$

$$C = 8904 \text{ Kg.}$$

Con esto se comprueba que con estas dimensiones se cumple con el requerimiento de carga del proyecto.

Ahora es necesario definir el espesor (calibre) de la lámina del acero estructural A36 HR. Para esto se tuvo en cuenta el estado del arte y la experiencia recopilada en este sector para hacer una primera aproximación con un espesor de 3/16", pues un espesor de lamina mayor es innecesario porque no es un tanque que vaya a soportar grandes cargas de presión y una lámina más delgada conllevaría a posibles deformaciones por falta de rigidez, lo cual se comprobaba con SolidWorks simulation.

- Envoltente

$$\text{Desarrollo envoltente} = \pi * D$$

$$\text{Desarrollo envoltente} = \pi * 1.5$$

$$\text{Desarrollo envoltente} = 4.71m.$$

Se toma 4.72m. Como medida final para el desarrollo del cilindro porque en el proceso de cilindrado la lamina no forma un círculo perfecto y se pierde un pequeño porcentaje de la lámina.

En el mercado existen varios tamaños de lámina estándar con un espesor de 3/16" para nuestro caso vamos a tomar como referencia el catalogo de CODIACERO (Anexo A) hemos seleccionado la lamina de 1.2*6.0m. (Figura 21) después de comparar y mirar con cuál de las posibilidades se ahorra mayor cantidad de material o se necesitaba menor trabajo y soldadura, conllevando a un menor valor de fabricación del tanque.

Para armar la envolvente del tanque se van a construir 5 secciones (figura 22) de 1.2m. Y luego se soldaran con electrodo 7018 (anexo B) la lámina sobrante se utilizara para fabricar las aspás del tanque para aprovechar al máximo todo el material.

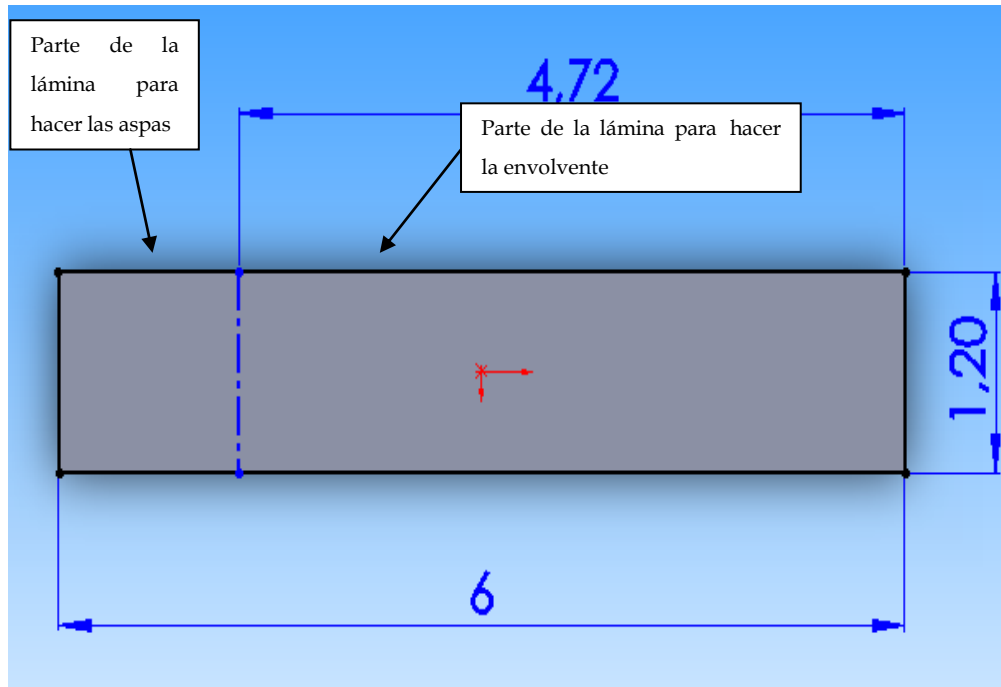


Figura 21. Lámina de HR de 3/16 para la envolvente.

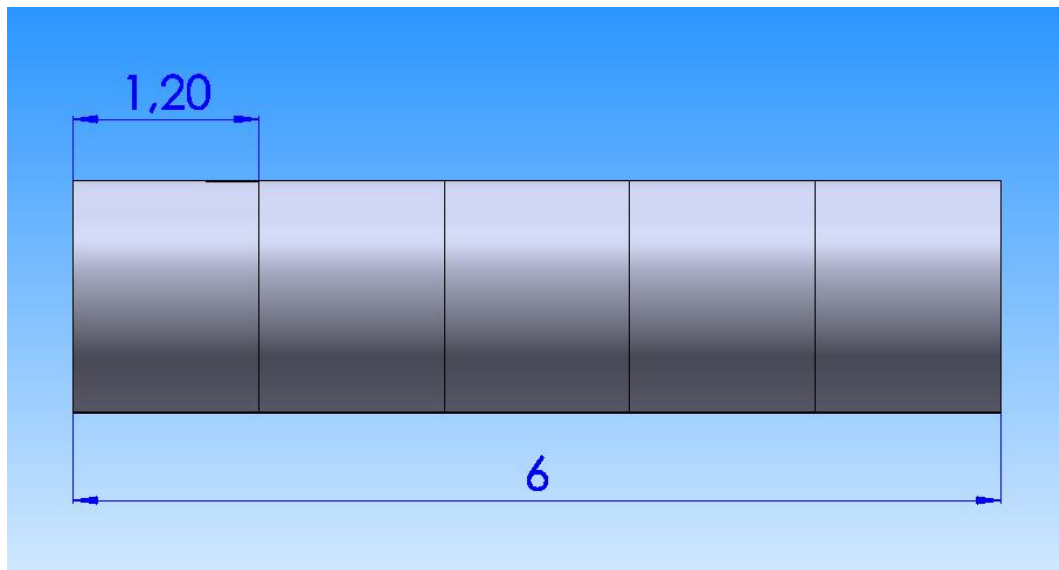


Figura 22. Secciones para construcción de la envolvente.

- Cálculo del peso muerto de la envolvente del tanque

$Peso\ envolvente = (peso/m^2) * Area\ de\ la\ lamina * N^o\ de\ secciones$

$$Peso\ envolvente = \left(37.38 \frac{Kg}{m^2} \right) * 4.72\ m * 1.2\ m * 5$$

$$Peso\ envolvente = 1058.6\ Kg.$$

- Análisis CAE de la envolvente

Posteriormente se realizó el análisis CAE con el propósito de verificar las ventajas del montaje y analizar primordialmente la deformación estructural. Se tomó como carga solamente el peso del compost. Este análisis se lleva a cabo en la envolvente del tanque sin tener en cuenta sus tapas, se presume que estas le darán un poco más de rigidez estructural.

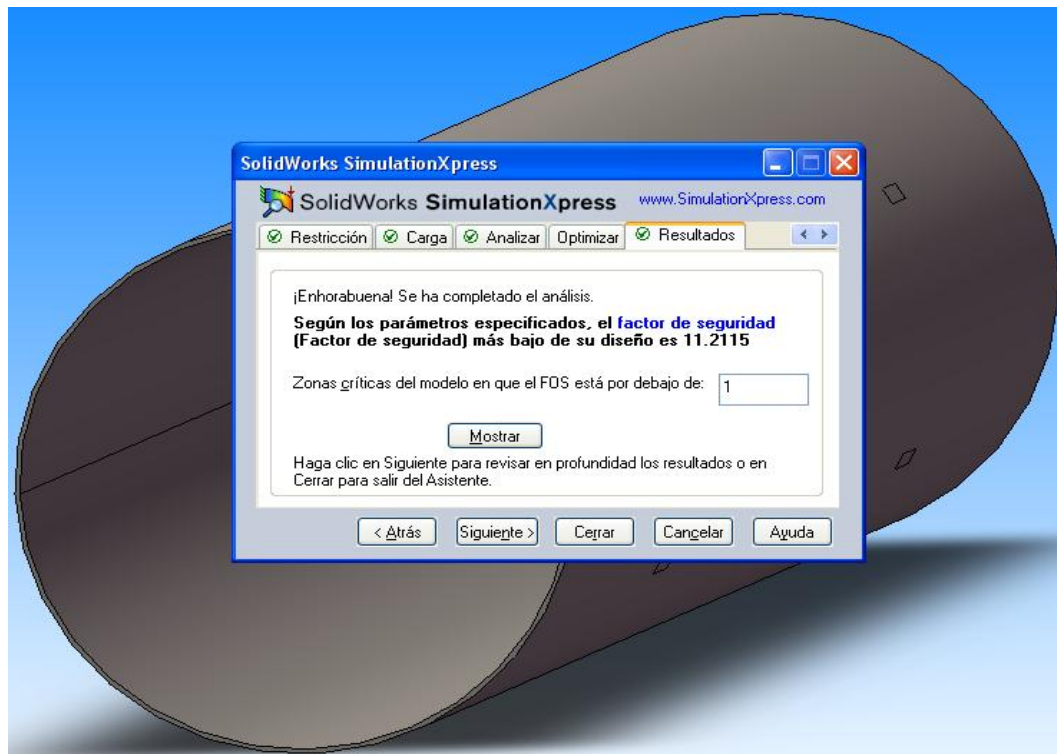


Figura 23. Factor de seguridad de la estructura.

Se analizó en primer lugar el factor de seguridad para la estructura, con el fin de garantizar su estabilidad, dando como resultado un valor mínimo de 11.21 (figura 23), óptimo para la estructura metálica. En la figura 24 se muestra los apoyos seleccionados para el análisis de la envolvente del tanque, estos son los lugares donde el tanque va estar en contacto con las masas de rotación.

En la figura 25 se muestra el estado de las cargas adoptado para el modelo, estas representan el peso del compost ($8904\text{Kg} = 87348\text{N}$) sobre la superficie interior del tanque.

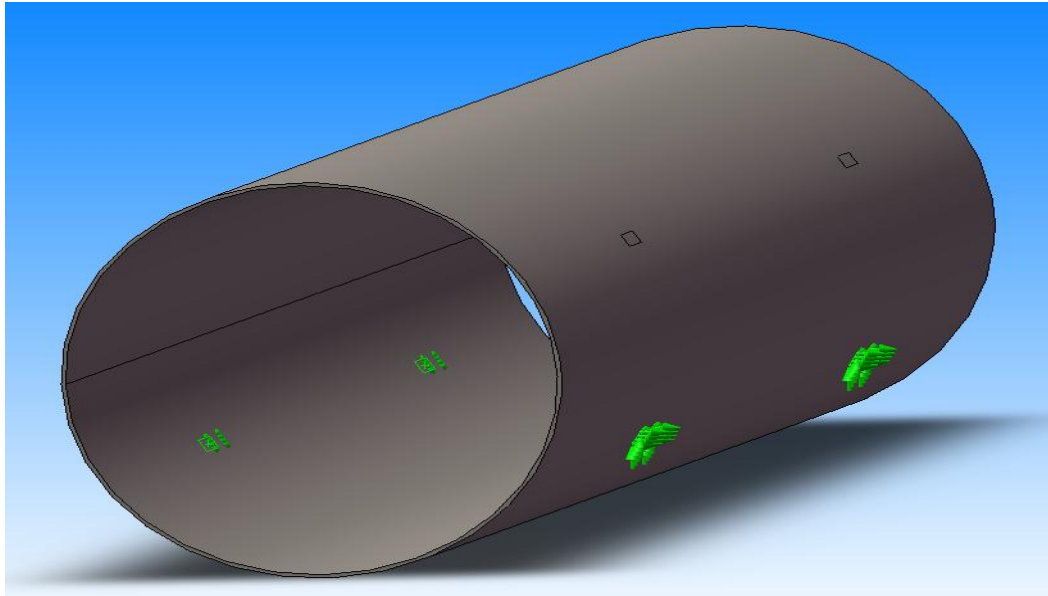


Figura 24. Apoyos del modelo de la estructura.

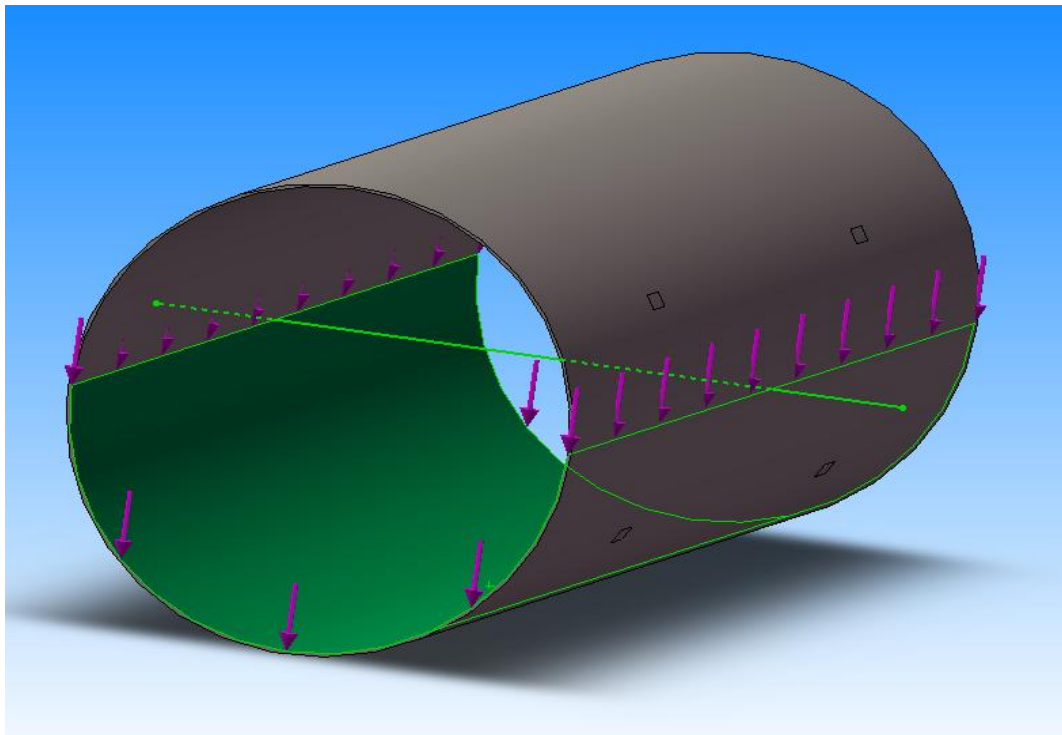


Figura 25. Estado de cargas para el modelo del tanque.

Ahora, en la figura 26 se analizó la deformación máxima de la estructura correspondiente a $4,552 \times 10^{-1} \text{mm}$, valor aceptable para el funcionamiento de la máquina. En la grafica se observan grandes deformaciones esto se debe a que el software aumenta por defecto las deformaciones del modelo para que estas sean apreciables.

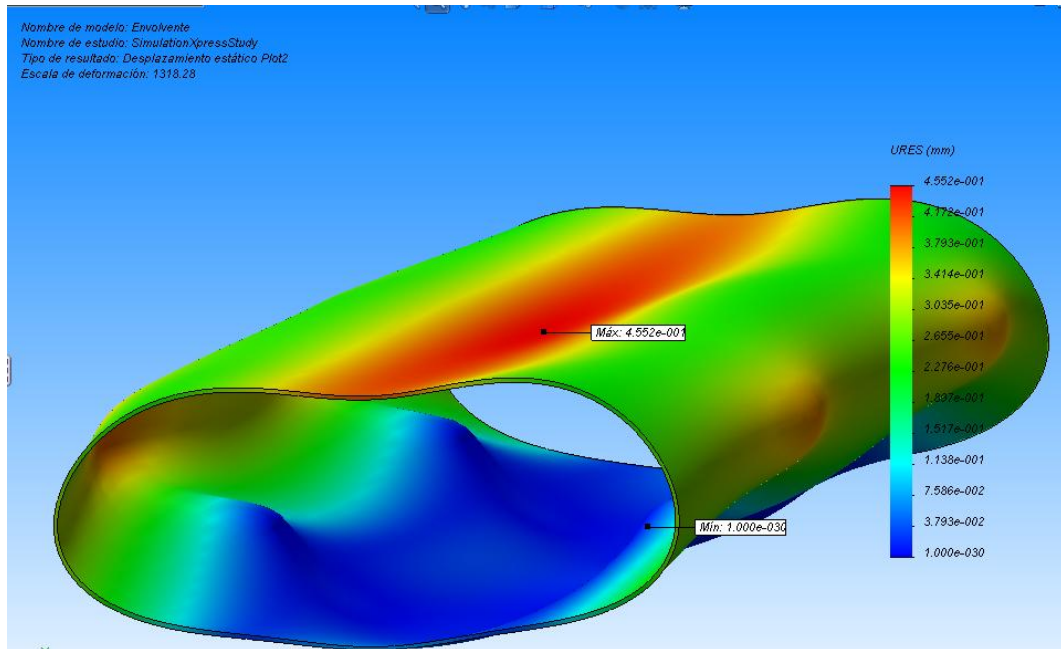


Figura 26. Grafica de deformaciones en la envolverte del tanque.

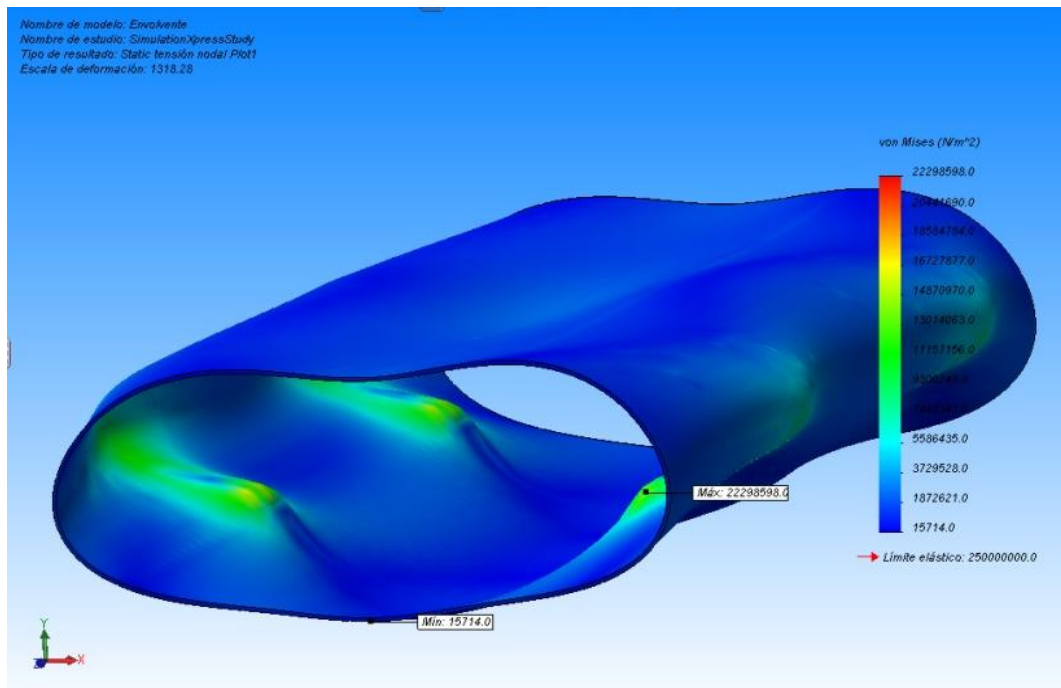


Figura 27. Grafica de esfuerzos en la envolverte del tanque.

Al revisar la anterior gráfica, se verifica la estabilidad de la estructura frente a las cargas planteadas, dando como resultado un esfuerzo máximo de 22.298 Mpa, comparado al esfuerzo máximo permisible del acero A36 igual a 250 Mpa.

4.1.2. Diseño de las tapas de carga y descarga

En el diseño de las tapas es importante evitar la concentración de esfuerzos, para esto la tapa debe ser abombada (elíptica) con el fin de evitar que el tanque se rompa en la unión de la envolvente con la tapa.

4.1.2.1. Tapa de carga

Ésta tapa es fija y como ya se mencionó está soldada al tanque, sirve para evitar que se salga el compost. Lleva un agujero en su centro de 20 cm (Figura 28) para cargar el tanque de manera automática por medio de un tubo que está conectado a la trituradora de desechos. Debe llevar una pestaña interna que entre en la envolvente para realizar ajuste y facilitar el soldado interior con el tanque. El material con el que se fabricara la tapa es lamina Hot Rolled de 3/16".

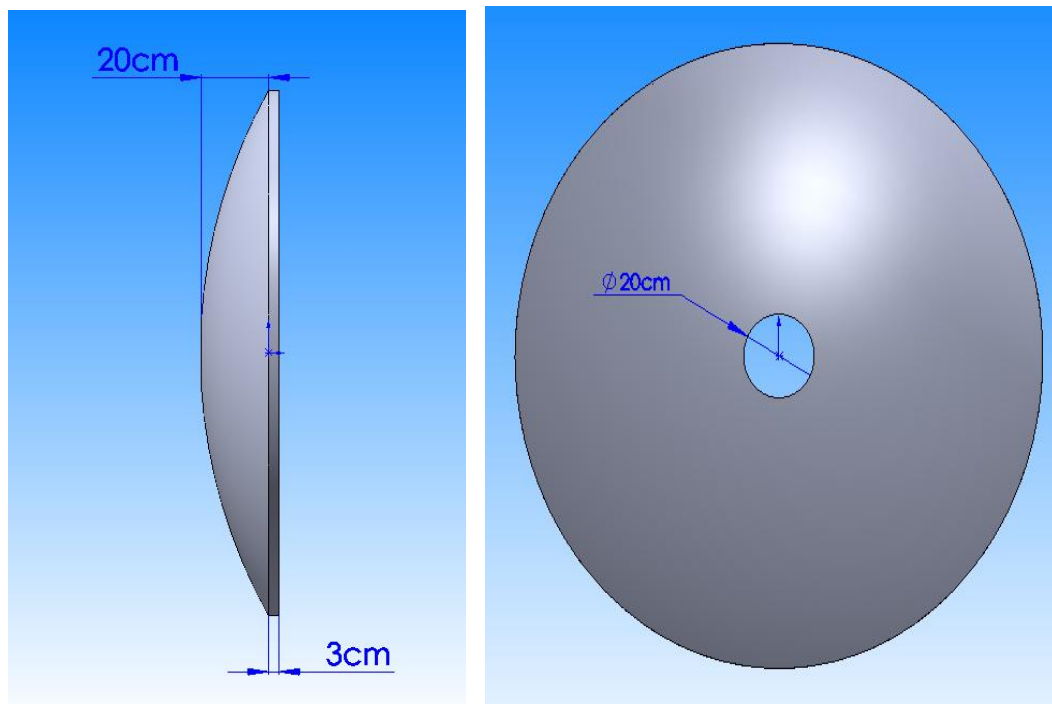


Figura 28. Tapa de carga del tanque.

- Cálculo del peso muerto de la tapa de carga:

Como la tapa presenta una geometría elíptica un tanto difícil para el cálculo del volumen se recurrió a la barra de herramientas en el programa Solidworks, para calcular las propiedades físicas del modelo, después de haber asignado un material (Acero A36 ASTM).

$$\text{Peso tapa de carga} = 73.69 \text{ Kg.}$$

4.1.2.2. Tapa de descarga

Está ubicada en la parte trasera del tanque el cual tiene una leve inclinación para permitir la descarga en funcionamiento. La tapa (figura 29) es desmontable y se asegura al tanque por medio de tornillos de sujeción (tornillo y tuerca mariposa). Para este efecto se deben soldar a la tapa 8 laminas en forma de horqueta (Figura 30) distribuidas uniformemente que permitan el apriete del tornillo basculante y la mariposa asegurando la tapa al tanque.

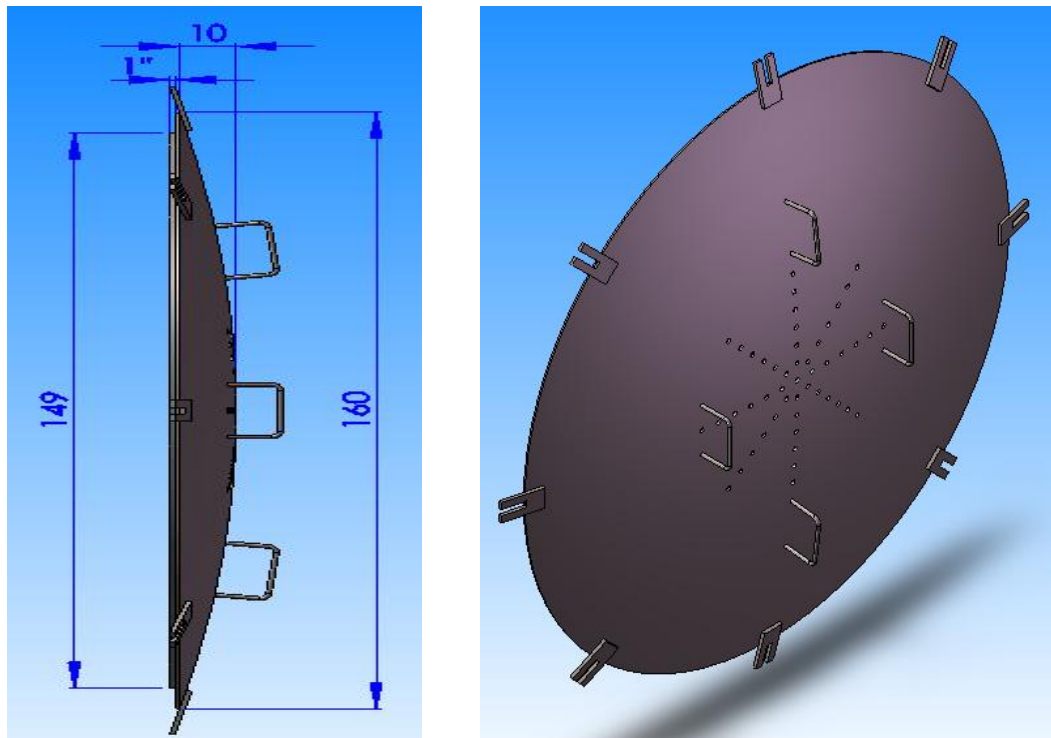


Figura 29. Tapa de descarga.

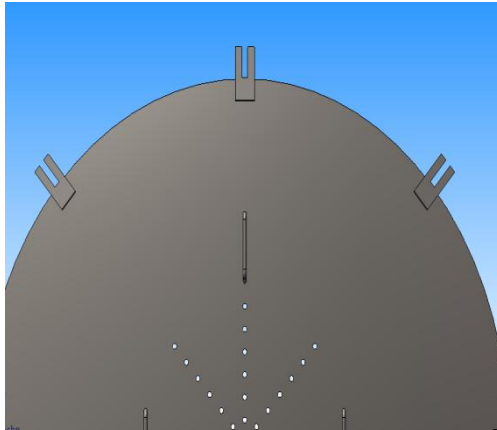


Figura 30. Detalle de las horquetas.

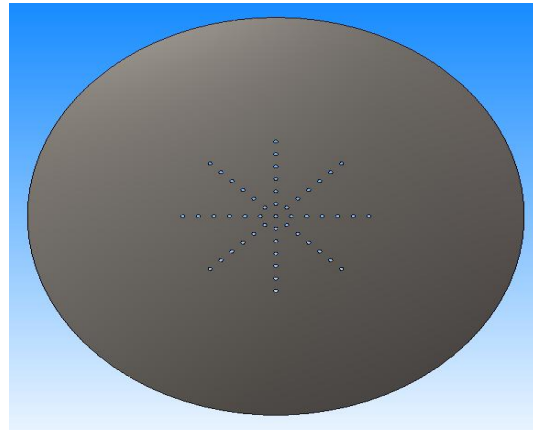


Figura 31. Detalle de las perforaciones.

La tapa se fabricara con una lamina HR de espesor de $\frac{1}{4}$ " por dos motivos primero esta tapa es desmontable y se desea que mantenga su rigidez estructural a pesar del uso y segundo por la leve inclinación del tanque esta tapa va a tener un mayor requerimiento de carga. Para cumplir con uno de los requerimientos de diseño se le deben hacer perforaciones de $\frac{1}{2}$ " (figura 31) a la tapa con una distribución radialmente uniforme, cada 5cm hasta completar 7, todo esto para lograr una mayor aireación durante el proceso de compostaje (proceso aerobio). Para conseguir el ajuste adecuado entre la tapa y la envolvente se soldó un anillo guía a la cara interna de la tapa En lamina HR de $\frac{3}{8}$ " (figura 32) con un diámetro ligeramente menor al de la envolvente del tanque.

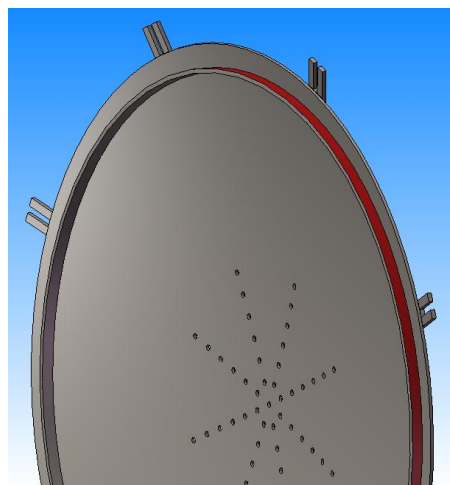


Figura 32. Detalle de la guía para montaje de la tapa.

Para facilitar el montaje y desmontaje de la tapa al momento de hacer el descargue del material se soldaran a esta 4 manijas (figura 29) fabricadas en varilla corrugada de 3/8''.

- Calculo del peso muerto de la tapa de descarga:

Como la tapa presenta una geometría elíptica un tanto difícil para el cálculo del volumen se recurrió a la barra de herramientas en el programa Solidworks, para calcular las propiedades físicas del modelo, después de haber asignado un material (Acero A36 ASTM).

$$\text{Peso tapa de carga} = 114.6 \text{ Kg.}$$

- Bases en la envolvente para sujeción de tapa de descarga

Estas van soldadas a la envolvente (figura 33) con soldadura 7018 para evitar la falla causada por el esfuerzo de apriete y soporte la carga exigida por el sistema. Son en acero HR de 3/8'' (A36), van ubicadas en simetría con las horquillas de las tapas para luego poder asegurar la tapa con los pernos y tuercas mariposa (figura 34).

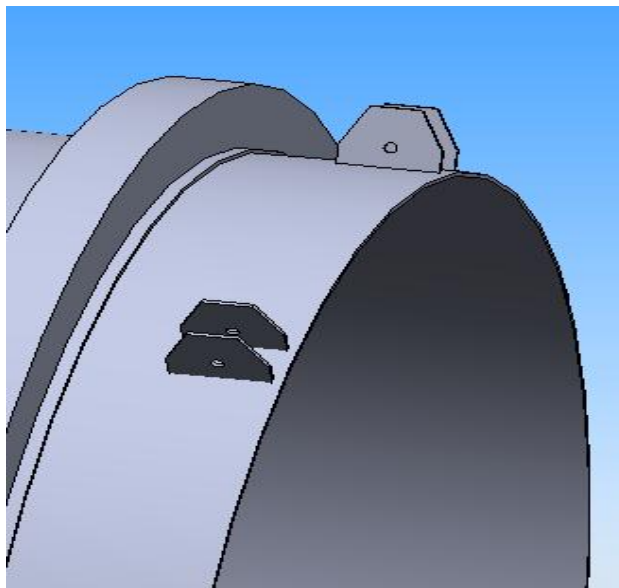


Figura 33. Detalle bases de sujeción para la tapa trasera.

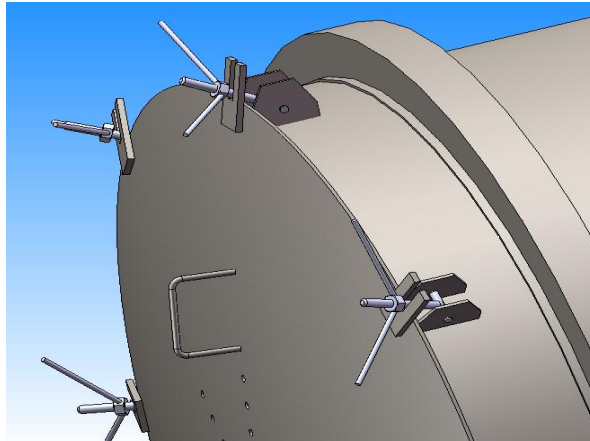


Figura 34. Detalle del sistema de sujeción de la tapa de descarga.

4.1.3. Compuertas de inspección

Estas compuertas son construidas para tomar muestras del compost que permitan hacer mediciones de humedad, temperatura y ph con el fin de hacer un seguimiento de las principales variables del proceso y tomar los correctivos necesarios. Se fabricaran 2 tapas separadas radialmente 180° una de la otra en acero HR 3/16'' (A36); una va ir más cerca a la tapa de carga mientras la otra estará más cerca de la tapa de descarga permitiendo tener una idea general de el proceso a lo largo del tanque.

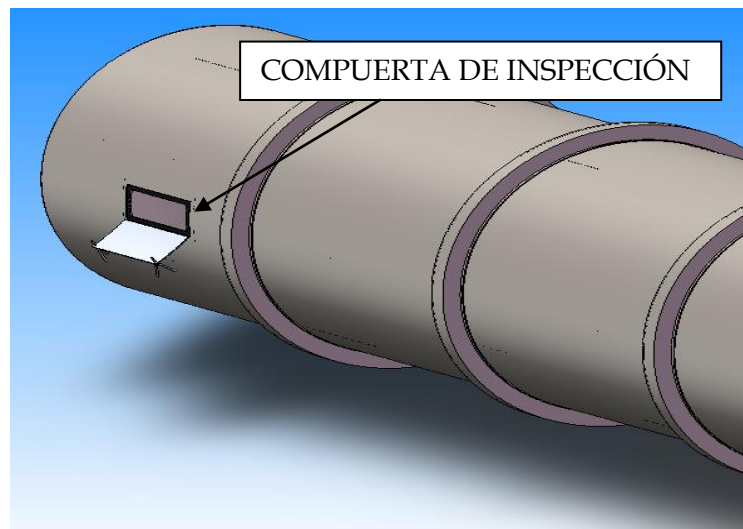


Figura 35. Detalle de la compuerta de inspección.

Las compuertas van a estar sujetas por medio de bisagras en su parte inferior (figura 35) que permitan su rotación y pernos con tuerca mariposa en su parte superior que permitan su fácil apertura al momento de tomar

las muestras. Para asegurar un buen sello se soldara una platina al interior del tanque que evite la salida de compost por la holgura entre el tanque; además se le colocara un empaque de asbesto con silicona térmica entre la platina y la compuerta con el fin de lograr el sello mecánico de la compuerta (figura 36).

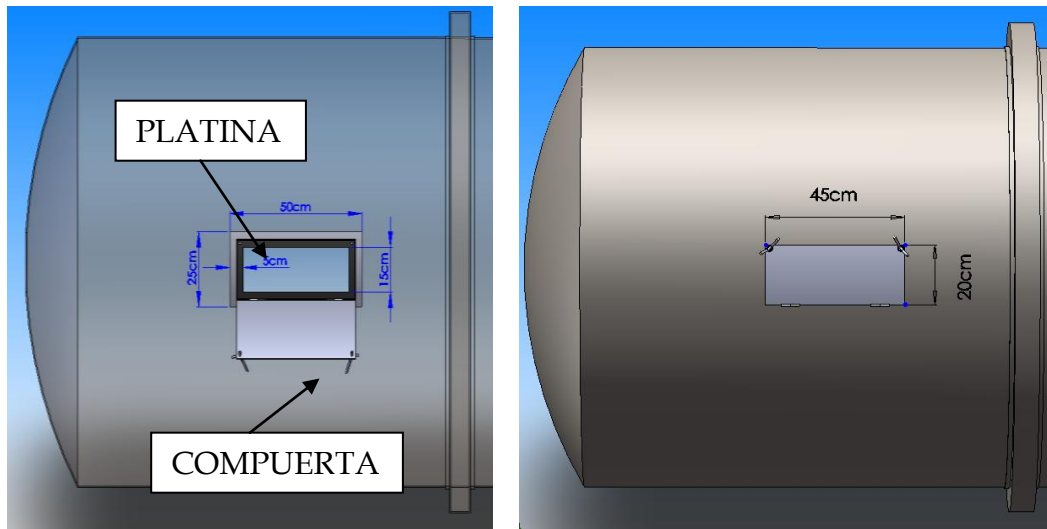


Figura 36. Dimensiones de la compuerta y platina.

4.1.4. Diseño del sistema de aspas

Para la fabricación de estas aspas se utilizará la lamina que sobre en la construcción (lamina HR 3/16") de la envolvente del tanque para minimizar los gastos, a partir de ahí se evalúan las dimensiones de las aspas para aprovechar al máximo la lamina, que cumpla con los requerimientos de diseño (evitar compactación) y las proporciones del tanque.



Figura 37. Dimensiones de las aspas lamina HR 3/16.

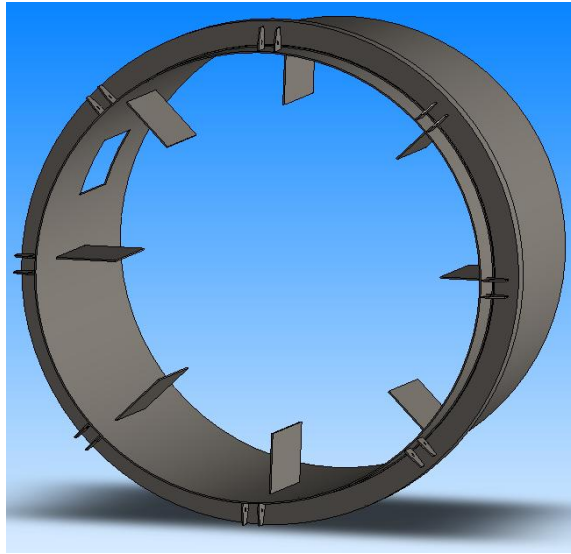


Figura 38. Sección de la envolvente del tanque y su juego de 8 aspas.

Una vez se han calculado las dimensiones de las aspas (figura 37) es preciso armar su configuración en el tanque. Cada sección de la envolvente va a llevar un juego de aspas (Figura 38) consistente en 8 aspas soldadas (soldadura 7018) al interior del tanque, distribuidas radialmente a 45° la una de la otra, además entre sección y sección hay un desfase de 22.5° (figura 39) para mejorar la mezcla de los desechos orgánicos evitando su aglomeración y posible putrefacción.

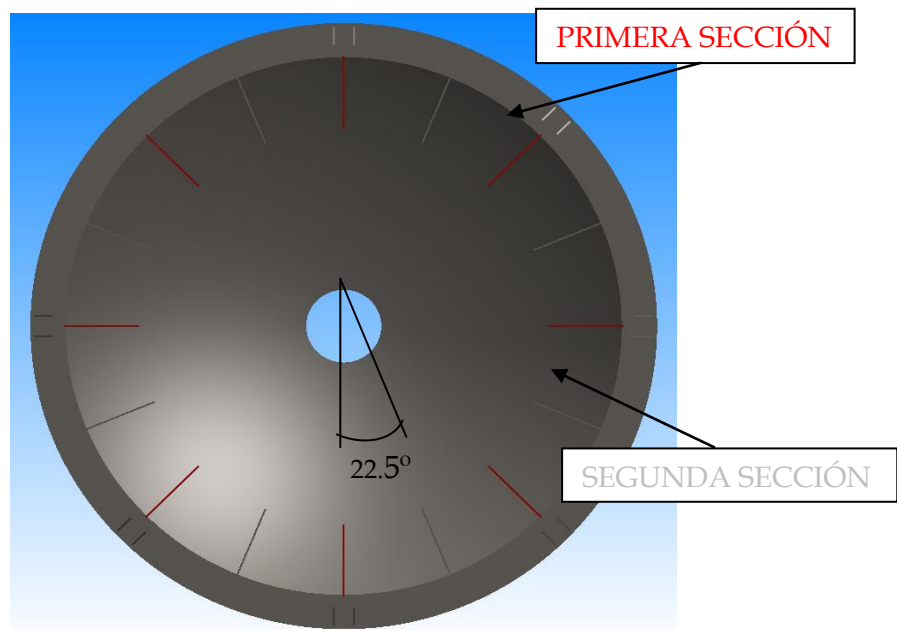


Figura 39. Desfase entre los juegos de aspas.

- Cálculo del peso muerto del sistema de aspas:

Se recurrió a la barra de herramientas en el programa Solidworks, para calcular las propiedades físicas del modelo, después de haber asignado un material (Acero A36 ASTM).

$$\text{Peso de un aspa} = 3.74 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso total de las aspas} = 149.6 \text{ Kg.}$$

- Analisis CAE

Se hace un analisis CAE a las aspas para observar su deformacion y esfuerzos bajo la accion del peso del commpost sobre ellas. Para este efecto se considerara como una viga en voladizo con una carga distribuida, para simplificar el calculo de la fuerza se tomara una situacion critica para el aspa asegurando un diseño conservativo.

$$\text{carga sobre el aspa} = \frac{1}{2} * \frac{\text{Peso compost}}{\text{Numero de aspas}}$$

$$\text{carga sobre el aspa} = \frac{1}{2} * \frac{87348,2 \text{ N.}}{40}$$

$$\text{carga sobre el aspa} = 1091,85 \text{ N.}$$

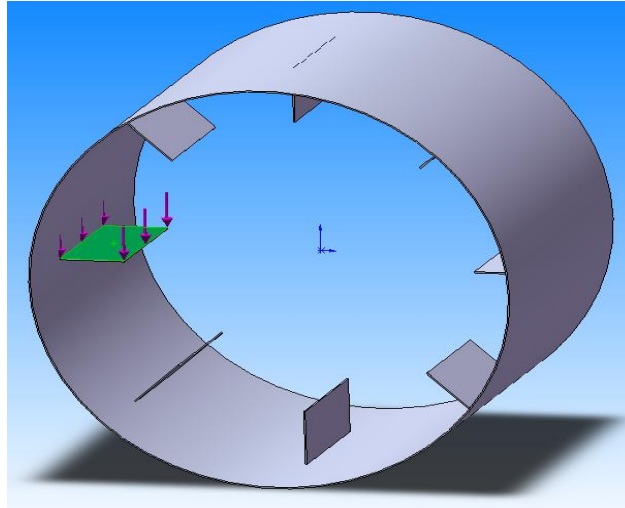


Figura 40. Estado de cargas para las aspas.

En la figura 40 se observa el estado de cargas distribuidas sobre toda la superficie del aspa (1091,85 N.) como una viga en voladizo. En la figura 41 se presenta la grafica de esfuerzos sobre el aspa, el esfuerzo máximo es de 40.71 MPa. comparado con el esfuerzo máximo permisible del acero A36

igual a 250 Mpa. se puede concluir que el aspa soportará la carga sin presentar ninguna falla.

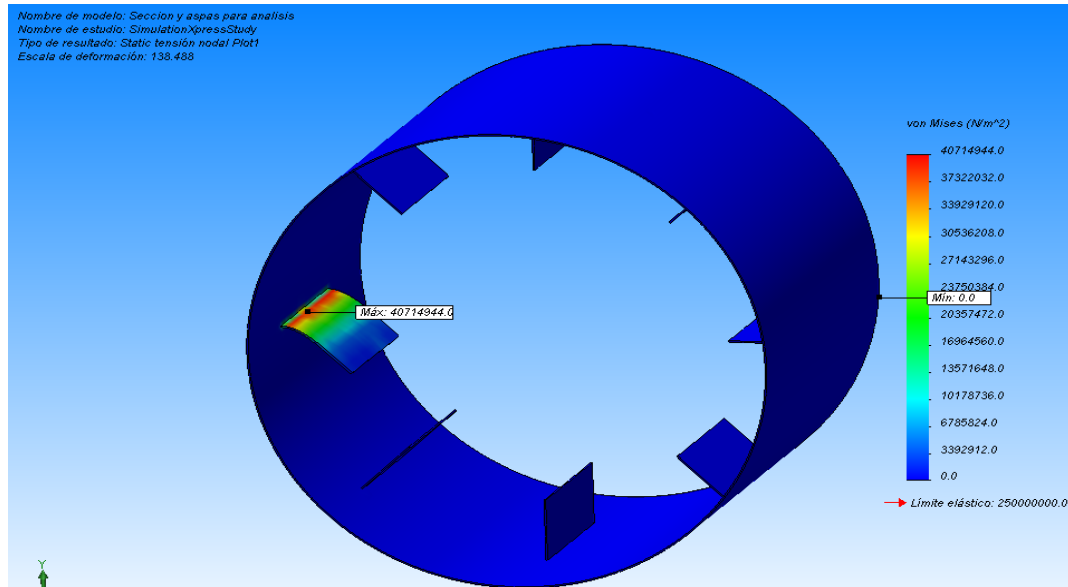


Figura 41. Grafica de esfuerzos sobre las aspas.

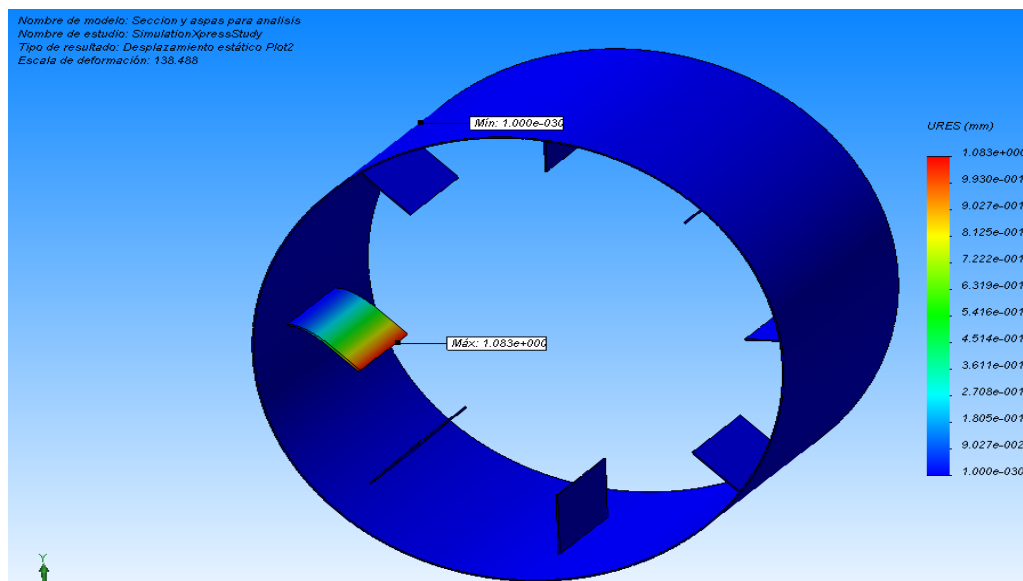


Figura 42. Grafica de deformaciones de las aspas.

De la grafica de deformaciones se observa una deformación máxima de 1.08 mm. Un valor aceptable para el funcionamiento del tanque teniendo en cuenta que fue planteada en una situación crítica; en la realidad la deformación del aspa será menor. El factor de seguridad para este modelo según el programa es de 6.14 (figura 43).

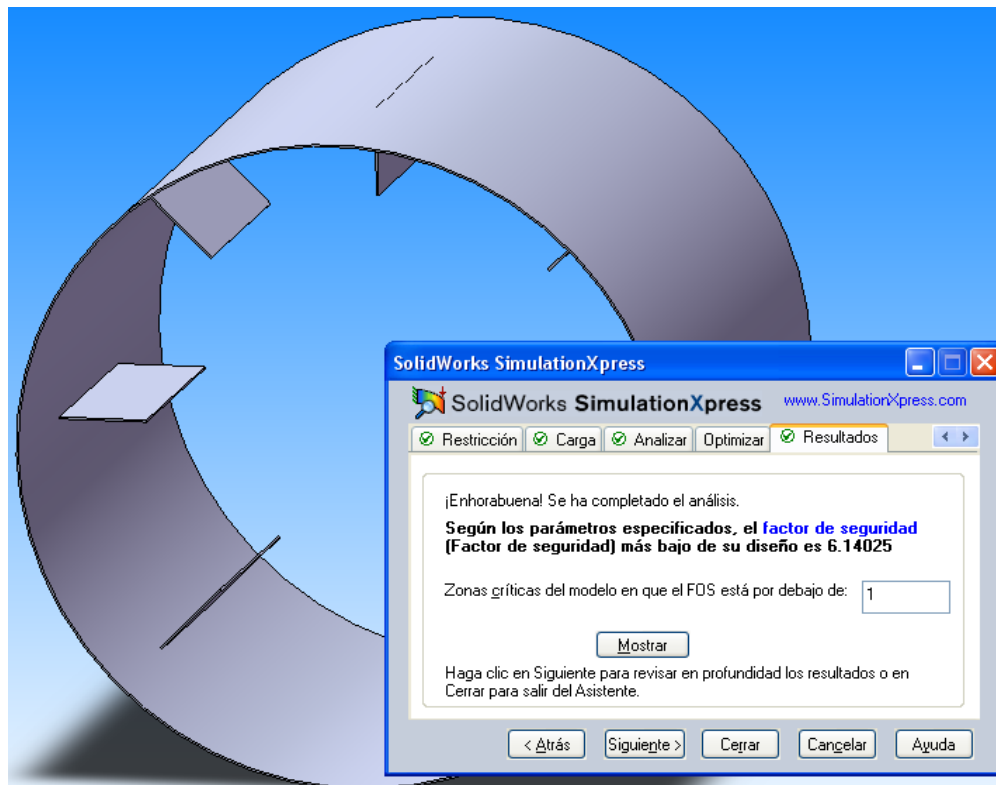


Figura 43. Factor de seguridad para las aspas.

4.2. SISTEMA DE ROTACIÓN

En el proceso de compostaje es de vital importancia el volteo de los desechos para aumentar la aireación, controlar la temperatura y facilitar la degradación de los desechos orgánicos. Con el fin de lograr este objetivo se deben montar en el tanque un sistema de anillos y masas que permitan la rotación del tanque sobre su propio eje y a su vez impida cualquier otro tipo de movimiento.

4.2.1. Anillos de rotación

Estos anillos tienen dos funciones mantener la forma cilíndrica de la envolvente del tanque y su función principal que es la de servir como guía en la rotación del tanque. Buscando la mejor distribución de la carga en los apoyos se van a construir 4 anillos, (figura 44) que mantendrán la forma del tanque y dos en particular que serán los encargados de soportar el

peso estructural y el peso de los desechos orgánicos, por estar en contacto con las masas de rotación que están sujetas al bastidor (apoyos).

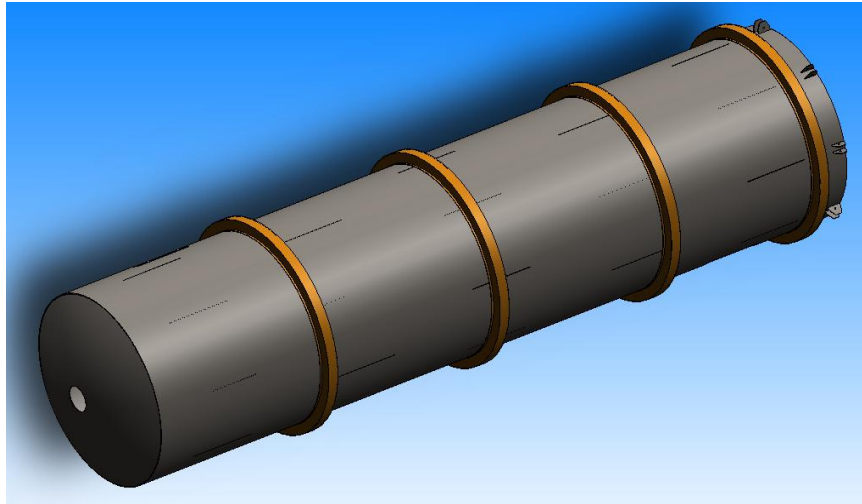


Figura 44. Configuración de los anillos del tanque.

Pensando en una distribución de cargas simétrica se toma la decisión de colocar las masas de rotación como se muestra en la figura 45 asegurando la estabilidad estructural del tanque.

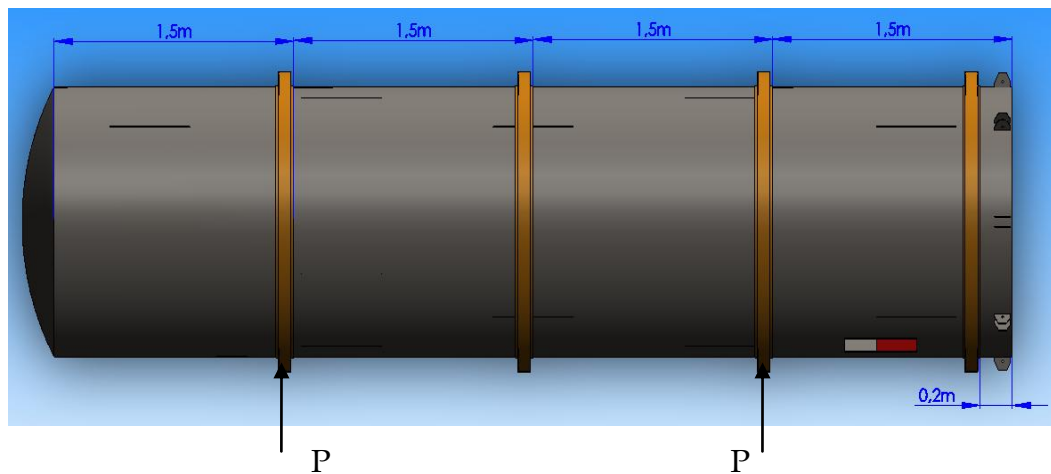


Figura 45. Anillos guía.

Estos anillos serán construidos en acero A36 lámina HR 3/16'' y soldados al tanque en su periferia con soldadura E6011. Pensando en una buena rigidez estructural y para facilitar el proceso de doblado de la lámina y su posterior rolado, se escogió un perfil cuadrado similar al que suele usarse

en las envolventes del carro-tanque, con las dimensiones que se indican en la figura 46.

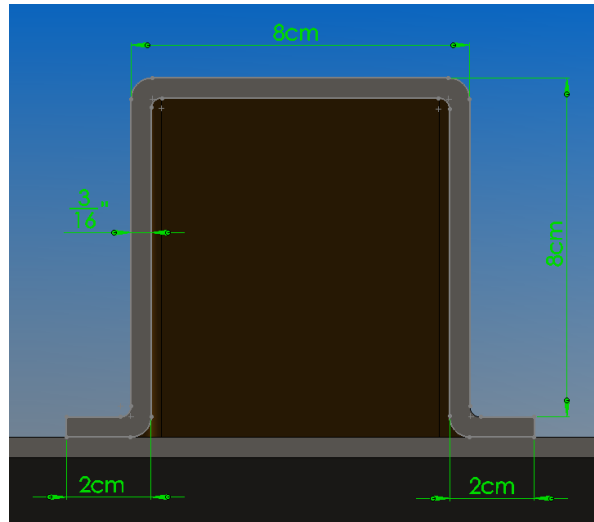


Figura 46. Sección transversal de los anillos.

- Cálculo del peso muerto de anillos de rotación:

Se recurrió a la barra de herramientas en el programa Solidworks, para calcular las propiedades físicas del modelo, después de haber asignado un material (Acero A36 ASTM).

$$\text{Peso anillo de rotación} = 50.42 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso total anillos} = 50.42 * 4 = 201.68 \text{ Kg.}$$

4.2.2. Masas de rotación

Junto con los anillos guías determinan la rotación del tanque y al mismo tiempo sirven de apoyo con respecto al bastidor. Puede tomarse como un subsistema el cual está compuesto por los rodamientos, el pasador y el elemento rodante que está directamente en contacto con los anillos. El pasador es el elemento crítico y por lo tanto el que determina la geometría de los otros componentes; para poder diseñarlo es necesario estimar las cargas a las cuales está sometido y llevar a cabo un análisis estático, el cual dará como resultado principal el diámetro de dicho elemento.

- Cálculo del peso muerto sobre las masas de rotación:

Cantidad	Ítem	Peso aproximado (Kg)	Peso total (kg)
1	Residuos orgánicos sólidos	8904	8904
1	Envolvente	1058.6	1058.6
1	Tapa de carga	73.69	73.69
1	Tapa descarga	114.6	114.6
40	Aspas internas	3.74	149.6
4	Anillos de rotación	50.42	201.68
TOTAL TANQUE CARGADO		10502.2 Kg. (102921.27 N.)	

Tabla 5. Pesos aproximados a soportar por la estructura.

En su totalidad, la carga que deben soportar las masas de rotación es 10502.2 kg, (102921.27 N) distribuidos simétricamente de acuerdo a la colocación de las mismas sobre el bastidor.

- Ubicación las masas de rotación:

Buscando una distribución que le brinde estabilidad al tanque, se ha decidido posicionar las masas en dos pares de juegos según se indicó anteriormente, con una configuración transversal como se muestra en la figura 47.

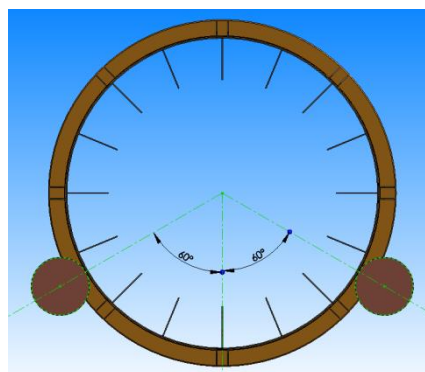


Figura 47. Configuración transversal del tanque y las masas de rotación.

4.2.2.1 Diseño del pasador

La fuerza total a causa del peso del tanque y el peso del material a compostar estarán distribuidos simétricamente sobre un total de cuatro masas de rotación, por lo tanto cada masa soportará un total de 2625.5 Kg

(25730.3 N) en dirección vertical. Pero esta no es la dirección normal al contacto entre los dos elementos, por lo tanto se debe calcular la magnitud de dicha fuerza.

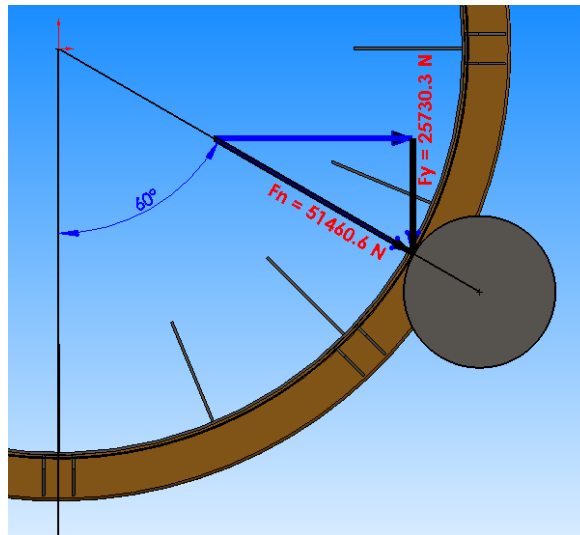


Figura 48. Fuerzas sobre las masas de rotación.

$$F_n = \frac{F_y}{\cos 60^\circ} = \frac{25730.3}{\cos 60^\circ}$$

$$F_n = 51460.6 \text{ N}$$

Esta fuerza es recibida directamente por la masa de rotación y ésta a su vez al pasador, todo por contacto directo (figura 48). El pasador estará soportado por sus extremos por el bastidor lo cual ocasiona en dichos puntos dos reacciones (figura 49) que causarán un esfuerzo cortante considerable. Por la configuración geométrica y dimensiones que se determinaron para éstos elementos solo se hará un análisis de falla por esfuerzo cortante. Se llegó a esta conclusión por la manera en que la carga esta aplicada sobre el pasador.

Todos los pasadores tienen las mismas dimensiones, están seleccionados en acero SAE 1045 (Ver propiedades mecánicas Anexo C)

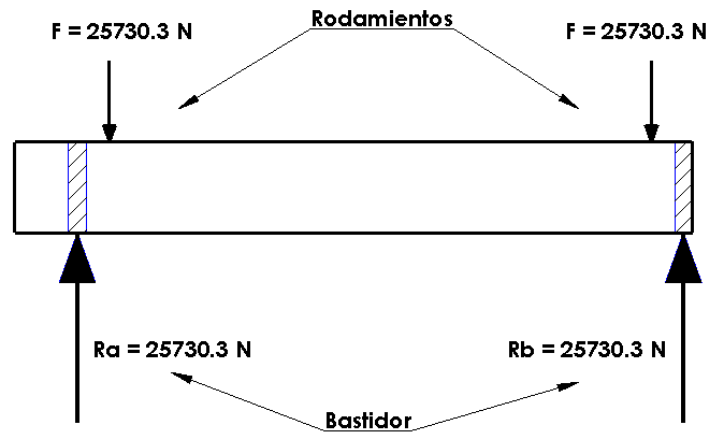


Figura 49. Estado de cargas del pasador.

$$R_a = R_b = 25730.3 \text{ N}$$

Entonces el τ_d es

$$\tau_d = \frac{4V}{3A}$$

$$\tau_d = \frac{4(25730.3)}{3\left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)}$$

Y τ_{max} es para cortante en materiales dúctiles

$$\tau_{perm} = 0.4 * S_y$$

Tenemos que para el acero SAE 1045 $S_y = 310 \text{ MPa}$

$$\tau_{perm} = 0.4 * 310 = 124 \text{ MPa}$$

$$124 * 10^6 = \frac{43681}{D^2}$$

$$D = \left(\frac{43681}{124 * 10^6}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 1.87 * 10^{-2} \text{ m} = 18.7 \text{ mm}$$

Tanto por razones de seguridad como por la facilidad para conseguirla en el mercado local, se decidió fabricar el pasador en varilla de diámetro de

1". Con esta medida se calculará el factor de seguridad para asegurar óptimo funcionamiento por el efecto de la carga del tanque.

$$\tau_d = \frac{4(25730.3)}{3\left(\frac{\pi * D^2}{4}\right)} = \frac{4(25730.3)}{3\left(\frac{\pi * 0.0254^2}{4}\right)}$$

$$\tau_d = 67705685 \text{ Pa} = 67.7 \text{ MPa}$$

$$N_s = \frac{\tau_{\text{perm}}}{\tau_d} = \frac{124}{66.7}$$

$$N_s = 1.83$$

Con este factor de seguridad, se garantiza la integridad del pasador bajo la consideración de estática.

- Análisis CAE

Hacer el análisis CAE sobre el pasador es imprescindible ya que es la pieza que soportara el peso de $\frac{1}{4}$ del tanque, sus accesorios y los residuos sólidos por lo tanto es crítico para el diseño del tanque. Al realizar la simulación sobre el pasador con un diámetro de 1", para el estado de fuerzas antes descrito se obtuvo un factor de seguridad de 1 (figura 50); razón por la cual nos vemos en la obligación de aumentar el diámetro del pasador a 2" con el fin de asegurar un diseño conservador, sin que esto resulte excesivamente costoso para el proyecto. En la Figura 51 se Puede apreciar la grafica de esfuerzos sobre el pasador con un diámetro de 1", su máximo esfuerzo es de 527.88 MPa. Muy alto (esfuerzo permisible es 530 MPa). En contraste con lo observado en la figura 54, donde se observa la distribución de esfuerzos para el pasador con un diámetro mayor. El pasador se analizó simulando los apoyos que le brindaría la base del bastidor (figura 50.) y las cargas ($F = 25730.3 \text{ N}$ en cada cara) que recibiría por parte de los rodamientos (figura 51.), análogo a lo real.

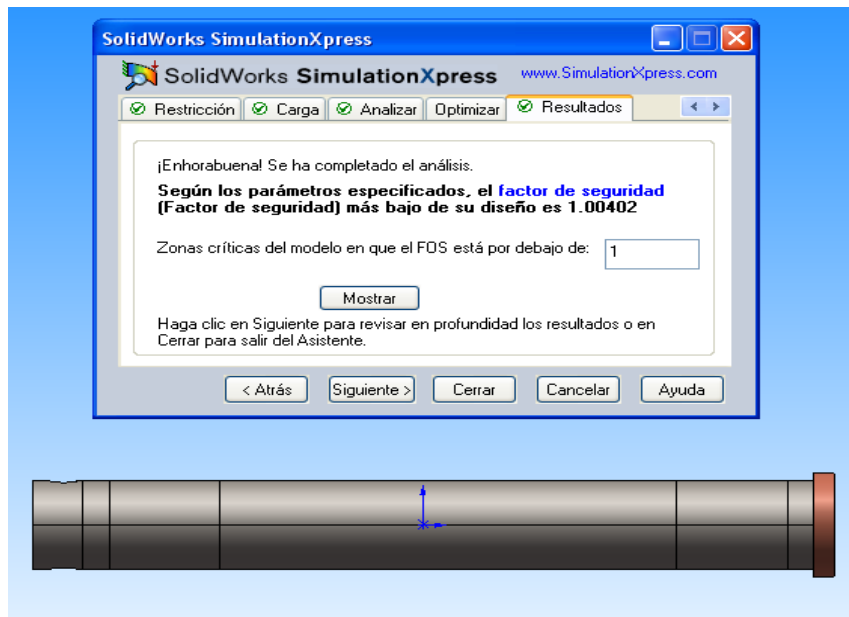


Figura 50. Factor de seguridad del pasador con un diámetro de 1".

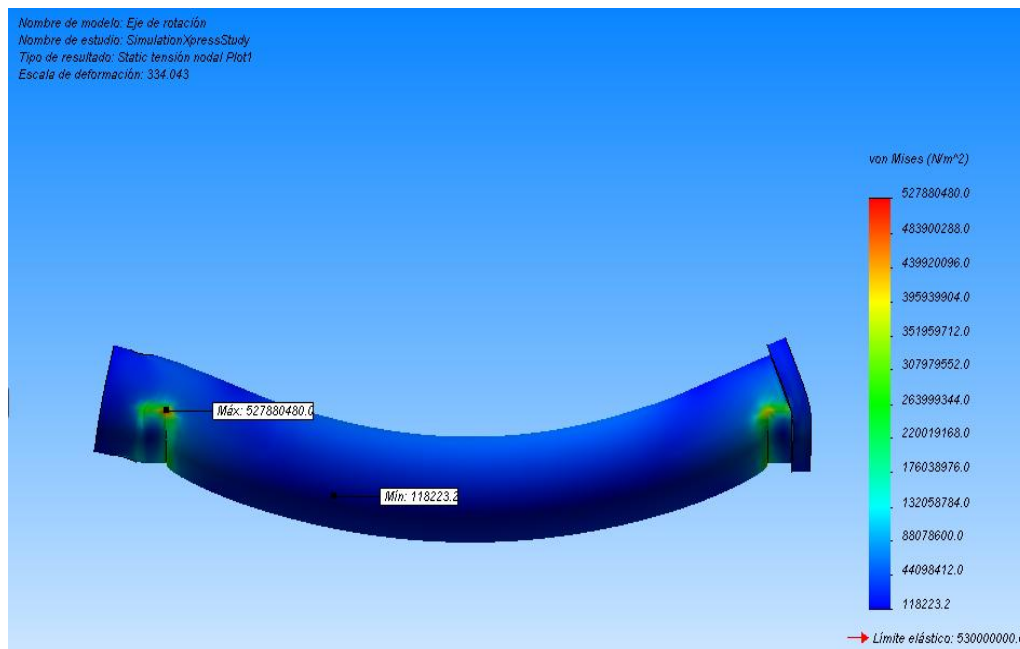


Figura 51. Grafica de deformaciones sobre al pasador con un diámetro de 1".

Comparando las ilustraciones de la distribución de esfuerzos para los dos diámetros (figuras 51 y 54) se puede apreciar claramente la diferencia en la magnitud de los esfuerzos máximos respectivos. Para el pasador con un diámetro de 2" el esfuerzo máximo es de 120.72 MPa, presentando así un factor de seguridad de 4.39 (figura 56). Valor optimo para este elemento.

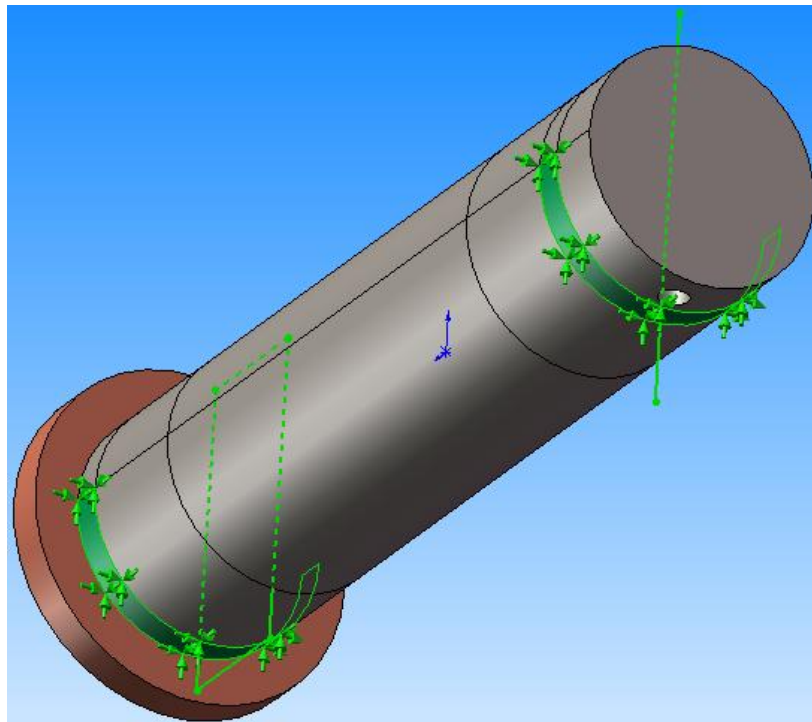


Figura 52.Apoyos del pasador con un diámetro de 2".

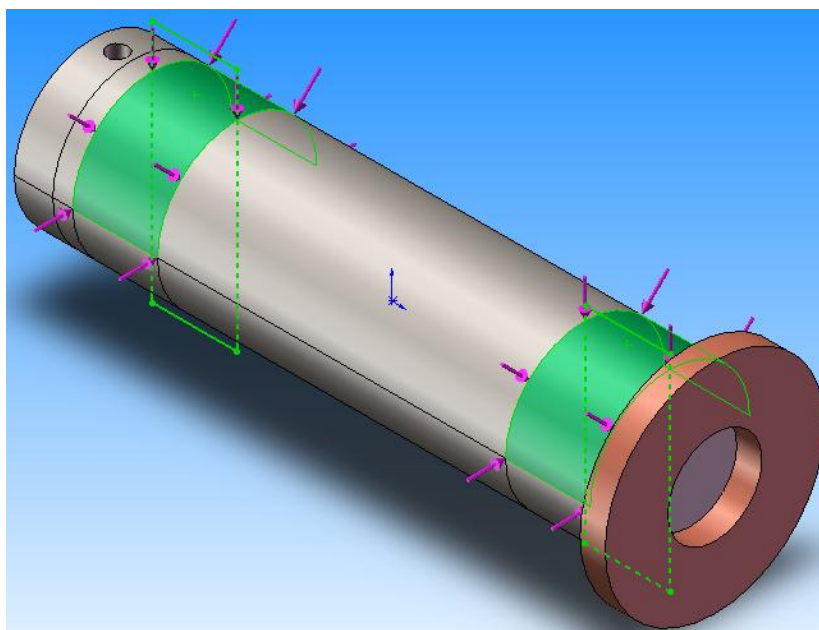


Figura 53.Estado de cargas sobre el pasador de diámetro de 2".

Después de un análisis físico y geométrico del conjunto, se identificó la deformación en este pasador como un factor de importancia considerable, pues debe tener la suficiente rigidez para que en el momento de aplicar la

carga crítica, la deformación no sea representativa, y así poder asignar una tolerancia razonable para el montaje el pasador dentro de la masa de rotación y los rodamientos. Como se puede observar en la figura 55 la máxima deformación para este diseño bajo el estado de carga es 7.49×10^{-3} mm en el centro como era de esperarse, un valor que puede tomarse como despreciable y considerar el pasador como un elemento rígido.

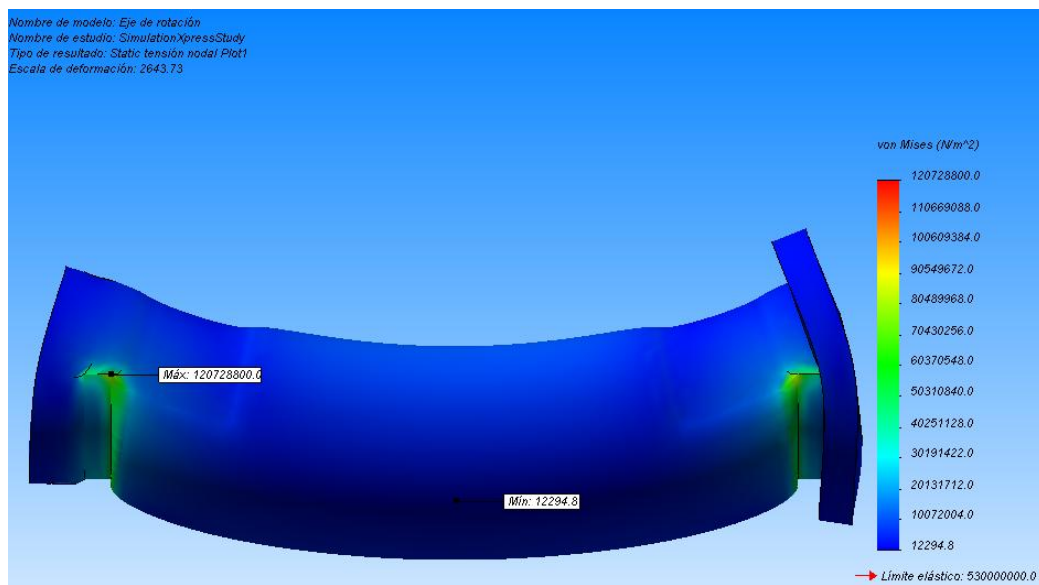


Figura 54. Grafica de esfuerzos sobre el pasador con un diámetro de 2".

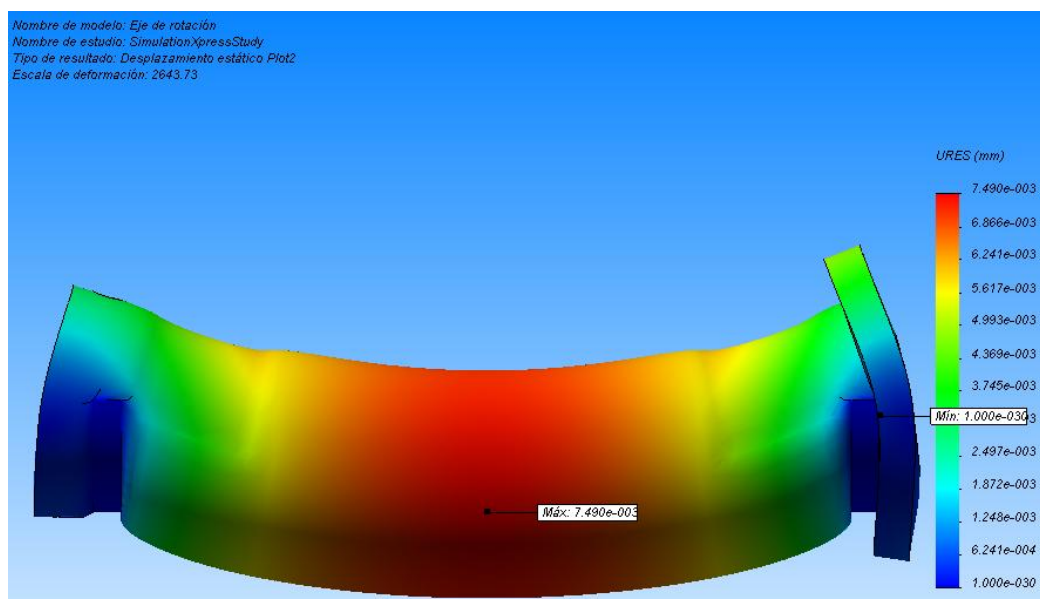


Figura 55. Grafica de deformaciones sobre el pasador con un diámetro de 2".

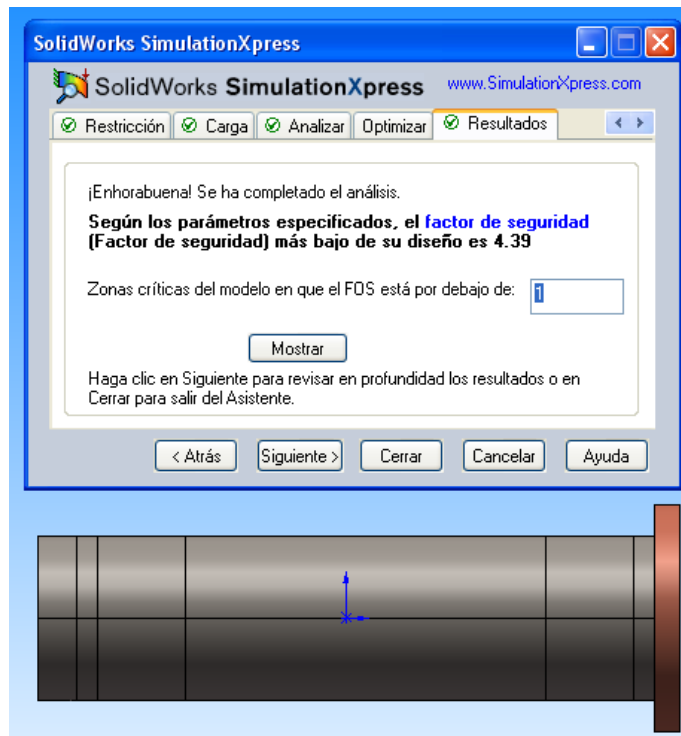


Figura 56. Factor de seguridad del pasador con un diámetro de 2".

4.2.2.2. Selección de los rodamientos.

Los rodamientos que sirven de apoyo para los ejes, están solicitados dinámicamente bajo cargas axiales y radiales. Para esta elección, se siguió el manual del fabricante FAG, donde se plantea el método normalizado para rodamientos solicitados dinámicamente, donde se evalúa a la fatiga como principal causa del deterioro del rodamiento. El procedimiento a seguir es establecer la vida nominal en millones de revoluciones.

La fórmula de vida es

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p = (10^6 \text{ revoluciones}), \text{ siendo}$$

L_{10} = L vida nominal

C = capacidad de carga dinámica.

P = carga dinámica equivalente.

p = exponente de vida.

Siendo la velocidad del rodamiento constante se tiene:

$$L_h = \left(\frac{L * 10^6}{n * 60} \right)^p \text{ (horas), donde}$$

n = número de revoluciones (rpm).

Ahora para determinar la carga dinámica equivalente hay que decidir qué tipo de rodamiento se seleccionará, pues cada tipo tiene una metodología diferente para la estimación de la misma y diferentes valores para las constantes que se usan en las ecuaciones. Debido a que en el presente sistema se presentan cargas radiales y axiales, se decidió utilizar rodamientos de rodillos cónicos que presentan buena resistencia a ambos requerimientos de carga. Cabe anotar que para el presente estudio la carga radial es considerablemente superior a la carga axial, la cual solo se presenta debido a la ligera inclinación que el tanque posee para facilitar el proceso de descargue. Con estas consideraciones y siguiendo las pautas del manual de FAG, se tiene:

$$P = F_r \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq e \text{ donde}$$

P = Carga dinámica equivalente.

F_r = Fuerza radial.

F_a = Fuerza axial.

e = Razón de carga.

$$F_r = 25730.3 \text{ N}$$

$$F_a = F_x = \frac{W}{4} * \text{sen}(\theta), \quad \text{donde}$$

$$\theta = 0.2^\circ$$

$$W = 102921.27 \text{ N}$$

$$F_a = 85.8 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta un criterio de seguridad se recalculó esta fuerza dando como resultado

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.01$$

Acorde a las dimensiones del pasador y el tipo de carga se seleccionó un rodamiento de rodillos cónicos FAG 30310A (DIN ISO T2FB050), con un diámetro interno de 50mm, para el cual:

$$e = 0.35$$

$$C = 132 \text{ [KN]}$$

$$p = 10/3 \text{ (para rodamientos de rodillos)}$$

Las dimensiones y factores de cálculo para este rodamiento se encuentran en el Anexo D

Para el cálculo de la velocidad de rotación de la masa, y con una estimación preliminar de las dimensiones de la misma, se utilizará la ecuación:

$$\omega_1 = \frac{\omega_2 * D_2}{D_1}$$

$$\omega_1 = \frac{7 * 150}{28} = 37.5 \text{ rpm}$$

Por lo tanto;

$$L = \left(\frac{132}{25.73} \right)^{\frac{10}{3}} (10^6) = 232.87 * 10^6$$

$$L_h = \left(\frac{232.87 * 10^6}{37.5 * 60} \right)^{\frac{10}{3}} = 52 * 10^{15} \text{ Horas.}$$

Analizando los valores correspondientes, al tiempo de vida del rodamiento, se verifica la correcta selección de este elemento, gracias a sus amplios rangos de duración. Adicionalmente presentan bajo costo, son de fácil consecución en el mercado regional, permite lubricación exterior y cumple con los requerimientos geométricos y de espacio disponible propuestos por la geometría del eje y la masa de rotación.

4.2.2.3. Configuración de las masas de rotación:

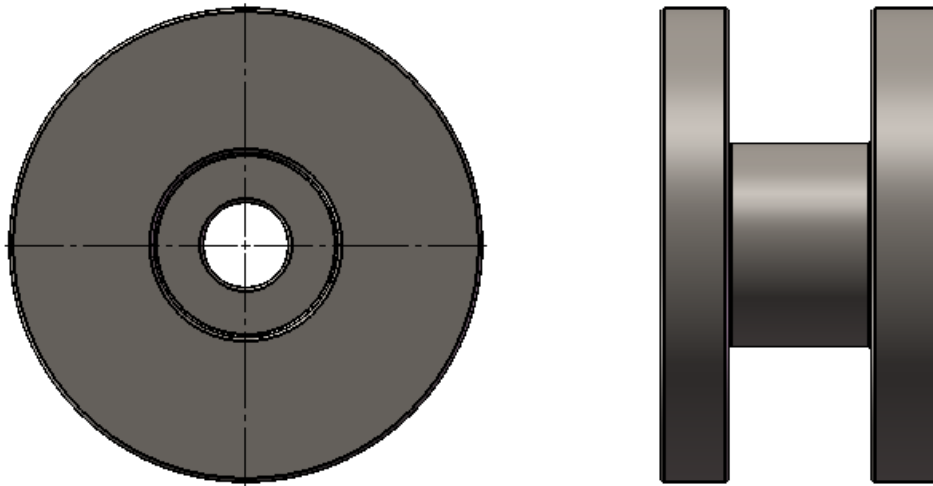


Figura 57. Geometría de las masas de rotación.

Después de haber calculado el pasador y seleccionar el rodamiento se puede ahora dimensionar su elemento de rotación, para esto se tuvo en cuenta principalmente las dimensiones del anillo de rotación en conjunto con las del pasador y rodamiento pensando en que el contacto fuera entre la envolvente del tanque y la superficie mas externa de la masa. Esta masa será fabricada en acero SAE 1045 con las dimensiones que se dan en la figura 57. El montaje en conjunto de todas las piezas de las masas de rotación se puede observar en la figura 58.

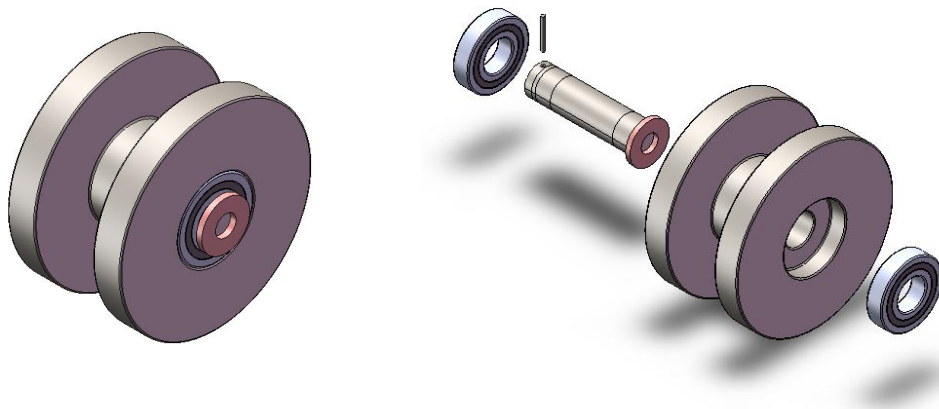


Figura 58. Despieza del conjunto masa, pasador y rodamiento.

Durante el funcionamiento de las masas, el principal problema a resolver es el desgaste que pueden sufrir las superficies de la masa por la acción continua del tanque, ya que cuando dos superficies ruedan una contra otra, con determinada fuerza, se puede presentar una falla por picadura después de un determinado número de ciclos de operación, problema considerado grave para un funcionamiento de la máquina sin exceso de vibraciones y con un movimiento uniforme de los tambores.

Después de numerosos estudios para cuantificar este fenómeno, se estableció una propiedad llamada resistencia a la fatiga de la superficie, resistencia de fatiga de contacto o resistencia de fatiga hertziana, la cual hace referencia a la cantidad de presión, que posterior a un número determinado de ciclos causará falla en la superficie.

Siendo el factor predominante, las propiedades mecánicas de los materiales en contacto, se establece el factor de esfuerzo de Buckingham, definido como.

$$K_1 = 2.857S_c^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)$$

Al conocer este factor, la ecuación de diseño se plantea

$$K_1 = \frac{F}{w} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad \text{donde;}$$

E_1, E_2 = límite de elasticidad de materiales en contacto.

F = fuerza entre los dos cilindros.

w = ancho de los cilindros.

r_1, r_2 = radios de los cilindros en contacto.

S_c = límite de fatiga en la superficie.

Este límite se obtiene a partir de la expresión:

$$S_{c \text{ permisible}} = 2.76H_B - 70MPa, \quad \text{Donde } H_B = \text{número de dureza Brinell}$$

El procedimiento desarrollado fue de acuerdo a la configuración geométrica proyectada para las masas y su material, hallar el valor de S_c y compararlo con el valor permisible obtenido a través de la dureza del material.

Para este caso, se tiene que tiene en contacto un acero 1045 con una dureza Brinell igual a 240 HB y acero estructural A36 con una dureza de 140 HB

$$S_c = 2.76 * 240 - 70MPa$$

$$S_{c\text{ permisible}} = 592.4 MPa$$

$$K_1 = \frac{51460.6}{0.08} \left(\frac{1}{0.14} + \frac{1}{.75} \right)$$

$$K_1 = 5452373.1, \quad \text{Ahora remplazando se tiene}$$

$$5452373.1 = 2.857S_c^2 \left(\frac{1}{200 * 10^9} + \frac{1}{200 * 10^9} \right)$$

$$S_c = 436.85 MPa$$

$S_{c\text{ permisible}} \geq S_c$ Al tener estos valores se asegura una resistencia al desgaste por fatiga de 10^8 ciclos, valor aceptable para el funcionamiento de la máquina. Aun así estos valores están muy cerca y por lo tanto es un punto crítico a tener en cuenta al momento de realizar las pruebas y es aconsejable lubricar muy bien estas partes considerando el peso del tanque cargado para disminuir el desgaste de las superficies.

4.3. DISEÑO DEL BASTIDOR

El bastidor es el encargado de soportar todo el peso del tanque y los desechos organicos por lo tanto debe ser una estructura robusta que le brinde estabilidad al mismo. Esta comformado por dos bases principales y un marco estructural.

4.3.1. Bases Del Bastidor

Las bases serán fabricadas en lamina HR $\frac{1}{4}$ " (que será comprobado en CAE) y en su interior llevaran unos refuerzos para evitar que las bases se deformen en exceso. En ellas irán apoyados los pasadores con sus respectivas masas de rotación. Después de estudiar varias alternativas se tomo la decisión de optar por la configuración de la figura 59 que cumple

con los requerimientos y es de fácil manufactura. En la figura 60 se puede apreciar la disposición de los refuerzos internos en las bases.

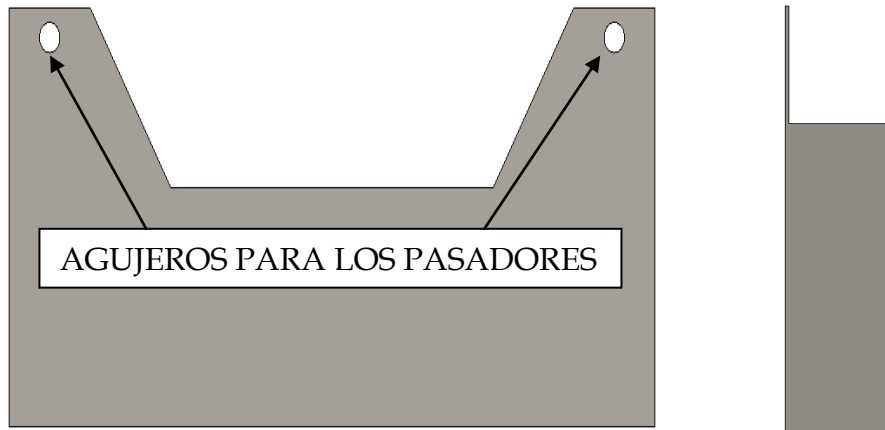


Figura 59. Configuración de las bases del bastidor.

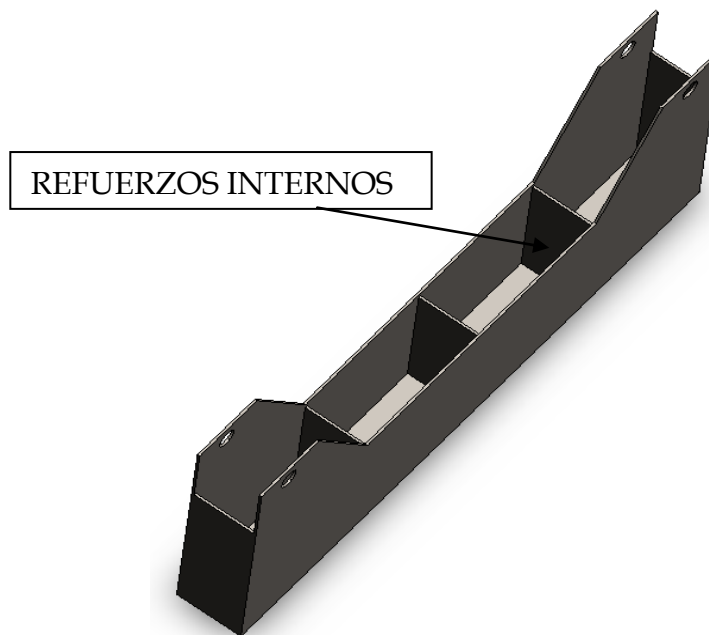


Figura 60. Detalle de la disposición de los refuerzos internos de las bases.

- Análisis CAE

En este apartado se comprobará el estado de esfuerzos y deformaciones para las bases con el fin de corroborar el diseño para las mismas. Para el análisis de esta estructura se fijó la cara inferior de la base (figura 61) y se

coloco la carga que esta debe soportar (51460 N.) como se muestra en la figura 62.

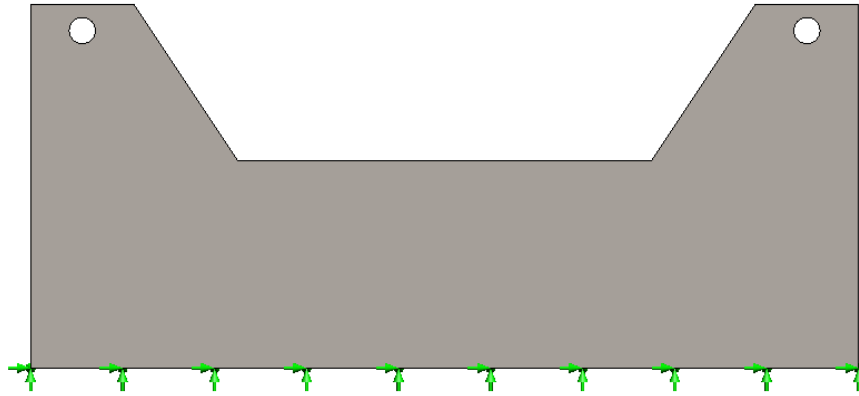


Figura 61. Apoyo para la base del bastidor.

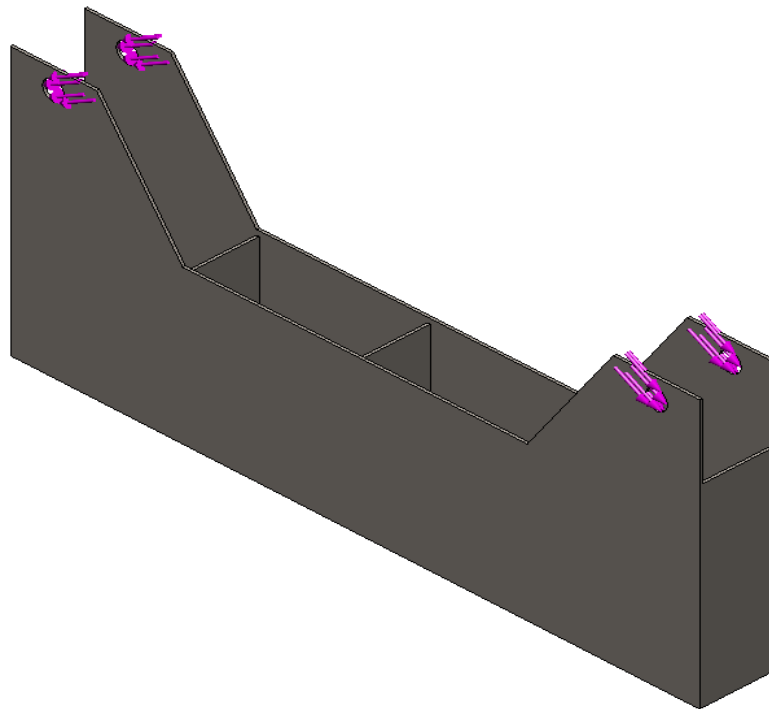


Figura 62. Estado de cargas sobre la base del bastidor.

En la figura 63 se observa la grafica de esfuerzos para las bases en las condiciones nombradas anteriormente. El esfuerzo máximo es de 101.37 MPa y como era de esperarse se presenta en la cara que está en contacto con los pasadores, el esfuerzo permisible para el acero A36 es de 250 MPa.

lo que nos da un factor de seguridad de 2.46 para el modelo (figura 65).
Con esto queda garantizada la integridad de las bases del bastidor

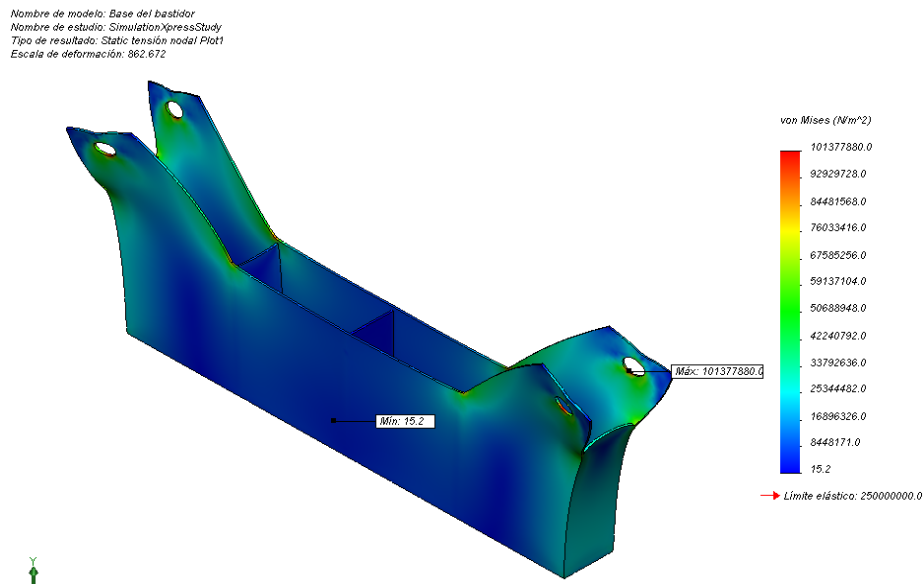


Figura 63. Grafica de esfuerzos para la base del bastidor.

Se le realizó un estudio de deformaciones a las bases dando como resultado una deformación máxima de $2.2 \cdot 10^{-1}$ mm. (Figura 64) Valor aceptable para este montaje y prácticamente despreciable lo que confirma la correcta elección de las dimensiones y configuración de las bases del bastidor. La mínima deformación y esfuerzo se presentó en el área de los apoyos como era de esperarse.

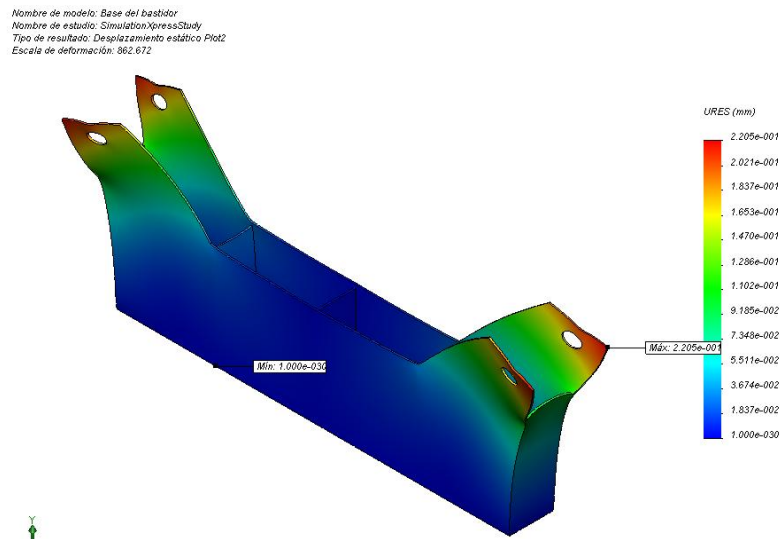


Figura 64. Grafica de deformaciones para la base del bastidor.

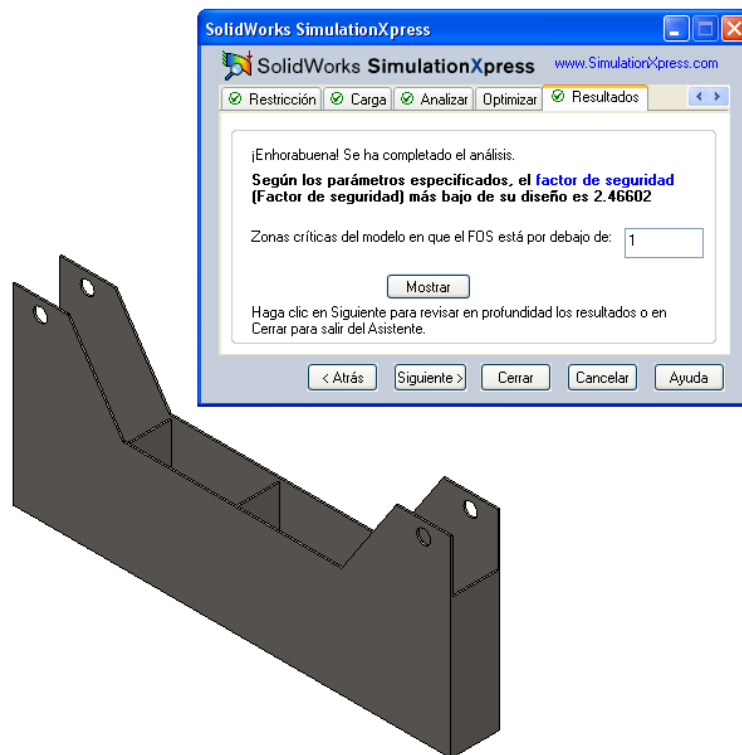


Figura 65. Factor de seguridad para la base del bastidor.

4.3.2. Marco estructural del Bastidor

El marco será el encargado de mantener todos los componentes del tanque digestor juntos. Esto presenta una gran ventaja al momento del transporte y/o montaje. Para la elección de los elementos que lo conformaron se

tomaron como principales criterios la disponibilidad y rigidez estructural requerida. En la sección que une las dos bases del bastidor se utilizó perfil cuadrado de 4" x 1/4". Para la sección que soportará gran parte de la transmisión de potencia, perfil IPN 200 (ver anexo E), no solo por dicha carga sino por la aplicación de la misma con respecto al resto del marco; puede considerarse en voladizo. Este perfil también se usó en la parte inferior de la pequeña estructura que se construyó para darle soporte al sistema de transmisión de potencia (motor, poleas, motoreductor, piñón) pero cuyas columnas fueron fabricadas en perfil en U de 4". Esta disposición puede apreciarse en la figura 66.

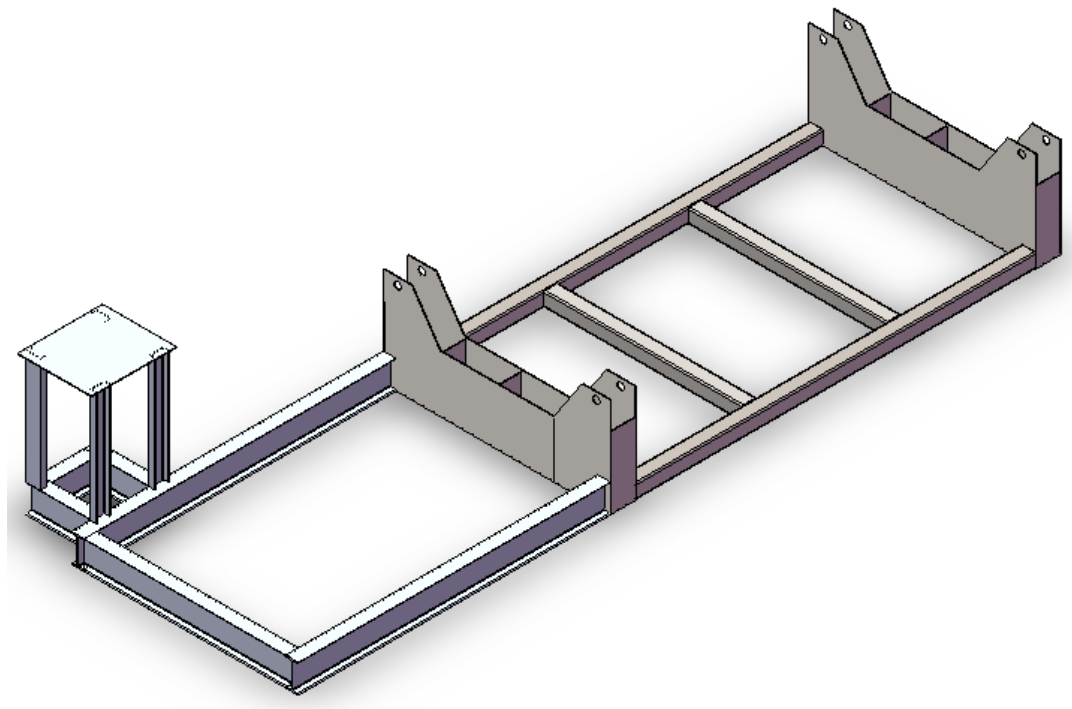


Figura 66. Ensamble del bastidor.

4.4. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE POTENCIA

El sistema de transmisión de potencia comprende una serie de componentes encargados de llevar la potencia desde el motor eléctrico hasta el tanque biodigestor. Durante la fase de diseño conceptual se determinó que la transmisión sería motor, bandas en v, motoreductor y por

ultimo engranajes piñón-corona. Siendo el sistema encargado de garantizar la rotación simultánea, se procedió a determinar en primera instancia el motor eléctrico acorde a las necesidades de la máquina.

4.4.1. Selección del motor

Lo primero es calcular la potencia necesaria por el sistema para que este pueda rotar a una velocidad de 7 RPM. Ya en este punto se ha diseñado la mayoría del tanque por lo tanto se cuenta con el peso (102921.27 N) que se debe hacer girar gracias a un software CAD como solidworks. Para esta primera fase se calcula el momento de inercia del tanque tomándolo como si fuera un cilindro sólido caso que se presentara cuando el se encuentre llena de desechos orgánicos y este sería además su punto crítico.

$$I = \frac{1}{2}MR^2 \quad \text{Donde ,}$$

I= Momento de Inercia para un cilindro sólido, Kg*m²

M = Masa, Kg

R= Radio de giro, m

- Se ampliara el peso del tanque que se tiene hasta ahora para tener en cuenta algunas partes del sistema que no se han tenido en cuenta en el calculo del peso del tanque.

$$M = 10502.2 * 1.1$$

$$M = 11552.42 \text{ Kg}$$

$$I = \frac{1}{2} 11552.42 * .75^2$$

$$I = 3249.12 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Por diferentes factores este calculo no es exacto y se debe amplificar por dos por sugerencia del profesor para obtener mayor seguridad en la selección del motor.

$$I_{\text{Coregido}} = 2 * I$$

$$I_{Coregido} = 2 * 3249.12$$

$$I_{Coregido} = 6498.23 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Calculo de la aceleracion angular

$$\omega = 7 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$\omega = 0.733 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Para $\Delta t = 1 \text{ seg}$ se tiene

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{0.733}{1} = 0.733 \text{ rad/seg}^2$$

- Calculo del torque

El maximo torque esta en el arranque y es el necesario para vencer la inercia del sistema

$$T = I * \alpha$$

$$T = 6498.23 * 0.733 = 4763.47 \text{ N} * \text{m}.$$

- Calculo de la potencia teorica

$$P_{Teo} = T * \omega$$

$$P_{Teo} = 6498.23 * 0.733$$

$$P_{Teo} = 3491.62 \text{ W} = 4.68 \text{ Hp}$$

- Calculo de la potencia real

$$P_{Real} = \frac{P_{Teo}}{\eta_d * \eta_c * \eta_r * \eta_b * \eta_m} \text{ donde,}$$

η_d = perdidas por deslizamiento y la friccion del tanque con las masas.

η_c = perdidas por la trasmision corona – piñon.

η_r = perdidas en el motoreductor.

η_b = perdidas en las bandas.

$\eta_m = \text{perdidas en el motor.}$

$$P_{Real} = \frac{4.68}{0.9 * 0.9 * 0.6 * 0.9 * 0.9}$$

$$P_{Real} = 11.89 \text{ Hp}$$

$\eta_d =$ Perdidas por deslizamiento y la fricción del tanque con las masas.

$\eta_c =$ Perdidas por la trasmision corona-piñon.

$\eta_r =$ Perdidas en el motoreductor.

$\eta_b =$ Perdidas en las bandas.

$\eta_m =$ Perdidas en el motor.

- Selección del motor

Una vez se ha calculado la potencia real se selecciona el motor adecuado para el sistema. En la tabla de motores trifasicos de Myers (Anexo G) se observa que de 10 Hp se pasa a uno de 15Hp por lo tanto se escoge un motor de 15Hp con las siguientes características.

Marca : Weg

Referencia : WT4ET1500

Potencia : 15Hp

RPM : 1750 RPM

Armazon : 254T

Voltios : 220/440 V

Polos : 4

4.4.2. Selección de las bandas V

Después de haber seleccionado el motor y conocer la potencia real que necesita nuestro sistema es tiempo de seleccionar las bandas en v, que van a ser las encargadas de transmitir el torque del motor hacia el motoreductor, para esto se siguieron los pasos recomendados en el libro de diseño de elementos de maquinas de Robert L. Mott.

- Cálculo de la potencia de diseño

$$P_{diseño} = P_{real} * F_{servicio} \quad \text{Donde,}$$

P_{real} = potencia a transmitir por las bandas.

$F_{servicio}$ = Factor de servicio se toma de la tabla 7.1 del Anexo F en base al tipo de máquina impulsada y a la cantidad de horas a trabajar por días para este caso $F_{servicio} = 1.3$ (trabaja más de 15 horas/día y se puede considerar como una máquina mezcladora).

$$P_{diseño} = 11.89 * 1.3$$

$$P_{diseño} = 15.455 \text{ Hp}$$

- Selección de la sección de banda a utilizar y diámetro de las poleas

De la gráfica 7.9 del Anexo F. con la potencia de diseño (15.455 Hp) y la velocidad del motor (1750 Rpm) se debe tomar una banda de sección 3V.

Las dos poleas son del mismo diámetro no se presenta ninguna reducción en esta etapa y su diámetro estandarizado de la gráfica 7.10 del Anexo F es 5.25".

- Potencia por banda V

Una vez seleccionado el diámetro estandar de la polea en la gráfica 7.10 del Anexo F se puede observar la capacidad de cada banda para una velocidad de 1750 Rpm se tiene que la potencia por banda es 5.9 Hp.

- Distancia entre centros

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \quad \text{Donde,}$$

C = Distancia entre centros en pulgadas

D_2, D_1 = Diámetro de las poleas en pulgadas

$$5.25 < C < 3(5.25 + 5.25)$$

$$5.25 < C < 31.5 \quad \text{se toma como primera aproximación } C = 25''$$

- Calculo de la Longitud de la banda necesaria

$$L = 2C + 1.57 (D_2 + D_1)$$

$$L = 2 * 25 + 1.57 (5.25 + 5.25)$$

$$L = 66.48''$$

en la tabla 7.2 del Anexo F se encuentran las medidas estandar de las longitudes de las bandas para nuestro caso la mas cercana es la de 67''

$$L = 67''$$

- Recalculo de la distancia entre ejes

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)}}{16} \quad \text{Donde } B = 4 * L - 6.58 * (D_2 + D_1)$$

$$B = 4 * 67 - 6.58 * (5.25 + 5.25)$$

$$B = 202.06$$

$$C = \frac{202.06 + \sqrt{202.06^2 - 32(5.25 - 5.25)}}{16}$$

$$C = 25.26''$$

- Numero de bandas necesarios para la trasmision de potencia

$$N^{\circ} \text{ Bandas} = \frac{P_{\text{Diseño}}}{P_{\text{banda}}}$$

$$N^{\circ} \text{ Bandas} = \frac{15.455}{5.9}$$

$$N^{\circ} \text{ Bandas} = 2.62 \quad \text{se toman 3 bandas V}$$

- Resumen del diseño

Entrada : Motor electrico de 15Hp y 1750 Rpm.

Factor de servicio :1.3.

Potencia de diseño: 15.455 Hp.

Banda : banda 3V (3V670 Goodyear), 67'' de longitud, 3 bandas V.

Poleas: motriz y conducida tienen un diametro de 5.25'' con 3 ranuras 3V.

Distancia entre centros: 25.26".

Peso : 0.3 Lb. Por banda V.

4.4.3. Selección del reductor

Para la selección del reductor nos vamos a guiar del catálogo de reductores de la marca sew-eurodrive las ecuaciones y las tablas para los factores de servicio así como el catálogo de selección se encuentran en el Anexo G. los datos necesarios para empezar el cálculo son.

$n_1 =$ velocidad de entrada = 1750 Rpm

$n_2 =$ velocidad de salida = 60 Rpm

$P_{Real} = 11.89 \text{ Hp}$

- Cálculo del índice de reducción del reductor.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1750}{60}$$

$$i = 29.16$$

- Cálculo de la potencia de entrada

Para esto se debe tener en cuenta las pérdidas en el motor y las pérdidas en las bandas V.

$$P_{k1} = P_{Real} * \eta_b * \eta_m$$

$$P_{k1} = 11.89 * 0.9 * 0.9 = 9.63 \text{ Hp}$$

- Potencia nominal requerida por el reductor

Se calcula utilizando la potencia de entrada P_{k1} y el factor de servicio F_s que para este caso de la tabla de factores de servicio (Anexo G) en equipos agitadores para sólidos y con más de 10 H/día de trabajo es 1.4. Para un sentido de carga P_{N1} es:

$$P_{N1} \geq P_{k1} * F_s$$

$$P_{N1} \geq 9.63 * 1.4$$

$$P_{N1} \geq 13.482 \text{ Hp.}$$

Este valor se utiliza para seleccionar el tamaño del reductor a partir de las tablas de selección de reductores (Anexo G). Para este caso se selecciona MC3PLHF02. Con las siguientes características de desempeño.

$$P_{N1} = 49 \text{ Kw} = 65.71 \text{ Hp.}$$

Se debe tomar un valor de reducción normalizado en este caso el siguiente al valor obtenido 29.16 es:

$$i_N = 31.5, \quad \text{Índice de reducción exacto } i_{ex} = 32.31$$

Par nominal del reductor $M_{N2} = 8\,000 \text{ N} * \text{m.}$ mucho menor al torque máximo a transmitir por el reductor

- Cálculo de la velocidad a salida del motoreductor

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{ex}}$$

$$n_2 = \frac{1750}{32.31} = 54.16 \text{ Rpm.}$$

4.4.4. Cálculo y selección de los engranajes

Para la transmisión se engranajes se utilizara un sistema corona-piñon que sera el encargado de transmitir el torque desde el reductor hasta el tanque y realizar la ultima reduccion de velocidad con el fin de obtener la velocidad elegida en la fase conceptual del proyecto. Para esto se selecciono un sistema de engranajes conicos rectos y se comprobo con procedimiento AGMA para calculo de engranajes con el fin de garantizar el perfecto funcionamiento del sistema y una larga vida util sobre todo del piñon que es el que mas sufre en esta trasmision. El sistema tiene las siguientes características:

Dientes del piñon (Z_p): 11

Dientes de la corona (Z_g): 117

Angulo entre arboles (Σ): 90°

Angulo de presion: 20°

Ancho de la cara (b): $10/3''$

Diametro primitivo del piñon (D_p): $3.66''$

Diametro primitivo de la corona (D_g): $39''$

Paso diametral (P_d): 3 dientes/pulg

Con estos datos se hace al piñon el procedimiento AGMA para el calculo de engranajes conicos de dientes rectos con el fin de comprobar su resistencia.

- Calculo fuerza dinamica

$$F_d = (V_f) * N_{st} * K_m * F_t \quad \text{donde,}$$

F_d = fuerza dinamica.

V_f = factor de velocidad.

t = factor de servicio.

K_m = factor de distribucion de carga.

F_t = Carga trasmitida.

Para el calculo de la carga trasmitida se tiene:

$$F_T = \frac{33000 * H_p}{V_m}$$

$$V_m = \pi D_p n = \frac{\pi * 3.66 * 54.16}{12}$$

$$V_m = 51.9 \text{ pies/min}$$

$$H_p = P_{Real} * \eta_r * \eta_b * \eta_m$$

$$H_p = 11.89 * 0.9 * 0.9 * .06$$

$$H_p = 5.78 \text{ Hp.}$$

$$F_t = \frac{33000 * 5.78}{51.9}$$

$$F_t = 3674.5 \text{ Lbs}$$

Para el factor de distribución de carga (K_m) se tiene en el caso de que un engranaje este montado entre dos soportes y el otro no $K_m = 1.15$.

Para el factor de servicio de la tabla 15.2 (Anexo I) dice que para una maquina con un trabajo uniforme y una fuente de potencia uniforme

$$N_{st} = 1.0$$

Para el calculo del factor de velocidad se tiene $V_f = \frac{50 + \sqrt{V_f}}{50}$

$$V_f = \frac{50 + \sqrt{51.9}}{50} = 1.14$$

Una vez se han calculado y seleccionado todos los datos necesarios se procede a calcular la fuerza dinamica en el piñon.

$$F_d = (1.14) * 1.0 * 1.15 * 3674.5 = 4817.3 \text{ Lbs}$$

- Carga resistente a la rotura (F_s)

La ecuacion nominal para igualar a la fuerza dinamica (F_d) es

$$F_s = \frac{S_d * b * J * K_L}{P_d * K_s * K_T * K_r} \text{ Kips} \quad \text{donde,}$$

F_s =Carga resistente a la rotura.

K_s =factor de tamaño.

K_L = Factor de duracion o vida.

J = Factor geometrico para resistencia.

K_r = Factor de confiabilidad.

S_d = Esfuerzo de diseño por flexion.

P_d = Paso diametral.

b = Ancho de la cara del engranaje.

El factor de tamaño se elije en funcion del paso diametral (P_d) según el libro diseño de elementos mecanicos de Faïres para:

$$P_d = 3 \quad K_s = 0.76.$$

Para una vida indefinida de $6 \cdot 10^7$ ciclos se utiliza

$$K_L = 1.0$$

Para una temperatura menor a 160°F (70°C)

$$K_T = 1.0$$

Para tener una buena confiabilidad se toma

$$K_R = 1.12$$

De la figura 10.13 en el Anexo I se toma para $N_p = 11$, $N_g = 117$, angulo entre ejes 90° y angulo de presion de 20° un valor $J = 0.28$

Para el acero AISI-SAE 1045 se tiene una dureza de 200 BHN por lo tanto le corresponde un esfuerzo de diseño a la flexion (S_d) para este caso de:

$$S_d = 15 \text{ Ksi}$$

$$F_s = \frac{15 * 3.33 * 0.28 * 1.0}{3 * 0.76 * 1.0 * 1.12}$$

$$F_s = 5.48 \text{ Kips} = 5482 \text{ Lbs.}$$

para que la seleccion del piñon sea optimo $F_s > F_d$

$$5482 \text{ Lbs} > 4817.3 \text{ Lbs}$$

Con esto se asegura el corecto funcionamiento del piñon.

- Carga nominal de desgaste para el piñon (F_w)

La ecuacion para la carga nominal de desgaste se deduce de la ecuacion de esfuerzo de contacto de Hertz como la ecuacion de Buckingham. Comparada con la fuerza dinamica (F_d).

$$F_w = D_p * b * I * \frac{S_{cd}^2}{C_e^2} * \left(\frac{C_L}{K_T * C_R} \right)^2 \quad \text{Donde,}$$

F_w = Carga nominal a desgaste.

D_p = diametro primitivo del piñon.

b = Ancho de la cara del diente.

K_T = Factor de temperatura.

S_{cd} = Esfuerzo admisible de contacto.

I = Factor geometrico para desgaste.

C_r = Factor de confiabilidad para desgaste.

C_L = Factor de vida util para desgaste.

C_e = Coeficiente elastico.

El esfuerzo admisible de contacto se optiene de la tabla 15.3 del Anexo I, para el acero con una dureza de 240 BHN

$$S_{cd}^2 = 13200 \text{ Ksi}^2$$

Para una vida de 10^6 ciclos

$$C_L = 1.3$$

Para una buena seguridad funcional para desgaste

$$C_r = 1.0$$

De la figura 10.14 del Anexo I para un piñon de 11 dientes y la corona de 117 dientes con un angulo entre ejes de 90° y un angulo de presion de 20° .

$$I = 0.086$$

Para combinaciones de materiales en los engranes de acero y hierro fundido en tabla 15.4 del Anexo I se tiene

$$C_e^2 = 6000$$

Con todos los factores calculados se procede a calcular la carga nominal a desgaste.

$$F_w = 3.66 * 3.33 * 0.086 * \frac{13200}{6000} * \left(\frac{1.3}{1.0 * 1.0} \right)^2$$

$$F_w = 5.456 \text{ Kips} = 5456 \text{ Lbs}$$

Para que el piñon tenga una vida util ceptable

$$F_w > F_d$$

$$5456 \text{ Lbs.} > 4817.3 \text{ Lbs.}$$

Con esto se comprueba la buena selección de la trasmision por engranajes conicos con dientes rectos. Estos estan lo suficientemente robustos para resistir las cargas solicitadas por el tanque.

- Calculo de la velocidad a salida de la transmisión piñón-corona

$$\omega_2 = \frac{Z_p}{Z_g} * \omega_1$$

$$\omega_2 = \frac{11}{117} * 54.16$$

$$\omega_2 = 5.1 \text{ Rpm.}$$

4.4.5. Configuración final del sistema de potencia

Luego de haber calculado y seleccionado los diferentes componentes del sistema de potencia como lo son el motor, las bandas V, el motoreductor y el sistema piñón- corona se sigue con su configuración en el tanque. Este sistema se va a ubicar en la tapa de carga (Figura 67) como se había decidido en la fase de diseño conceptual.

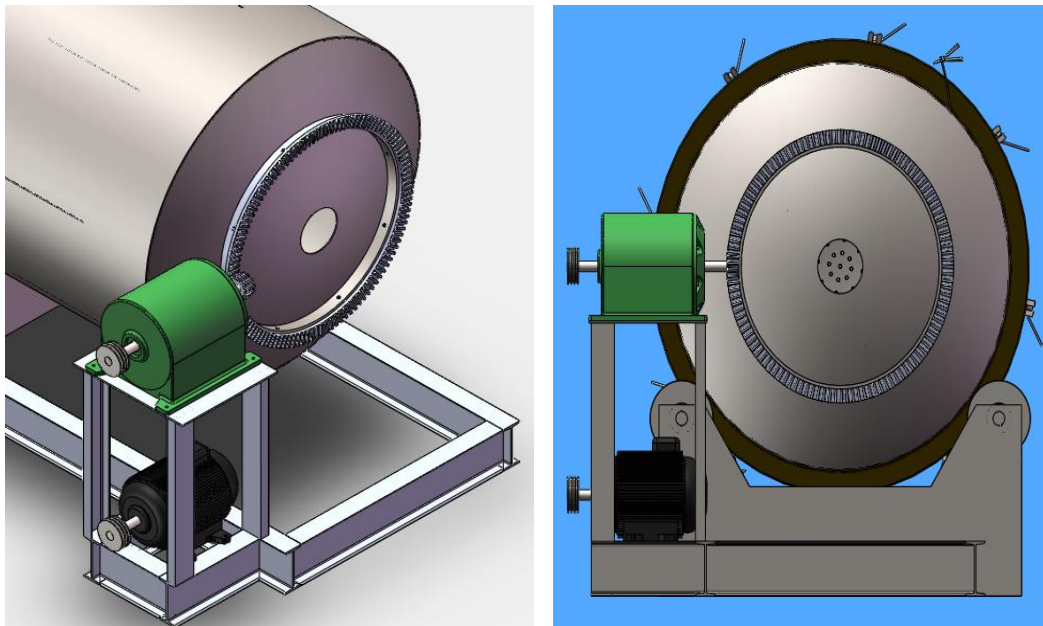


Figura 67. Configuración del sistema de potencia.

5. CONSTRUCCION DE LA MAQUINA

5.1. FABRICACION DE ENVOLVENTE

Como primer paso se realiza el corte de la lamina HR acorde al desarrollo del tanque, se hace el respectivo pulido y bisel para el proceso de soldadura. Posteriormente se procede a rolar o cilindrar la lámina en la cilindradora. Se deben hacer varias pasadas para garantizar que la lámina obtenga la forma cilíndrica e inmediatamente se lleva a cabo el proceso de soldadura con la pieza aun montada en la máquina, con electrodo revestido 7018. Así se procede con las cinco secciones, se realiza el alineado de las mismas y se comienza las labores de soldadura exterior e interior teniendo en cuenta en no alinear los respectivos cordones que ya cada sección tiene. Seguidamente se procede a aplicar pintura anticorrosiva gris sobre la periferia exterior con el fin evitar la incidencia de las condiciones ambientales sobre la lámina y facilitar el proceso de marcado sobre el tanque. En la que será la parte posterior del tanque, se soldaron un total de ocho juegos de “pestañas” que servirán para darle apoyo a los tornillos de sujeción. Esto se realizo con soldadura 6013, siguiendo las indicaciones que se plantearon en la etapa de diseño



Figura 68. Maquina cilindradora y Envolverte del tanque con presentación de anillos.

5.2. ELABORACIÓN DE COMPUERTAS DE INSPECCIÓN

Se marcaron las dimensiones establecidas por el diseño sobre la periferia del tanque, se hizo el corte con plasma, esto con el fin de lograr un buen acabado, pues la sección desprendida sería la misma que serviría como tapa. Se taladran los agujeros para el paso del tornillo, después se hace el montaje de los tornillos de fijación y del empaque de asbesto para evitar fugas de material.



Figura 69. Compuertas de inspección.

5.3. ELABORACIÓN DE TAPA FRONTAL Y DESCARGUE

Para este paso se procede a realizar las uniones soldadas de lámina suficientes para el área necesaria de cada una de las tapas, pues dicho diámetro excede las dimensiones de lámina en uso. Posteriormente se marcan con un compas industrial y se procede a realizar su corte con plasma. Listo esto se procede, a realizar el respectivo abombado, a través de la abombadora, máquina que a través del golpe de un eje, permite dar la forma de perfil elíptico a la tapas, mediante el paso constante y más fuerte en su parte central. Posteriormente a la tapa frontal se le realiza el proceso de pestañado de dos centímetros.

Fue necesario realizar perforaciones de media pulgada en el centro de ambas tapas para poder manipular las piezas durante el proceso, esto es

normal en este tipo de procedimientos; en nuestro caso no fue ningún inconveniente ya que las dos tapas, carga y descarga, llevaban mecanizados de este tipo en la parte central. En la parte frontal se fabrico un agujero de 30cm de diámetro, con plasma; para tener un buen acabado el cual no presente problemas con el mecanismo de alimentación que tendrá el tanque. En la tapa desmontable se realizaron una serie de agujeros que como se indico previamente. Debido a las dimensiones de los mismos, al tipo y al calibre de la lámina éste resultó ser un proceso delicado el cual no pudo realizarse en un una sola etapa, realizándolo con un aumento gradual de los diámetros y con una considerable refrigeración por medio de agua en la broca. Para la tapa de descarga, adicional al proceso de abombado y taladrado fue necesario un proceso de soldadura para el montaje de las pestañas que servirán para el montaje y desmontaje de la misma, y una pestaña interna; la cual cumplirá con funciones de guía y soporte entre la tapa y al envoltente.



Figura 70. Máquina abombadora y proceso para elaboración de tapas.

- Soldadura de láminas para lograr desarrollo de área de la tapa de la zona de carga



Figura 71. Tapa de carga soldada

- Unión de láminas para tapa de descarga y montaje de piezas de sujeción al tanque



Figura 72. Tapa de descarga montada en el tanque.

- Elaboración de agujeros en tapa de descarga para aireación



Figura 73. Taladrado de los agujeros de la tapa de descarga.



Figura 74. Marcado sobre lámina de parámetros para agujeros de la tapa de descargue

5.4. FABRICACIÓN DE ANILLOS

Posteriormente al doblado de la sección transversal de los anillos en una maquina dobladora, se debe realizar un cilindrado para ajustarlo al diámetro del bioreactor, esto se realiza a través de la anilladora, maquina que esta solidaria a la cilindradora, que permite por medio del paso del perfil a través de de tres masas rotativas (una de ellas desmontable) que dan la forma cilíndrica. A diferencia de las secciones de la envolvente, no es posible hacer todo el círculo con una sola pieza, esto debido a la limitante de la dobladora, la cual no permite doblar piezas equivalentes al desarrollo del perímetro circular por lo tanto en caso se realiza por secciones, las cuales se soldaran posteriormente sobre la envolvente del tanque. Además, curvar en una sola pieza un perfil doblado generaría rotura o fisuras del material a causa la deformación plástica.



Figura 75. Maquina en la que cilindraron los anillos.

- Montaje de anillos sobre periferia del tanque

Siendo los anillos los elementos principales para garantizar el movimiento suave de rotación del tanque, se debió asegurar una trayectoria totalmente cilíndrica y uniforme a través de la periferia del tanque de manera que no generara sobresaltos durante la rotación del tanque. Estando los anillos cilindrados por secciones se deben colocar tensores de tornillo para asegurar que durante el proceso de soldadura no se deformen o desvíen, consecuencia del aumento de la temperatura y por ende deformación del material. Este proceso se realiza formando cada anillo de dos secciones, y con soldadura de electrodo revestido, sobre las aletas inferiores de la sección del cilindro, teniendo especial cuidado de no generar abultamientos que afectaran la uniformidad del movimiento. Junto a esto se colocaron refuerzos internos soldados a los anillos que estarán en contacto con las masas de rotación, con el propósito de garantizar que no se deformaran por cargas o por la fricción, es decir se aumento la rigidez del anillo.



Figura 76. Tensor de tornillo para asegurara asentamiento de anillo sobre periferia del tanque.

- Soldadura de anillo por secciones



Figura 77. Anillos soldados.

- Zona externa de soldadura de anillos sobre periferia del tanque.



Figura 78. Soldadura de anillo con electrodo revestido.

5.5. FABRICACIÓN DE ASPAS INTERNAS.

De las secciones sobrantes de la lamina de la envolvente se procede a realizar el marcado y corte de cada una de las aletas internas, luego se realiza un proceso de pulido y biselado para la soldadura sobre la periferia interna del tanque, esto procedimiento se realizo desde la tapa de carga hacia atrás, generando el desfase angular, con el propósito de evitar la compactación del compostaje. Se puede observar en la grafica la cantidad de escoria generada en el proceso de soldadura.



Figura 79. Sistema de aspas internas del tanque.

5.6. ELABORACIÓN DEL BASTIDOR

Las bases del bastidor fueron cortadas en lámina HR y reforzadas en sus dos caras por tres pie de amigos, con el fin de brindarle estabilidad y rigidez a la estructura. Estas caras se cortaron con equipo plasma, pulidas y biseladas para garantizar una mejor penetración de la soldadura Mig. Se tuvo especial cuidado en el corte de los dos agujeros, este se realizo con plasma para asegurar una superficie uniforme y disminuir la presencia de residuos o rebabas



Figura 80. Soldadura de refuerzos en las bases del bastidor con equipo MIG.



Figura 81. Bases terminadas.

Las bases fueron soldadas externa e internamente en todos sus contornos, ya que se debía asegurar el buen estado y rigidez de este componente ya que debido al peso del tanque y el material compostado, si esta pieza se moviera o deformara, generaría una mala rotación y daño crítico del equipo. Con el propósito de unir estas dos bases se procedió a soldar un perfil cuadrado, que permitiera hacer del bastidor toda una unidad, brindando una mayor estabilidad durante la rotación del tanque.



Figura 82. Bases soldadas al marco del bastidor.

5.7. FABRICACIÓN DE MASAS DE ROTACIÓN.

Fue necesario trabajo metalmecánico, específicamente del torno aplicando el diseño establecido para las masas. De igual manera se realizó el ajuste de los rodamientos en su interior y sus respectivos ejes, para su posterior montaje sobre las bases ya soldadas.



Figura 83. Masas de rotación montadas en las bases del bastidor.

5.8. MONTAJE DE TANQUE SOBRE BASTIDOR

Ya teniendo montadas las bases y sus respectivas masas se procede a realizar el montaje del tanque sobre el bastidor, esto con la ayuda de un polipasto y el agujero de tapa de carga del tanque la cual permitió subirlo y posicionar el bastidor, para probar la buena rotación del tanque, la uniformidad del movimiento, observar las zonas de contacto y la trayectoria de los anillos con el desnivel.

Como se indicó en capítulo de diseño, el tanque descansa sobre las bases, y éstas a su vez están unidas por medio de un marco rígido elaborado con perfil cuadrado de 4" x 3/16", con el fin de mantener la integridad de toda la estructura y conservar las distancias adecuadas que permitan el funcionamiento del tanque. De manera adicional es también una buena solución para transportar todo el tanque sin tener que desmontar ningún elemento.



Figura 84. Elevación del tanque por medio del polipasto.

5.9. MONTAJE DE LA CORONA Y EL REDUCTOR EN LA TAPA DE CARGA

Se perforan agujeros de $\frac{1}{2}$ " en la platina que soportara la corona, para realizar posteriormente su cilindrado. La platina es montada de forma centrada sobre la tapa frontal del tanque, punto fundamental ya que de este adecuado montaje depende el movimiento uniforme del tanque. La soldadura de la platina se realiza con electrodo revestido 7018, y se monta la corona con la respectiva tornillería y tuercas de seguridad. De esta manera la platina queda asegurada al tanque mediante una unión rígida y para facilitar el cambio de la corona en caso de ser necesario por avería o mantenimiento simplemente se procede a soltar los pernos, quedando así fijada la corona a la platina y esta al tanque.



Figura 85. Corona montada en la tapa del tanque.

- Reductor de ejes paralelos



Figura 86. Motoreductor.

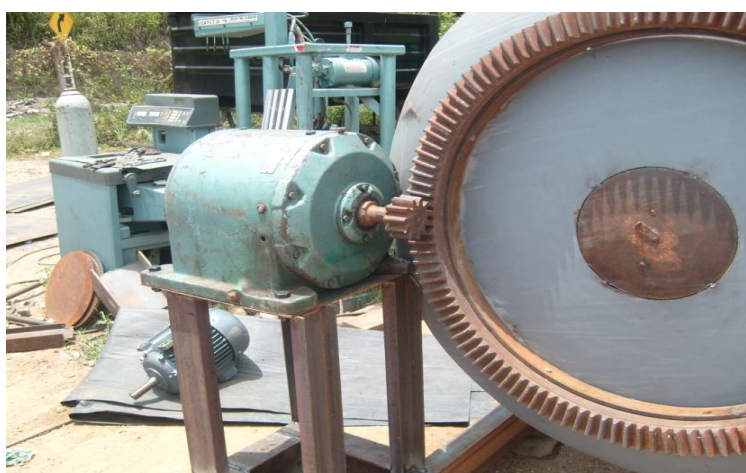


Figura 87. Montaje del motoreductor.

Acorde al resto de la configuración del marco, se soldó a una de las bases otro marco en perfil IPN 200 (como se indicó previamente) y solidario a este se soldó la estructura soporte para el sistema de transmisión de potencia en perfil en C de 4".

Se hicieron los respectivos agujeros en la base de la estructura soporte para montar el reductor de acuerdo a la distancia óptima de contacto entre la corona y el engranaje. Además la parte trasera se dejó despejada de tal manera que quedara libre para el montaje de las poleas y lograr la ubicación del motor.

5.10. MONTAJE DE MOTOR ELÉCTRICO Y SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

El montaje del motor se realiza en la base inferior de la estructura soporte, ubicado de acuerdo a su eje, la posición y alineación de las poleas y sus respectivas correas. Se realiza perforación de los agujeros acordes a la base del motor y se realiza un desnivel graduable con un tramo de varilla roscada y tuerca, con el fin de poder tensionar el sistema en caso de necesitarlo las poleas. De igual manera se dejó la opción para colocar complementos en la base del reductor con el propósito de garantizar tensión en las correas. Las poleas de aluminio, en primera instancia se repasan en su diámetro interno para adecuarlas al diámetro de los ejes del

motor y el reductor, se montan con tres tornillos prisionero (repartidos cada 120 grados) y chaveta continúa para cada polea.



Figura 88. Montaje del motor y las poleas.

5.11. PINTURA GENERAL DEL TANQUE

De acuerdo a lo solicitado por el cliente se realizó la pintura del tanque, siendo la envolvente de color negro y rojo los anillos. La pintura aplicada es sintética (Anexo F), sobre fondo o anticorrosivo gris. En el momento inicial de realizar la pintura con fondo gris, fue necesario hacer un grateado general del tanque, con el fin de remover la mayor cantidad posible de óxido, posteriormente se aplica un desengrasante para asegurar la adherencia de la pintura y por último se limpia con disolvente para dejar la superficie limpia y apta para el proceso de pintura. En primera instancia se aplica pintura sobre los anillos, se deja secar, se cubre y luego se aplica la pintura negra rotando el tanque para cubrir la totalidad de la superficie cilíndrica del tanque. Posteriormente se realizan los retoques concernientes a la pintura de los anillos.



Figura 89. Pintado del tanque.



Figura 90. Anillos de rotación pintados de rojo y compuerta de carga con la corana.

5.12. VISTA GENERAL DE TANQUE TERMINADO

Una vez el tanque está terminado y hechas las pruebas de rotación, se procede a realizar el traslado hasta el sitio final de operación y pruebas de funcionamiento. Para este transporte fue necesario el empleo de un montacargas que asegurara todo el tanque desde la parte inferior del bastidor, y el empleo de una carrocería tipo planchón que permitiera el fácil transporte de acuerdo a la longitud del tanque.



Figura 91. Vista general del tanque terminado.

6. PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Al estar el tanque en el sitio final de instalación, se procedió a realizar los anclajes y las bases en concreto necesarias para asegurar la estabilidad del tanque, se realizo el montaje de una carpa a lo largo del tanque, con el fin de aislar el tanque de las condiciones ambientales (especialmente la lluvia y exposición excesiva al sol). Junto a esto se realizo el montaje de las instalaciones eléctricas, necesarias para el arranque del motor. Además se llevo a cabo el montaje de la trituradora, máquina encargada de suministrar el del material orgánico triturado mediante un tornillo sinfín.



Figura 92. Anclaje del tanque bioreactor.



Figura 93. Tanque instalado visto desde la compuerta de descarga.



Figura 94. Material en tolva ya triturado.

Se procedió a realizar las pruebas piloto cargando el equipo con residuos de hoja de palma y residuos frutales. La carga se hizo al 80% del diámetro del tanque, para evitar compactación del mismo y haciendo rotar el producto durante tres días continuos, incluyendo tres paradas diarias de cuarenta y cinco minutos, periodo durante el cual personal calificado se encargo de verificar y monitorear la humedad, temperatura, ph, por medio de las compuertas de rotación y estado general del tanque.

Fue necesario establecer como criterio de mantenimiento la lubricación de los anillos con grasa industrial purpura, aplicada en la zona donde rota respecto de la envolvente, esto con el fin de disminuir el desgaste. Al tercer día y después de observar la degradación del producto, se realizó el proceso de descargue rotando el tanque y dejando salir el producto, mediante el desmontaje de la tapa trasera. Con esta prueba se verificó la estabilidad del tanque y su óptima funcionalidad durante el proceso de producción de compostaje.

7. RECOMENDACIONES

- Para garantizar el óptimo funcionamiento del tanque y su sistema de rotación, se recomienda monitorear constantemente el estado de los anillos de rotación y realizar su respectiva lubricación con grasa durante las paradas de inspección, esto con el propósito de evitar el deterioro de los mismos como consecuencia del desgaste abrasivo.
- Para el reductor, en cada una de las paradas de inspección se debe monitorear el nivel de la Valvulina lubricante y el estado de las correas de transmisión, ya que son dos puntos vitales para garantizar la adecuada rotación del tanque y evitar daños internos en el reductor por incrementos anormales de temperatura, ya que las condiciones de trabajo de este reductor son bastante exigentes, debido a la amplia reducción de velocidades.
- En la compuerta trasera se debe colocar una malla, especialmente donde están los orificios de ventilación, esto con el fin de evitar la salida de producto o humedad sin limitar la entrada de aire necesaria para el proceso de degradación del material orgánico.
- Se debe establecer como criterio de mantenimiento tres paradas diarias a diferentes horas del día durante cuarenta y cinco minutos, tiempo durante el cual se revisan todos los sistemas del tanque, especialmente los anillos, el reductor, las poleas y sus correas, ya que debido a la carga superior que maneja el tanque, se debe monitorear la integridad del mismo para garantizar su adecuado funcionamiento.
- Para el llenado del tanque se debe pestañear el agujero de la tapa de carga y limitarlo al tamaño de la manguera de la trituradora, con el objetivo de disminuir la posibilidad de salida de material orgánico por esta zona durante la rotación del tanque.

- Para la tapa de descarga se debe buscar la manera de mejorar la relación entre el peso y la hermeticidad de la misma, de tal manera que sea más fácil su manipulación y proceso de montaje y desmontaje del tanque, esto sin afectar su capacidad para limitar la salida de humedad y su resistencia para soportar la acumulación de producto.

8. CONCLUSIONES

- Se diseño y construyó un tanque biodigestor, para la producción de 9 toneladas de compostaje, apoyando las nuevas iniciativas empresariales enfocadas al proceso de reutilización de los desechos orgánicos. De esta manera la Universidad y especialmente la Escuela de Ingeniería Mecánica reafirman su indispensable papel como ente de desarrollo industrial y generador de alternativas para el progreso de la región y el mejoramiento del medio ambiente.
- Se realizó el diseño y construcción de un tanque biodigestor, para la producción de compost de 9 toneladas, con criterios de funcionabilidad y reducidos costos de inversión. La máquina rota a una velocidad de 5.1 Rpm, gracias a la selección de todos los elementos mecánicos de sus subsistemas, como el motor eléctrico de 15Hp, reductor (32.31:1) y el mecanismo corona-piñón que sirvieron para transmitir la potencia y a su vez reducir la velocidad para cumplir con este parámetro de diseño.
- El diseño del tanque y sus subsistemas se realizó con base a herramientas analíticas e informáticas como SolidWorks y Solidworks simulation, las cuales optimizan y permiten ahorrar tiempo y dinero en la labor del diseñador de maquinaria.
- Durante el desarrollo y construcción de maquinaria resulta vital tener preconceptos experimentales acerca de los procesos de manufactura, con el fin de prevenir posibles problemas o demoras durante esta fase.

- El conocimiento de elementos de máquinas, materiales de ingeniería comerciales, mecanismos, procesos de manufactura y herramientas CAD, CAE, constituye la herramienta fundamental para el diseño conceptual y de ingeniería de maquinaria.

BIBLIOGRAFÍA

CASILLAS, A.L. Máquinas. España: Ed. Máquinas. 1966. 185 p.

HALL, A.S. Diseño de máquinas Serie Schaum. Barcelona: Mc.Graw Hill.1985.337p.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. México: Prentice Hall.1992. 787 p.

PARADA, Alfredo. Conferencias sobre fatiga, Bucaramanga: UIS. 1997.

ROJAS, García Hernán. Diseño de elementos de máquinas II. Bucaramanga, UIS, 1992, 352 p.

SHIGLEY, Joseph E. Diseño en Ingeniería mecánica. México: Mc.Graw Hill.2000. 901 p.

INTERNET

www.reusarltda.com.

www.renold.com.

www.sew-eurodrive.com.

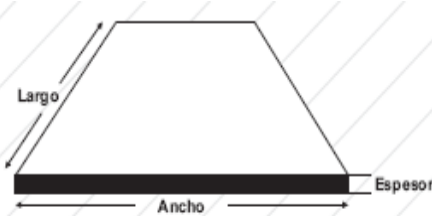
www.fag.com

www.intermec.com.co

http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/AdT_Curso-compostaje2.pdf

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES DE LAS LAMINAS HOT ROLLED A36



LÁMINAS HOT ROLLED

Especificaciones Técnicas

CALIDADES MAS COMUNES		COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				APLICACIONES MAS FRECUENTES	
		L	C	MN	P	S	SI	CU	LIMITE ELASTICO		RESISTENCIA A LA TRACCION			% ALARG
ASTM	DIN		(X100)	(X100)	(X100)	(X100)	(X100)	(X100)						
A - 36	ST 33 - 1.2	Min.	-	80	-	-	15	-	23Kg/mm2	-	41Kg/mm2	400MPa	20	Estructuras metálicas en general.
		Máx.	25	120	4	4	30	20	25Kg/mm3	250MPa	56Kg/mm2	550MPa	23	
A - 283 GR C	RST 37 - 1.2	Min.	-	50	-	-	7	-	-	-	39Kg/mm2	380MPa	20	Tanques de almacenamiento.
		Máx.	18	90	3.5	3.5	35	30	21Kg/mm2	205MPa	46Kg/mm2	450MPa	23	
A - 285 GR C		Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	38Kg/mm2	380MPa	23	Recipientes a presión de baja e intermedia resistencia a la tracción.
		Máx.	28	90	3.5	3.5	-	-	21Kg/mm2	205MPa	45Kg/mm2	515MPa	27	
A - 131 GR A	RST 34 - 1.2	Min.	-	53	-	-	-	-	-	-	41Kg/mm2	400MPa	21	Construcción naval en general.
		Máx.	21	-	4	4	50.4	-	23Kg/mm2	235MPa	50Kg/mm2	490MPa	24	
A 516 GR 70		Min.	27	85	-	-	15	-	-	-	49Kg/mm2	485MPa	17	Recipientes a presión temperatura media-alta.
		Máx.	31	120	4	3.5	40	-	27Kg/mm2	260MPa	63Kg/mm2	620MPa	21	
A 514 GR A	RQT 601	Min.	-	-	-	1.5	-	-	-	-	71Kg/mm2	690MPa	-	Resistencia a la abrasión.
		Máx.	20	150	3.5	4	50	-	64Kg/mm2	600MPa	87Kg/mm2	850MPa	19	

Dimensiones y Pesos de láminas comerciales

ESPESOR		M2	1.0 x 2.0 Mts.	1.22 x 2.44 Mts.	1.83 x 6.09 Mts.	2.0 x 6.0 Mts.	2.44 x 6.09 Mts.
CALIBRE	PULGADA	MILIMETRO	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.	Kg.
		22.00	172.79	345.58	513.51	1,926.00	2,073.00
	7/8"	22.23	174.59	349.19	518.88	1,964.00	2,095.00
		25.00	196.35	392.70	583.54	2,189.00	2,356.00
	1"	25.40	199.49	398.98	592.87	2,224.00	2,394.00
	1 1/4"	31.75	249.36	498.73	741.09	2,780.00	2,992.00
		32.00	251.33	502.65	746.93	2,802.00	3,016.00
		38.00	298.45	596.90	886.97	3,327.00	3,581.00
	1 1/2"	38.10	299.24	598.47	889.31	3,336.00	3,591.00
		50.00	392.70	785.40	1,167.07	4,378.00	4,712.00
	2"	50.80	398.98	797.96	1,185.74	4,448.00	4,788.00
		62.00	486.95	973.89	1,447.17	5,429.00	5,843.00
	2 1/2"	63.50	498.73	997.46	1,482.18	5,560.00	5,985.00
		75.00	589.05	1,178.10	1,750.61	6,567.00	7,069.00
	3"	76.20	598.47	1,196.95	1,778.62	6,672.00	7,182.00
		100.00	785.40	1,570.80	2,334.14	8,756.00	9,425.00
	4"	101.60	797.96	1,595.93	2,371.49	8,896.00	9,576.00

LAMINAS

40	20	265	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	4.20	C-8	65.9	15	UND
40	20	270	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	4.20	C-8	98.9	10	UND
40	20	275	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	4.20	C-8	197.8	5	UND
40	20	280	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	4.20	C-8	95.0	11	UND
40	20	285	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	4.20	C-8	193.1	5	UND
40	20	290	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	4.20	C-8	237.4	4	UND
40	20	295	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	4.30		67.5	15	UND
40	20	300	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	4.30		101.3	10	UND
40	20	305	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	4.30		202.5	5	UND
40	20	310	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	4.30		97.2	10	UND
40	20	315	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	4.30		197.7	5	UND
40	20	320	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	4.30		243.0	4	UND
40	20	325	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	4.50		70.7	14	UND
40	20	330	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	4.50		106.0	9	UND
40	20	335	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	4.50		212.0	5	UND
40	20	340	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	4.50		101.7	10	UND
40	20	345	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	4.50		206.9	5	UND
40	20	350	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	4.50		254.3	4	UND
40	20	355	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	4.75	3/16	74.6	13	UND
40	20	360	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	4.75	3/16	111.9	9	UND
40	20	365	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	4.75	3/16	223.7	4	UND
40	20	370	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	4.75	3/16	107.4	9	UND
40	20	375	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	4.75	3/16	218.4	5	UND
40	20	380	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	4.75	3/16	268.5	4	UND
40	20	385	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	5.00		78.5	13	UND
40	20	390	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	5.00		117.8	8	UND
40	20	395	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	5.00		235.5	4	UND
40	20	400	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	5.00		113.0	9	UND
40	20	405	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	5.00		229.8	4	UND
40	20	410	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	5.00		282.6	4	UND
40	20	415	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	5.30		83.2	12	UND
40	20	420	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	5.30		124.8	8	UND
40	20	425	LAM H.R. A-36	1.00	X	6.00	5.30		249.6	4	UND
40	20	430	LAM H.R. A-36	1.20	X	2.40	5.30		119.8	8	UND
40	20	435	LAM H.R. A-36	1.20	X	4.88	5.30		243.6	4	UND
40	20	440	LAM H.R. A-36	1.20	X	6.00	5.30		299.6	3	UND
40	20	445	LAM H.R. A-36	1.00	X	2.00	6.00		94.2	11	UND
40	20	450	LAM H.R. A-36	1.00	X	3.00	6.00		141.3	7	UND

ANEXO B. PROPIEDADES Y SELECCIÓN DE LA SOLDADURA

TABLA 1: SISTEMA A.W.S. PARA CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E 60 XX = 60 000 lb/pulg ² (mínimo).
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Última	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	Ver Tabla 2

NOTA: El prefijo “E” significa electrodo para soldadura por arco.

TABLA 2: INTERPRETACIÓN DE LA ÚLTIMA CIFRA EN LA CLASIFICACIÓN A.W.S. DE ELECTRODOS

ULTIMA	E-XX10	E-XX11	E-XX12	E-XX13	E-XX14	E-XX15	E-XX16	E-XX17	E-XX18
Tipo de corriente	CDPI e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CA o CD Polaridad Directa e-	CA o CD e+ - Ambas Polaridades	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida
Tipo de revestimiento	b Orgánico	Orgánico	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno
Tipo de arco	Fuerte	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana

a - E-6010 C.D.P.I. b - E-6010 ORGANICO; E-6020 MINERAL E-6020 C.A. Y C.D.P.D.

c - E-6010 PROFUNDA; E-6020 MEDIA

LISTA DE COMPROBACIONES PARA UNA FÁCIL Y RÁPIDA SELECCIÓN DE ELECTRODOS

¿Cuáles son las propiedades del metal base?

1. Qué grosor y forma tiene el metal base? El material pesado de diseño complicado requiere por lo regular de electrodos de mayor ductilidad?
2. Diseño y ajuste de la unión. Se requerirán electrodos de penetración profunda cuando las orillas no están biseladas y el ajuste es apretado. Los electrodos de penetración ligera se requieren cuando la raíz está abierta.
3. Posición de soldadura. La soldadura en posición plana es mucho más económica. Seguida por la horizontal y después la vertical, la menos económica es la posición sobre cabeza. Algunos electrodos se pueden utilizar en todas las posiciones, pero otros están limitados a ciertas posiciones.
4. Especificaciones y condiciones de servicio. Las especificaciones o claves que determinan el trabajo, pueden indicar la clase de electrodo que debe ser utilizado. De lo contrario, hay que tomar en cuenta los requerimientos que deberá llenar el trabajo terminado. Por ejemplo; ¿Deberá contar el cordón depositado con alta resistencia a la tensión, ductilidad, etc.?
5. Eficiencia de la producción. Por lo regular las varillas para alto índice de depósito agilizan el trabajo pero no siempre pueden ser utilizadas.
6. Condiciones ambientales del trabajo: ¿Se encuentra limpio el material, o está herrumbroso, pintado o grasoso? ¿ Están lo suficientemente capacitados los trabajadores para manejar el electrodo en cuestión en una determinada posición?
7. Tipo de corriente de soldadura disponibles.

Tabla 3:

Recomendaciones para soldar principales aceros estructurales.

Norma o Especific.	Designación el Acero	Clasificación de los electrodos según AWS										Precalentamiento recomendado °C
		E6010	E6011	E6012	E6013	E6027 (*)	E7014 (***)	E7024 (*)	E7018 (**)	E7018 (**)	E8016	
203 Of 78	A42-27ES	•	•	•	•	•	•	•	•	•		90-150
	A52-34ES									•		90-150
ASTM	A36	•	•	•	•	•	•	•	•	•		90-150
SAE o AISI	1010 al 1020	•	•	•	•	•	•	•	•	•		Sobre 90
	1033 al 1045									•		150-260

(*) Posición a soldar; Plana, horizontal y Filete

(**) Electrodos con bajo Hidrógeno

(***) Electrodo con contenido de Carbono 0,08%

A1 Electrodo de acero con 0,5% de Molibdeno

C1 Electrodo de acero con 2,5% de Níquel y 1,2% de Manganeso.

ANEXO C. PROPIEDADES DEL ACERO 1045

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO D. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS CONICOS CATALOGO DE LA FAG

Rodamientos FAG de rodillos cónicos

Capacidad de carga estática - Medidas auxiliares

Capacidad de carga estática C_0 para una pareja de rodamientos de rodillos cónicos

Si dos rodamientos de rodillos cónicos de igual tamaño y ejecución están ajustados uno contra otro según las disposiciones en O ó en X, la capacidad de carga de la pareja de rodamientos se obtiene a partir de:

$$C_0 = 2 \cdot C_{0 \text{ rodamiento individual}} \quad [\text{kN}]$$

Para los rodamientos de rodillos cónicos ajustados según la prescripción N11CA de FAG, las capacidades de carga para la pareja de rodamientos están dadas en las tablas.

Carga estática equivalente

Rodamiento individual

$$P_0 = F_r \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} \leq \frac{1}{2 \cdot Y_0}$$

$$P_0 = 0,5 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ para } \frac{F_a}{F_r} > \frac{1}{2 \cdot Y_0}$$

En el caso de rodamientos con una hilera de rodillos cónicos es necesario tener en cuenta las sollicitaciones axiales de reacción (ver tabla). El valor Y_0 se toma de las tablas de rodamientos.

Pareja de rodamientos en la disposición en O ó en X:

$$P_0 = F_r + 2 \cdot Y_0 \cdot F_a \quad [\text{kN}]$$

Para F_r y F_a se toman las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos. El valor Y_0 puede tomarse de las tablas para rodamientos con una hilera.

Rodamientos ajustados según la prescripción N11CA de FAG:

$$P_0 = F_r + Y_0 \cdot F_a \quad [\text{kN}]$$

Para F_r y F_a se toman las fuerzas que actúan sobre la pareja de rodamientos. El valor de Y_0 vale para la pareja de rodamientos.

Medidas auxiliares

En la página 123 se encuentra información general sobre las medidas auxiliares de estos rodamientos.

En las tablas se indican los valores máximos del radio r_g de la garganta y los diámetros de los resaltes.

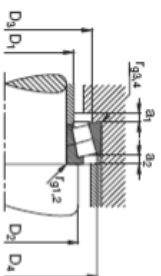
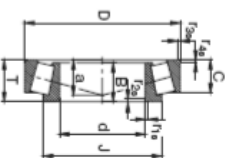
Durante el montaje de rodamientos de rodillos cónicos hay que tener en cuenta que la jaula sobresale lateralmente. Para prevenir el roce de la jaula con los apoyos se han de garantizar las distancias mínimas a_1 y a_2 que se muestran en las tablas

Sufijos

A	Diseño interno modificado
A...N11CA	Juego axial A en μm · dos rodamientos de rodillos cónicos en disposición en X con distanciadores en aro exterior
B	Ángulo de contacto aumentado
X	Dimensiones externas adaptadas a los estándares internacionales

Rodamientos FAG de rodillos cónicos

Los rodamientos pueden alcanzar una dirección de vida ilustrada si $C_0/P_{0.98}$, ver Pág. 41.



Eje	Dimensiones					Peso kg	Capacidad de carga din.	Factor de carga		Velocidad límite min ⁻¹	Velocidad de referencia	Denominación Rodamiento FAG	Medidas auxiliares														
	d	D	B	C	T			f_{gr} min	f_{gr} min				α	β	estático C ₀	estático Y ₀	D ₁ mm	D ₂ mm	D ₃ mm	D ₄ mm	α_1 min	α_2 min	f_{gr} max	f_{gr} max			
35	35	60	21	16	22,75	2	1,5	16	56,2	0,573	73,5	0,31	1,9	76,5	1,05	6500	30307A	T2EB035	45	44	70	71	74	3	4,5	2	1,5
	35	60	21	15	22,75	2	1,5	26	59,9	0,562	60	0,83	0,75	63,5	0,4	6000	31307A	T2EB035	44	44	62	71	76	4	7,5	2	1,5
	35	60	31	25	32,75	2	1,5	20	59,2	0,741	100	0,31	1,9	114	1,05	6500	32307A	T2EB035	44	44	66	71	74	4	7,5	2	1,5
	35	60	31	25	32,75	2	1,5	25	59,8	0,802	90,5	0,55	1,1	118	0,6	6000	32307B	T2EB035	42	44	61	71	76	4	7,5	2	1,5
	35	60	31	25	32,75	2	1,5	25	59,8	0,802	90,5	0,55	1,1	118	0,6	6000	32307C	T2EB035	42	44	61	71	76	4	7,5	2	1,5
40	40	65	19	14,5	19	1	1,5	15	55	0,312	54	0,38	1,58	71	0,87	10000	32008XA	T3CB040	45	46	60	60	62	4	4,5	1	1
	40	75	26	20,5	26	1,5	1,5	18	58,7	0,546	80	0,36	1,69	104	0,93	9000	33108	T2CB040	47	47	65	68	71	4	5,5	1,5	1,5
	40	80	18	16	19,75	1,5	1,5	17	58,4	0,42	62	0,37	1,6	66	0,88	9000	30208A	T3CB040	49	47	69	73	74	3	3,5	1,5	1,5
	40	80	23	19	24,75	1,5	1,5	19	60	0,555	80	0,37	1,6	66	0,88	9000	32208A	T3CB040	48	47	66	73	75	3	5,5	1,5	1,5
	40	80	32	25	32	1,5	1,5	21	60,1	0,736	106	0,36	1,68	134	0,92	8500	33208	T2CB040	47	47	67	73	76	5	7	1,5	1,5
45	45	90	23	20	25,25	2	1,5	20	63,2	0,812	91,5	0,38	1,74	102	0,96	8000	30308A	T2EB045	53	49	77	81	83	3	5	2	1,5
	45	90	23	17	25,25	2	1,5	23	63,2	0,8	76,5	0,63	1,72	83	0,7	7500	31308A	T2EB045	51	49	71	81	88	4	8	2	1,5
	45	90	33	27	35,25	2	1,5	23	63,3	1,03	120	0,35	1,74	146	0,96	8000	32308A	T2EB045	50	49	73	81	82	4	8	2	1,5
	45	90	33	27	35,25	2	1,5	28	67	1,18	122	0,55	1,1	150	0,6	7500	32308B	T2EB045	50	49	69	81	85	4	8	2	1,5
	45	90	33	27	35,25	2	1,5	28	67	1,18	122	0,55	1,1	150	0,6	7500	32308C	T2EB045	50	49	69	81	85	4	8	2	1,5
45	45	75	20	15,5	20	1	1,5	17	62	0,329	61	0,39	1,53	66,5	0,84	9000	32009XA	T3CB045	51	51	67	69	72	4	4,5	1	1
	45	75	24	19	24	1	1,5	16	60,5	0,432	72	0,29	2,04	104	1,12	9000	33009	T2CB045	52	52	69	73	77	4	5,5	1,5	1,5
	45	80	26	20,5	26	1,5	1,5	19	63,8	0,526	85	0,38	1,57	116	0,89	8500	33109	T3CB045	52	52	69	73	77	4	5,5	1,5	1,5
	45	85	19	16	20,75	1,5	1,5	18	64	0,47	71	0,4	1,48	88	0,81	8000	30209A	T3CB045	54	52	74	78	80	3	4,5	1,5	1,5
	45	85	23	19	24,75	1,5	1,5	20	64,8	0,57	83	0,4	1,48	100	0,81	8000	32209A	T3CB045	53	52	73	78	80	3	5,5	1,5	1,5
50	45	85	32	25	32	1,5	1,5	22	66,2	0,895	108	0,39	1,56	146	0,89	8000	33209	T3CB045	52	52	72	78	81	5	7	1,5	1,5
	45	95	29,5	20	29	2,5	2,5	33	79,8	0,933	90	0,87	0,69	110	0,98	7000	33309A	T2EB045	53	59	71	83	91	5	9	2,5	2,5
	45	100	25	22	27,25	2	1,5	21	70,7	1	112	0,38	1,74	137	0,98	7000	30309A	T2EB045	50	54	64	66	61	5	5	2	1,5
	45	100	25	16	27,25	2	1,5	22	75,6	0,998	96,5	0,85	0,72	110	0,84	6700	31309A	T2EB045	56	54	79	81	85	4	8	2	1,5
	45	100	36	30	36,25	2	1,5	25	71,1	1,43	156	0,35	1,74	183	0,99	7000	32309A	T2EB045	56	54	62	81	83	4	8	2	1,5
50	45	100	36	30	36,25	2	1,5	30	74,2	1,48	148	0,55	1,1	190	0,6	7000	32309B	T2EB045	55	54	75	81	84	5	8	2	1,5
	50	80	20	15,5	20	1	1,5	16	67,5	0,396	64	0,42	1,42	65	0,78	9000	32010X	T3CB050	56	56	72	74	77	4	4,5	1	1
	50	80	24	19	24	1	1,5	17	65,8	0,47	75	0,32	1,9	114	1,04	9000	33010	T2CB050	56	56	72	74	78	4	6	1,5	1,5
	50	85	26	20	26	1,5	1,5	20	69,1	0,604	86,5	0,41	1,46	122	0,8	7500	33110	T3CB050	56	57	74	78	82	4	6	1,5	1,5
	50	90	20	17	21,75	1,5	1,5	20	68,8	0,543	80	0,42	1,43	96,5	0,79	7500	30210A	T3CB050	58	57	79	83	85	3	4,5	1,5	1,5
50	50	90	23	19	24,75	1,5	1,5	21	70	0,602	88	0,41	1,43	110	0,84	7500	32210A	T3CB050	58	57	78	83	85	3	5,5	1,5	1,5
	50	90	32	24,5	32	1,5	1,5	23	71,8	0,971	114	0,41	1,43	163	0,8	7000	33210	T3CB050	57	57	77	83	87	5	7,5	1,5	1,5
	50	108	29	22	32	3	3	36	81,3	1,21	108	0,87	0,69	137	0,98	6300	33309A	T2EB050	59	65	78	91	100	5	10	3	3
	50	110	27	22	29,25	2,5	2,5	33	77,6	1,38	132	0,38	1,74	150	0,96	6300	30310A	T2EB050	58	60	85	100	102	4	6	2,5	2,5
	50	110	27	19	29,25	2,5	2,5	32	81,4	1,28	132	0,83	0,72	127	0,94	6300	31310A	T2EB050	62	60	87	100	104	4	10	2,5	2,5

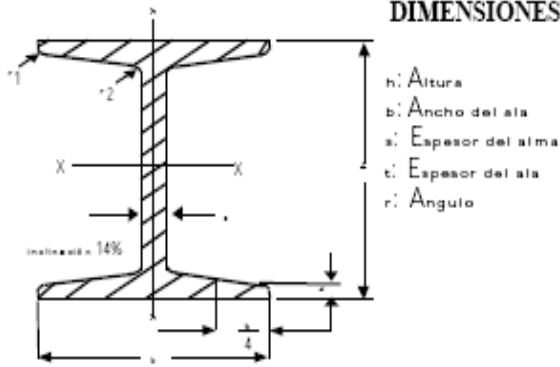
ANEXO E. DIMENSIONES PARA LAS VIGAS IPN

HIERROBECO, C.A.

CATALOGO DE PRODUCTOS



VIGAS IPN



DIMENSIONES

h: Altura
b: Ancho del ala
s: Espesor del alma
t: Espesor del ala
r: Angulo

MOMENTO RESPECTO A LOS EJES

I = Momento de Inercia.
S = Momento de Resistencia
R = Radio de Inercia, siempre referido al eje De reflexión correspondiente.

Longitud de 12 metros

Calidad ⇒ COVENIN 1149:2005
⇒ ASTM - A - 36.
⇒ ST - 37 - 2.

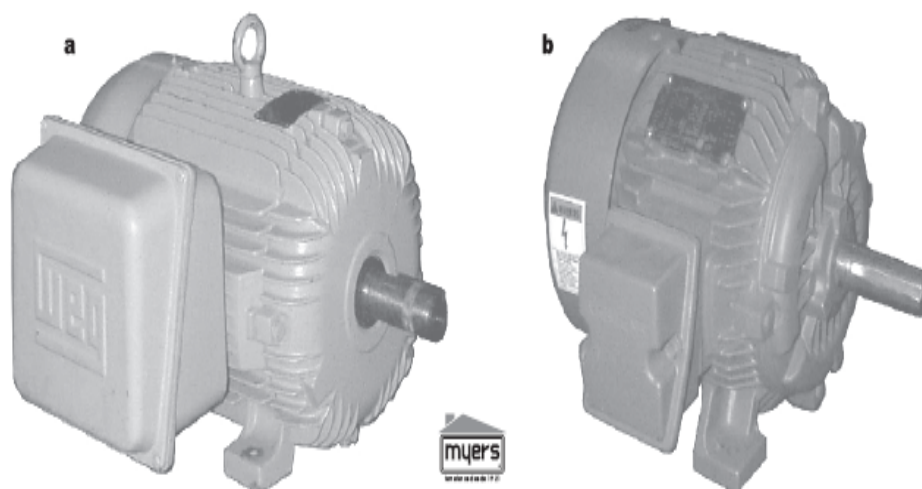
✓ NACIONALES.

IPN (I)	DIMENSIONES (mm)						AREA cm ²	PESO kg/m	MOMENTO RESPECTO A LOS EJES					
									EJE X - X			EJE Y - Y		
	h	b	s	t	r ₁	r ₂			I _x cm ⁴	S _x cm ³	R _x cm	I _y cm ⁴	S _y cm ³	R _y cm
60	60	3.6	5.3	-	-	-	5.35	4.2	30.4	10.1	2.38	3.04	1.79	0.75
80	80	4.2	4.2	5.9	3.9	2.3	7.77	6.10	78.40	19.6	3.18	6.29	2.99	0.90
100	100	5.0	4.5	6.8	4.5	2.7	10.60	8.34	171.00	34.2	4.01	12.2	4.88	1.07
120	120	5.8	5.1	7.7	5.1	3.1	14.20	11.10	328.00	54.7	4.81	21.5	7.41	1.23
140	140	6.6	5.7	8.6	5.7	3.4	18.20	14.30	573.00	81.9	5.61	35.2	10.7	1.40

✓ IMPORTADAS.

160	160	7.4	6.3	9.5	6.3	3.8	22.8	17.90	935.0	117.0	6.40	54.70	14.80	1.55
180	180	8.2	6.9	10.4	6.9	4.1	27.9	21.90	1450.0	161.0	7.20	81.30	19.80	1.71
200	200	9.0	7.5	11.3	7.5	4.5	33.4	26.20	2140.0	214.0	8.00	117.00	26.00	1.87
220	220	9.8	8.1	12.2	8.1	4.9	39.5	31.10	3060.0	278.0	8.80	162.00	33.10	2.02
240	240	10.6	8.7	13.1	8.7	5.2	46.1	36.20	4250.0	354.0	9.59	221.00	41.70	2.20
260	260	11.3	9.4	14.1	9.4	5.6	53.3	41.90	5740.0	442.0	10.40	288.00	51.00	2.32
280	280	11.9	10.1	15.2	10.1	6.1	61.0	47.90	7590.0	542.0	11.10	364.00	61.20	2.45
300	300	12.5	10.8	16.2	10.8	6.5	69.0	54.20	9800.0	653.0	11.90	451.00	72.20	2.56
320	320	13.1	11.5	17.3	11.5	6.9	77.7	61.00	12510.0	782.0	12.70	555.00	84.70	2.67
340	340	13.7	12.2	18.3	12.2	7.3	86.7	68.00	15700.0	923.0	13.50	674.00	98.40	2.80
360	360	14.3	13.0	19.5	13.0	7.8	97.0	76.10	19610.0	1090.0	14.20	818.00	114.00	2.90
380	380	14.9	13.7	20.5	13.7	8.2	107.0	84.00	24010.0	1260.0	15.00	975.00	131.00	3.02
400	400	15.5	14.4	21.6	14.4	8.6	118.0	92.40	29210.0	1460.0	15.70	1160.00	149.00	3.13
425	425	16.3	15.3	23.0	15.3	9.2	132.0	104.00	36970.0	1740.0	16.70	1440.00	176.00	3.30
450	450	17.0	16.2	24.3	16.2	9.7	147.0	115.00	45850.0	2040.0	17.70	1730.00	203.00	3.43
475	475	17.8	17.1	25.6	17.1	10.3	163.0	128.00	56480.0	2380.0	18.60	2090.00	235.00	3.60
500	500	18.5	18.0	27.0	18.0	10.8	179.0	141.00	68740.0	2750.0	19.60	2480.00	268.00	3.72
550	550	20.0	19.0	30.0	19.0	11.9	212.0	166.00	99180.0	3610.0	21.60	3490.00	349.00	4.02
600	600	21.5	21.6	32.4	21.6	13.0	254.0	199.00	139000.0	4630.0	23.40	4670.00	434.00	4.30

ANEXO F. TABLA DE MOTORES TRIFASICOS COMERCIALES



motores Weg y Siemens

	CODIGO MYERS	MODELO FABRICANTE	H.P.	POLOS	R.P.M.	ARMAZON	VOLTIOS	MARCA
a	46830	WT4ET01001	1	4	1750	D56	220/440	Weg
a	46840	WT4ET0150	1.5	4	1750	D56	220/440	Weg
a	46850	WT4ET0200	2	4	1750	F56	220/440	Weg
b	46860	ST4ET0300	3	4	1750	182T	220/440	Siemens
b	46870	ST4ET0500	5	4	1750	184T	220/440	Siemens
b	46880	ST4ET0750	7.5	4	1750	213T	220/440	Siemens
b	46890	ST4ET1000	10	4	1750	215T	220/440	Siemens
a	4689002	WT4ET1500	15	4	1750	254T	220/440	Weg
a	4689006	WT4ET2500	25	4	1750	284T	220/440	Weg
a	4689008	WT4ET3000	30	4	1750	286T	220/440	Weg
a	4689010	WT4ET4000	40	4	1750	324T	220/440	Weg
a	4689012	WT4ET5000	50	4	1750	326T	220/440	Weg
a	4689014	WT4ET6000	60	4	1750	364T	220/440	Weg
a	4689016	WT4ET7500	75	4	1750	365T	220/440	Weg

ANEXO G. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL CÁLCULO DE LAS BANDAS TOMADAS DEL LIBRO DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS DE Robert L. Mott.

FIGURA 7-9 Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta (Dayco Corp., Dayton, OH)

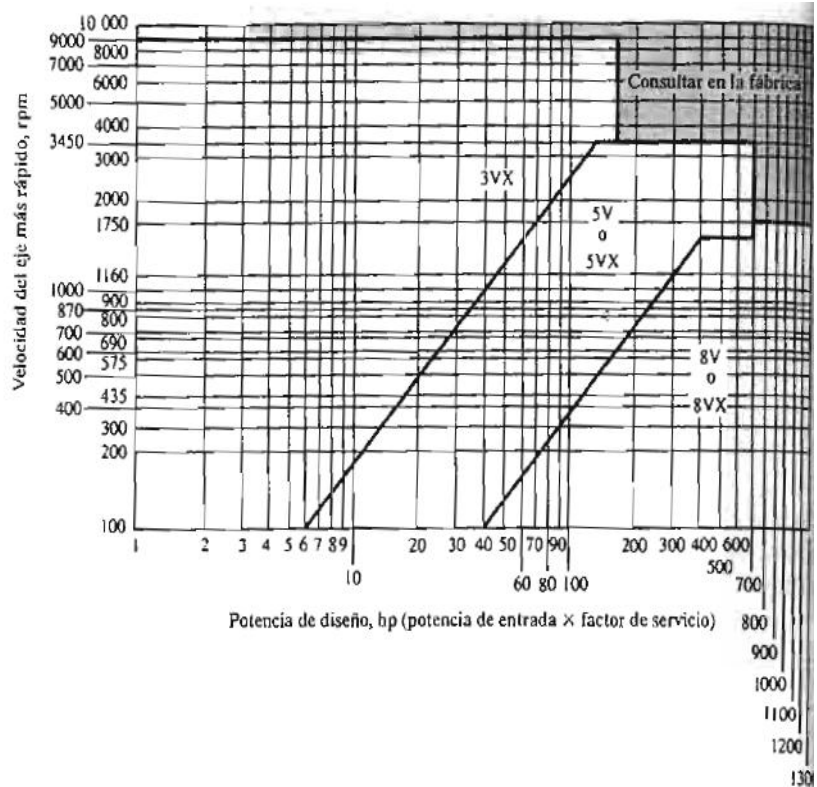


TABLA 7-1 Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ² Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional Motores de CD: bobinado en serie bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, maticates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

¹Síncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.
²Monofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

Capacidades: bandas 3V

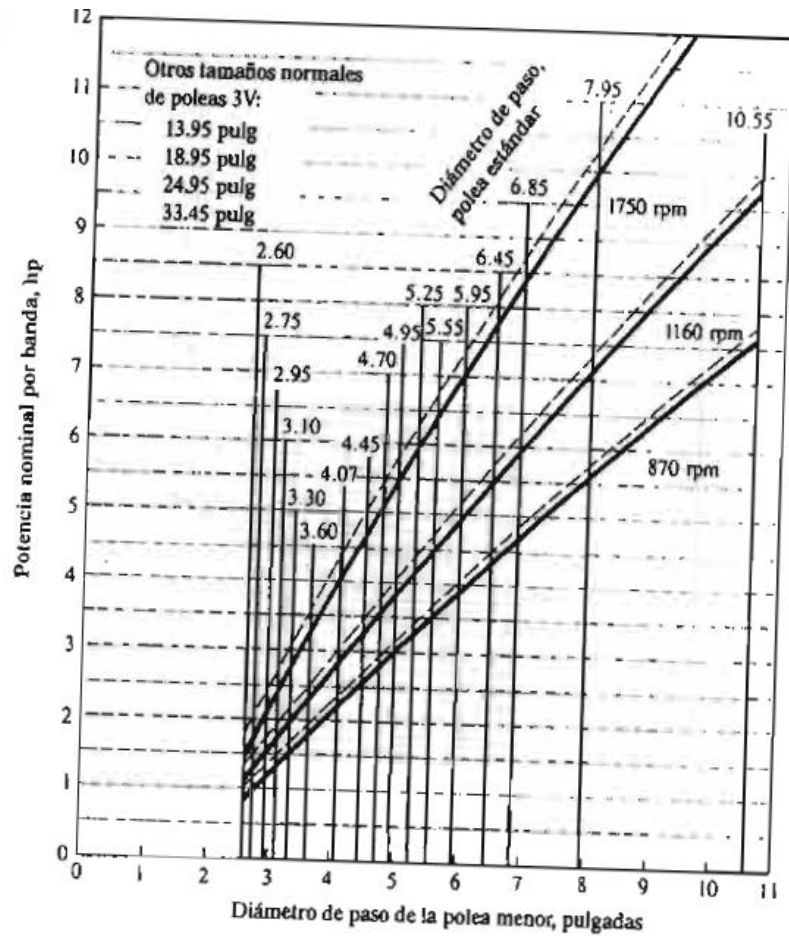


TABLA 7-3 Tamaños tentativos de poleas para el problema ejemplo 7-1

Tamaño estándar de la polea motriz, D_1	Tamaño aproximado de la polea conducida ($1.72 D_1$)	Polea estándar más cercana, D_2	Velocidad real de salida (rpm)
13.10	22.5	21.1	720
12.4	21.3	21.1	682
11.7	20.1	21.1	643
10.8	18.6	21.1	594
10.2	17.5	15.9	744
9.65	16.6	15.9	704
9.15	15.7	15.9	668
8.9	15.3	14.9	693

ANEXO H. TABLAS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOREDUCTOR TOMADAS DEL CATALOGO DE SEW EURODRIVE



Planificación de Proyectos para Reductores
Factor de servicio FS, factor de pico FF

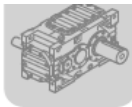
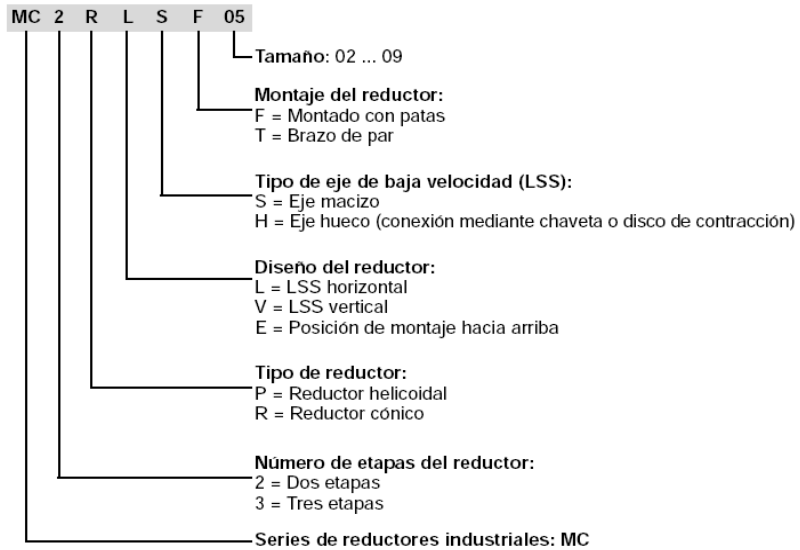
Campo de aplicación/industria	Máquina accionada	Factor de servicio periodo operativo / día		
		< 3 h	3-10 h	> 10 h
Agitadores y mezcladores	Agitadores para líquidos	1.00	1.25	1.50
	Agitadores para líquidos (densidad variable)	1.20	1.50	1.65
	Agitadores para sólidos (material no uniforme)	1.40	1.60	1.70
	Agitadores para sólidos (material uniforme)	-	1.35	1.40
	Mezcladores de cemento	-	1.50	1.50
Transportadores por cable	Transportador de materiales por cable	-	1.40	1.50
	Teleféricos	1	1)	1)
	Telesquís	1)	1)	1)
	Teleféricos de circulación continua	1)	1)	1)
	Funiculares	1)	1)	1)
Cintas transportadoras	Elevadores de cangilones	-	1.40	1.50
	Elevadores - otros tipos	-	1.50	1.80
	Cintas transportadoras ≤ 100 kW	1.15	1.25	1.40
	Cintas transportadoras > 100 kW	1.15	1.30	1.50
	Alimentadores de banda	-	1.25	1.50
	Alimentadores de tornillos	1.15	1.25	1.50
	Removedores, tamices	1.55	1.75	2.00
	Escaleras mecánicas	1.55	1.25	1.50
Compresores	Elevadores de pasajeros	1)	1)	1)
	Compresores alternativos	-	1.80	1.90
	Compresores centrífugos	-	1.40	1.50
Grúas y equipos de elevación	Compresores helicoidales	-	1.50	1.75
	Grúas y equipos de elevación	1)	2	2)
Energía	Convertidores de frecuencia	-	1.80	2.00
	Ruedas hidráulicas (baja velocidad)	-	-	1.70
	Turbinas hidráulicas	-	-	1)
Ventiladores	Intercambiadores de calor	1.50	1.50	1.50
	Torres de refrigeración en seco	-	-	2.00
	Torres de refrigeración húmeda	2.00	2.00	2.00
	Sopladores (axiales y radiales)	1.50	1.50	1.50
Industria alimentaria	Trituradoras y molinos	-	-	1.75
	Rebanadora de remolacha	-	1.25	1.50
	Tambores de secado	-	1.25	1.50
laminación	Bobinadoras	-	1.60	1.75
	Cortadoras	1.55	1.75	2.00
	Mesa transportadora, accionamientos individuales	1)	1)	1)
	Mesa transportadora, accionamientos en grupo	1)	1)	1)
	Mesa transportadora reversible	1)	1)	1)
	Máquinas de tracción de cable	1.35	1.50	1.75
	Aplanadoras	1)	1)	1)

Descripción de los productos y descripción general de los tipos
Denominación de modelos de reductores



2.3 Denominación de modelos de reductores

Ejemplo de denominación de modelo



Helical Gear Units
Selection tables (detailed) MC.PV..

10.2 Selection tables (detailed) MC.PV..

10.2.1 MC.PV.., $n_1 = 1800$ 1/min

MC.PV..02, $n_1 = 1800$ 1/min					P_{TH}				8.0 kNm						
i_N	i_{ex}	n_2	M_{N2}	P_{N1}		$P_{TH[20]}$	$P_{TH[40]}$	$P_{TH[20]}$	$P_{TH[40]}$						
		[1/min]	[kNm]	[kW]		20 °C	40 °C	20 °C	40 °C						
7.10	7.07	255	6.9	189	MC2PVSF02 MC2PVHF02 MC2PVHT02	36	*)	100	60	68	72	76	80	112	144
8.00	8.18	220	7.1	170		38	*)	103	63						
9.00	9.18	196	7.4	156		40	18	105	65						
10.00	9.83	183	7.5	148		41	19	106	66						
11.20	11.37	158	8.0	136		43	21	108	68						
12.50	12.31	146	7.9	124		44	22	109	69						
14.00	14.24	126	8.0	109		46	24	111	71						
16.00	15.98	113	7.5	91		36	14	93	53						
18.00	17.88	101	7.5	82		38	16	94	54						
20.00	20.24	89	7.0	67		39	17	96	56						
22.50	22.30	81	8.3	73	MC3PVSF02 MC3PVHF02 MC3PVHT02	37	20	87	56	68	72	76	96	128	145
25.00	25.79	70	7.9	60		38	21	88	58						
28.00	28.95	62	7.4	50		39	22	89	59						
31.50	32.31	56	8.0	49		40	23	90	60						
35.50	36.27	50	7.5	41		41	24	91	61						
40.00	38.89	46	8.5	43		41	25	92	61						
45.00	44.97	40	8.1	35		42	26	93	62						
50.00	50.47	36	7.5	29		43	27	94	63						
56.00	56.34	32	8.1	28		44	27	95	64						
63.00	63.23	28	7.6	24		45	28	95	65						
71.00	71.20	25	8.1	22	37	20	81	50							
80.00	79.91	23	7.7	19	38	21	82	51							
90.00	90.45	20	7.1	15.3	39	22	82	52							
100.00	95.36	19	7.7	15.9	39	22	83	52							
112.00	107.94	17	7.1	13.0	40	23	83	53							

ANEXO I. TABLAS Y GRAFICAS PARA EL CÁLCULO DE ENGRANAJES CONICOS RECTOS TOMADOS DEL LIBRO DISEÑO DE ELEMENTOS MECANICOS FAIRES

TABLA 15.2 COEFICIENTES DE SERVICIO N_{sf} , ENGRANAJES CÓNICOS
 Para transmisiones multiplicadoras de velocidad, sumar $0,01 m_g^2$ a los coeficientes indicados [15.3].
 Los ejemplos del carácter de carga que se indican son solamente indicativos. Véase también § 13.18.

FUENTE DE POTENCIA	UNIFORME (<i>máquinas centrifugas, transportador de correa</i>)	CHOQUE MODERADO (<i>Ventiladores de lóbulos, bombas de varios cilindros, máquinas herramientas</i>)	CHOQUE FUERTE (<i>Trituradoras de mineral, compresor monocilindro, prensa punzonadora</i>)
Uniforme (motor eléctrico, turbina).	1,00	1,25	1,75 +
Choque ligero (motores de combustión interna de varios cilindros).	1,25	1,50	2,00 +
Choque medio (MCI monocilíndricos).	1,5	1,75	2,25 +

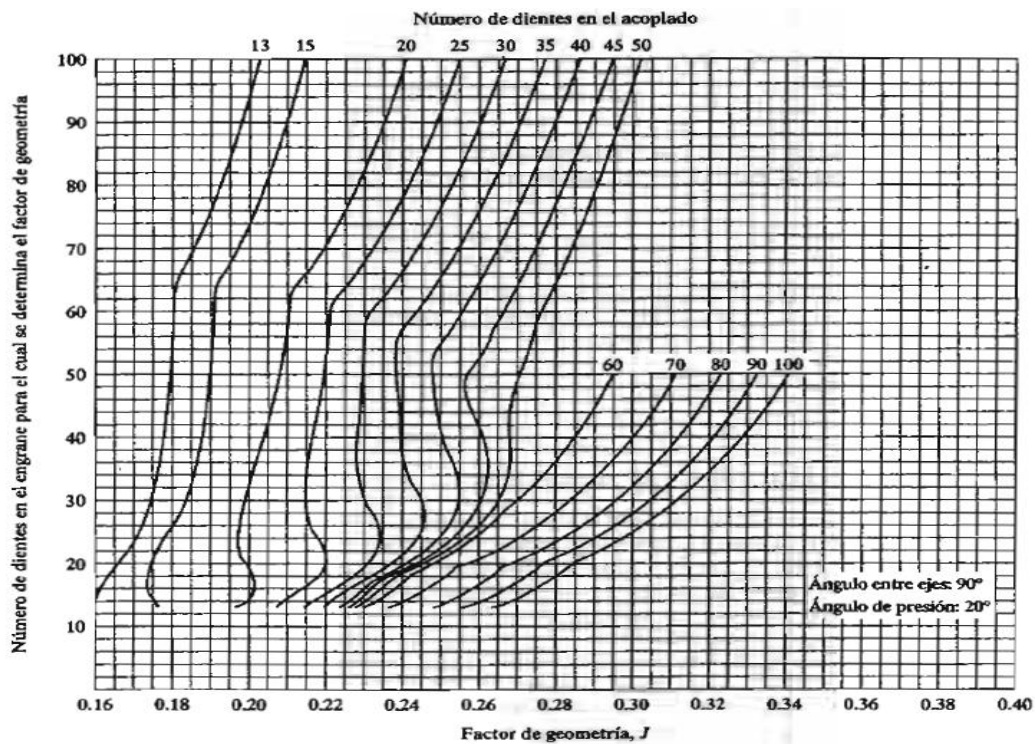


FIGURA 10-13 Factor de geometría, J , para engranes cónicos rectos con ángulo de presión de 20° y radio de borde de engrane igual a $0.120/P_d$ (Tomado de AGMA 6010-F97, *Standard for Spur, Helical, Herringbone and Bevel Enclosed Drives* con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314)

FIGURA 10-14
Factores de geometría para engranes cónicos con dientes rectos y ZEROL® (Tomado de AGMA 2003-A86, *Rating the Pitting Resistance and Bending Strength of Generated Straight Bevel, ZEROL® Bevel and Spiral Bevel Gear Teeth*, con autorización del editor, American Gear Manufacturers Association, 1500 King Street, Suite 201, Alexandria, VA 22314)

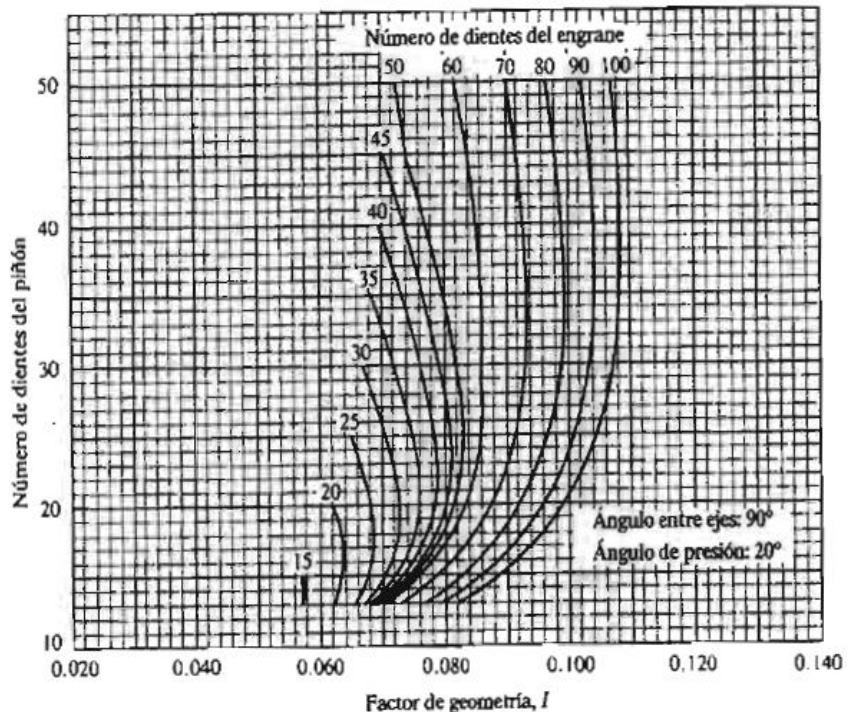


TABLA 15.3 ESFUERZOS DE CONTACTO DE CÁLCULO, s_{cd}

Para engranajes cónicos; los valores de BHN son mínimos.
Reducir s_{cd} en 10 % a no ser que la fabricación y los materiales sean de la más alta calidad [13-1, 13-34, 15-1].

MATERIAL (BHN)	s_{cd} kg/cm ²	Para ecuación (15.4) s_{cd}^2 (kg/cm ²)	s_{cd} ksi	Para ecuación (15.4) s_{cd}^2 (ksi) ²
Acero (180)	6 680	$44,6 \times 10^6$	95	9 025
Acero (240)	8 085	$65,3 \times 10^6$	115	13 200
Acero (300)	9 490	$90,0 \times 10^6$	135	18 200
Acero (360)	11 250	$126,5 \times 10^6$	160	25 600
Acero (400)	13 350	$178,2 \times 10^6$	190	36 100
Acero (500)	13 350	$178,2 \times 10^6$	190	36 100
Acero (625) cementado	15 810	$249,9 \times 10^6$	225	50 625
Hierro fundido, 20	2 110	$4,45 \times 10^6$	30	900
Hierro fundido, 30 (175)	3 515	$12,35 \times 10^6$	50	2 500
Hierro fundido, 40 (200)	4 570	$20,88 \times 10^6$	65	4 230
Bronce (10-12 % estaño)	2 110	$4,45 \times 10^6$	30	900
Bonce al aluminio, tratamiento térmico	4 570	$20,88 \times 10^6$	65	4 230
Hierro nodular (utilizar 0,9 × valor acero mismo BHN).				

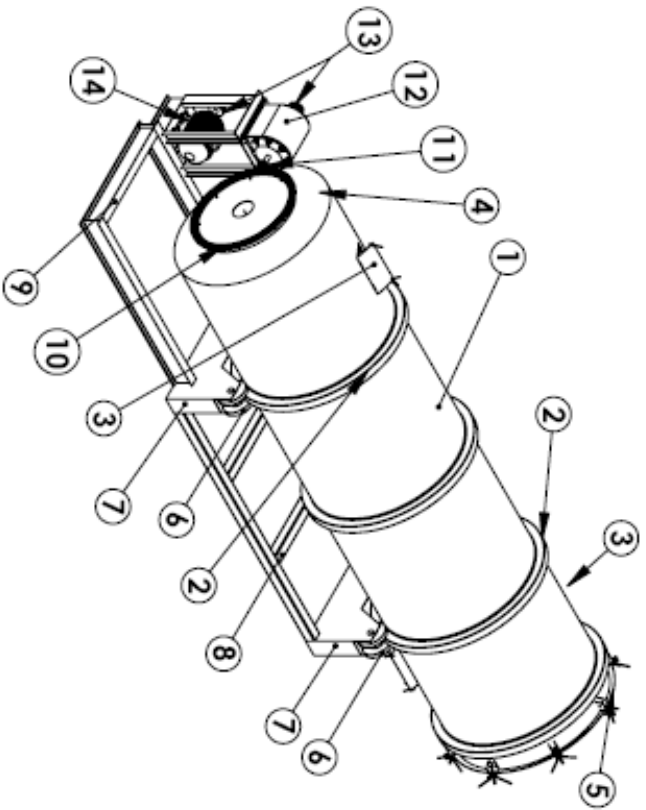
TABLA 15.4 COEFICIENTES ELÁSTICOS

Para engranajes cónicos. Los valores de E usados son: acero 2 109 000 kg/cm² (o bien 3×10^4 ksi), hierro fundido 1 335 000 kg/cm² (o bien $1,9 \times 10^4$ ksi), bronce al aluminio 1 230 300 kg/cm² (o bien $1,75 \times 10^4$ ksi), bronce al estaño 1 124 000 kg/cm² (o bien $1,6 \times 10^4$ ksi).

COMBINACIONES DE MATERIAL	C_e (kg/cm ²) ^{1/2}	Para ecuación (15.4) C_e^2 kg/cm ²	C_e (psi) ^{1/2}	Para ecuación (15.4') C_e^2 ksi
Acero y				
Acero	23 480	551×10^6	2800	7840
Hierro fundido	20 518	421×10^6	2450	6000
Bronce al aluminio.	20 120	405×10^6	2400	5760
Bronce al estaño.	19 710	388×10^6	2350	5530
Hierro fundido y				
Hierro fundido	18 850	355×10^6	2250	5060
Bronce al aluminio.	18 445	340×10^6	2200	4840
Bronce al estaño.	18 020	324×10^6	2150	4620
Bronce al aluminio y				
Bronce al aluminio.	18 020	324×10^6	2150	4620
Bronce al estaño.	17 606	310×10^6	2100	4410

ANEXO J. PLANOS DEL TANQUE DIGESTOR

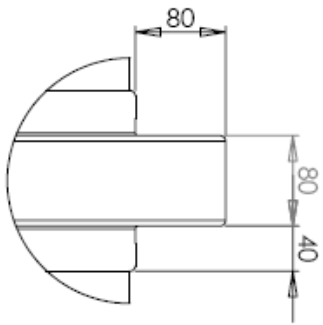
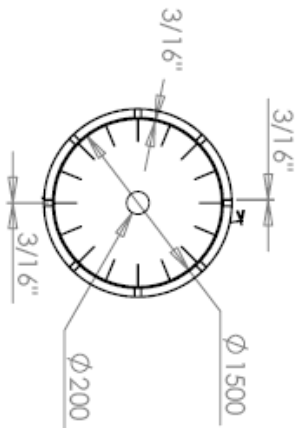
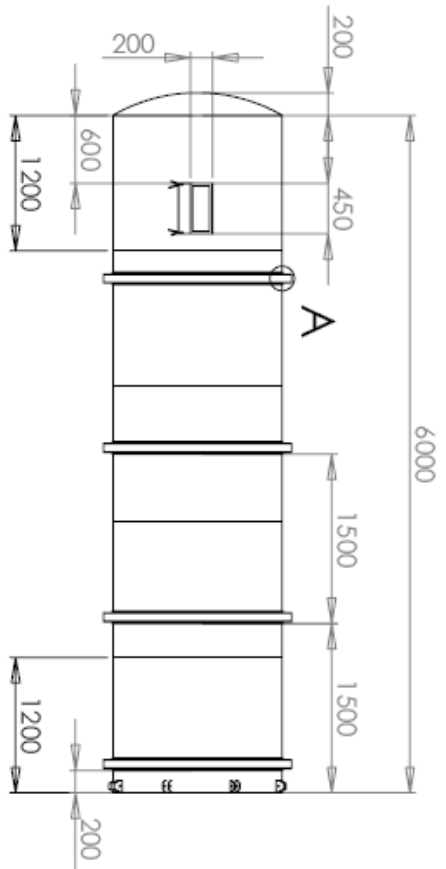
VISTA GENERAL DEL TANQUE DIGESTOR



Partes Generales del Tanque Digestor

NUMERO	NOMBRE
1	Envolvente del tanque
2	Anillos de rotación
3	Compuertas de inspección
4	Tapa de carga
5	Tapa de descarga
6	Masas de rotación
7	Base del bastidor
8	Marco basidor perfil cuadrado 4"
9	Estructura soporte perfil IPN 200
10	Corona
11	Piñón
12	Reductor coaxial 32.3:1:1
13	Poleas
14	Motor eléctrico

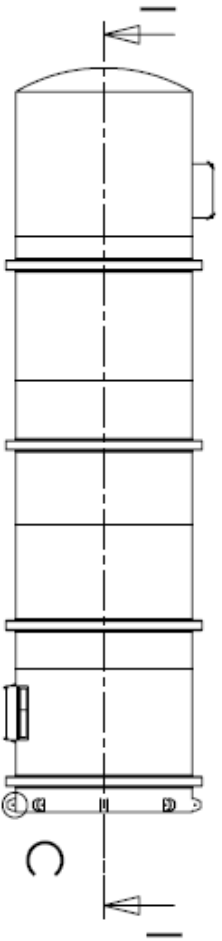
FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO	MAR ORGUNI/MAKER/CELS		
REVISO	MIG. ROMALDO NIÑO		
NOMBRE DE PIEZA	TANQUE DIGESTOR Y PIEZAS	NOMBRE DEL PROYECTO	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST
ESCALA	1:50	PLANO:	1 DE 14
		MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE
		UNIDADES:	MILIMETROS



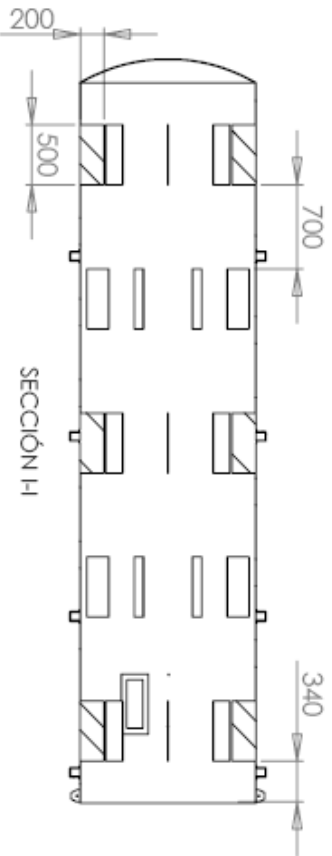
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO	TANQUE DE TANKER C.B.S		
REVISO	ING. RONALDO NIÑO	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: 2 DE 14
NOMBRE DE PIEZA	ENVOLVENTE TANQUE Y ANILLOS DE ROTACION	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST	MA. BERRA CORPORACION S.A.S.
ESCALA	1:50	UNIDADES	MILIMETROS

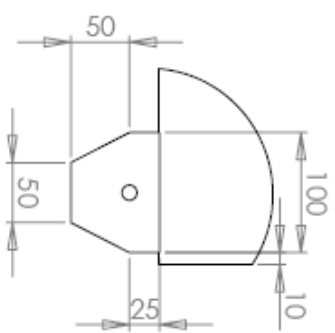
VISTA LATERAL DE LA ENVOLVENTE DEL DIGESTOR



SECCIÓN TRANSVERSAL ENVOLVENTE DEL DIGESTOR



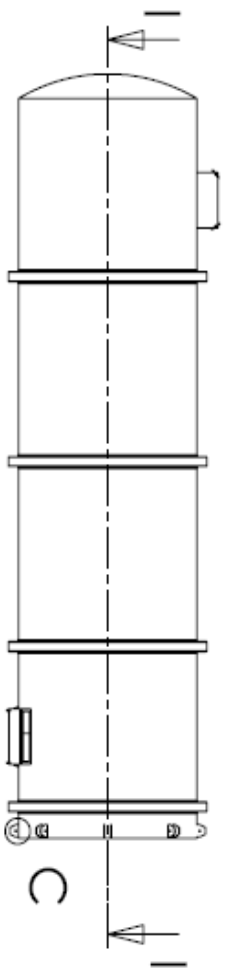
**APOYOS PARA
SUJECIÓN TAPA DESCARGA**



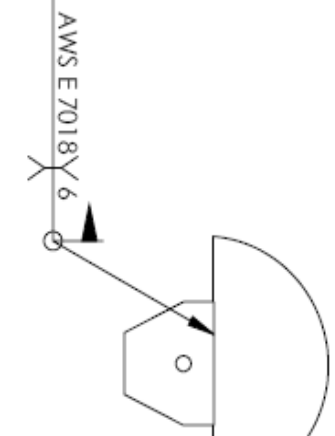
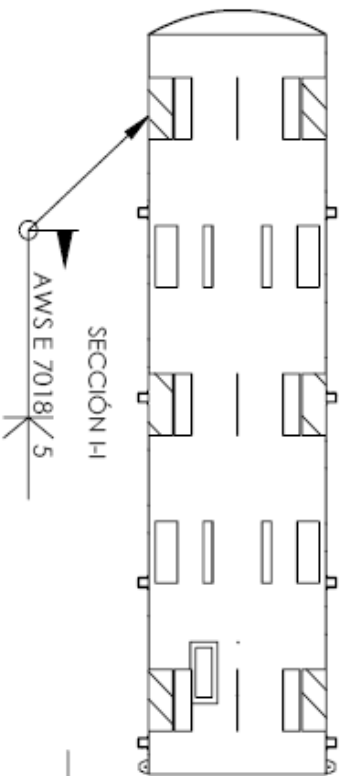
DETALLE C
ESCALA 1:5

FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO	IVAN ORDOZ/MILNER C.B.S		
REVISO	ING. ROMULO NIÑO	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: 3DE 14
NOMBRE DE PIEZA	SECCION TRANSVERSAL TANQUE Y APORTOS TAPA DESCARGA	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST	MATERIAL LÓMINA A3 (297x420) UNIDADES: MILIMETROS
ESCALA	1:30		

VISTA LATERAL DE LA ENVOLVENTE DEL DIGESTOR



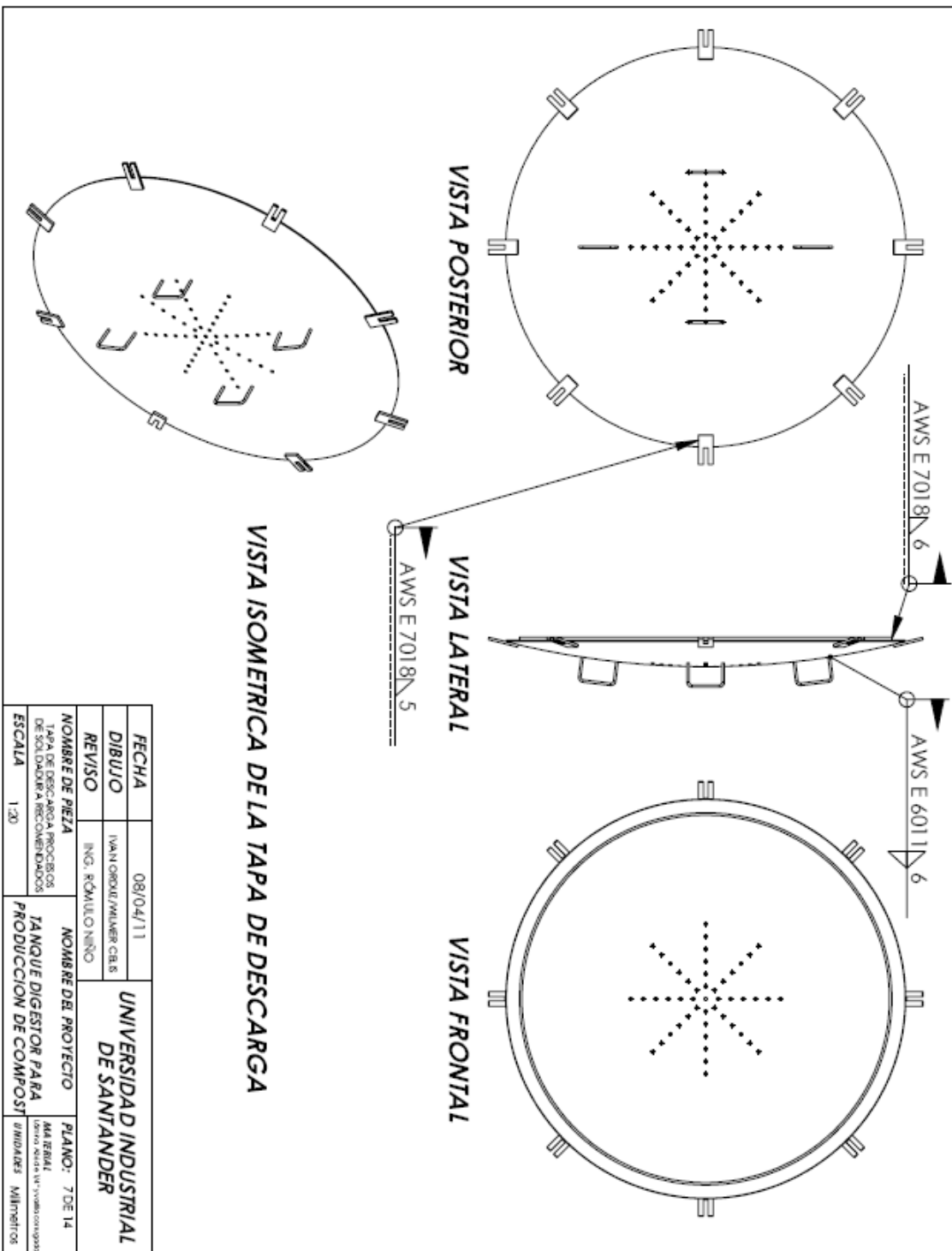
SECCIÓN TRANSVERSAL ENVOLVENTE DEL DIGESTOR



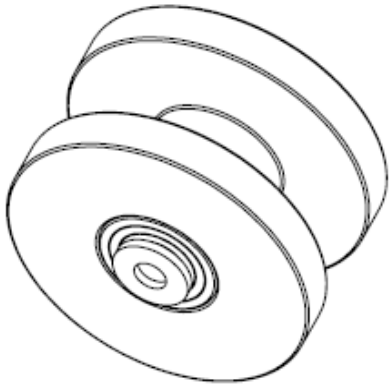
**APOYOS TORNILLOS
SUJECIÓN TAPA DESCARGA**

DETALLE C
ESCALA 1 : 5

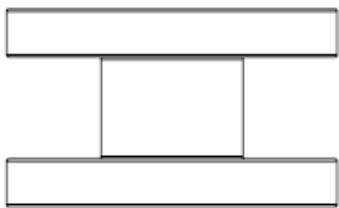
FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIBUJO	IVAN GONZALEZ PALMER CARRERAS	
REVISO	ING. ROMULO NIÑO	
NOMBRE DE PIEZA	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: SDE 14
SECC. TANQUE Y TANQUE PROCESOS DE SOLDADURA RECOMENDADOS	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST	MATERIAL LINO 03.03.01.01
ESCALA	1:50	UNIDADES Milímetros



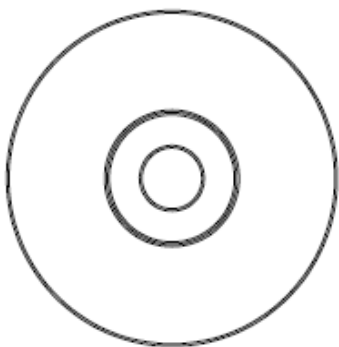
FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIBUJO	IVAN ORDOZ / MILNER C.B.S	
REVISO	ING. ROMULO NIÑO	
NOMBRE DE PIEZA	TAPA DE DESCARGA PROCESOS DE SOLIDADIA A RECOMENDADOS	NOMBRE DEL PROYECTO
ESCALA	1:20	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST
		PLANO: 7 DE 14
		MATERIAL: (mm) 304/316 V. 1/2" (mm) 1000
		UNIDADES: Milímetros



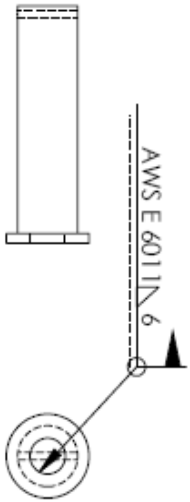
VISTA ISOMETRICA SUBENSAMBLE
MASAS DE ROTACION, Canti: 4



VISTA FRONTAL

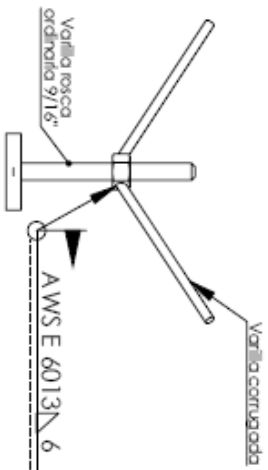


VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL
PASADOR

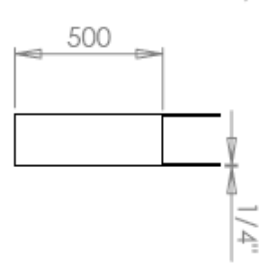
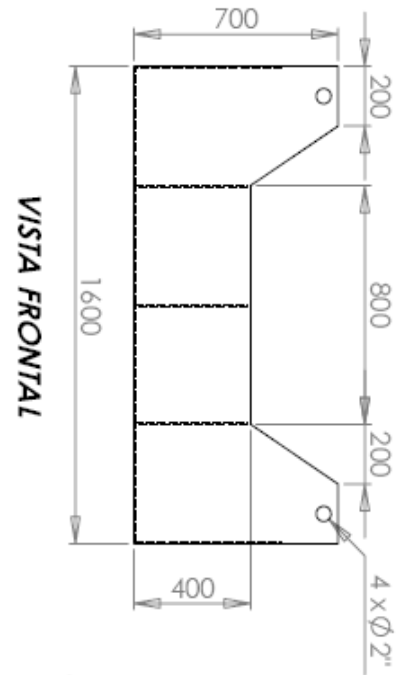
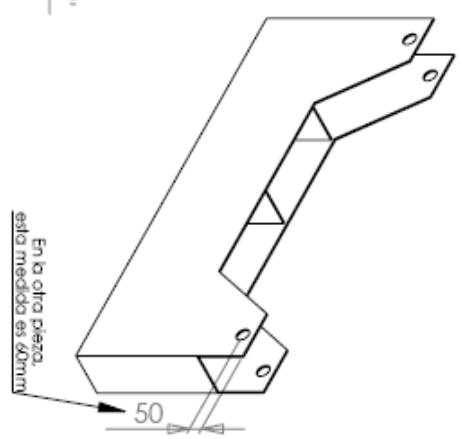
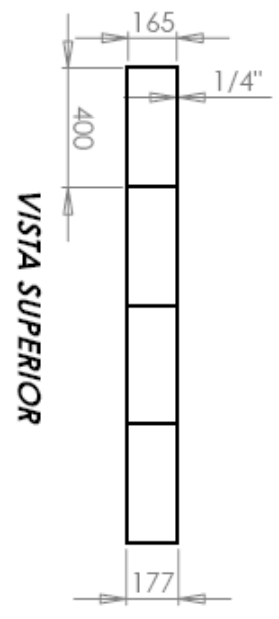
VISTA LATERAL
PASADOR



PERNO Y TUERCA SUJECIÓN
TAPA DE DESCARGA, Canti: 8

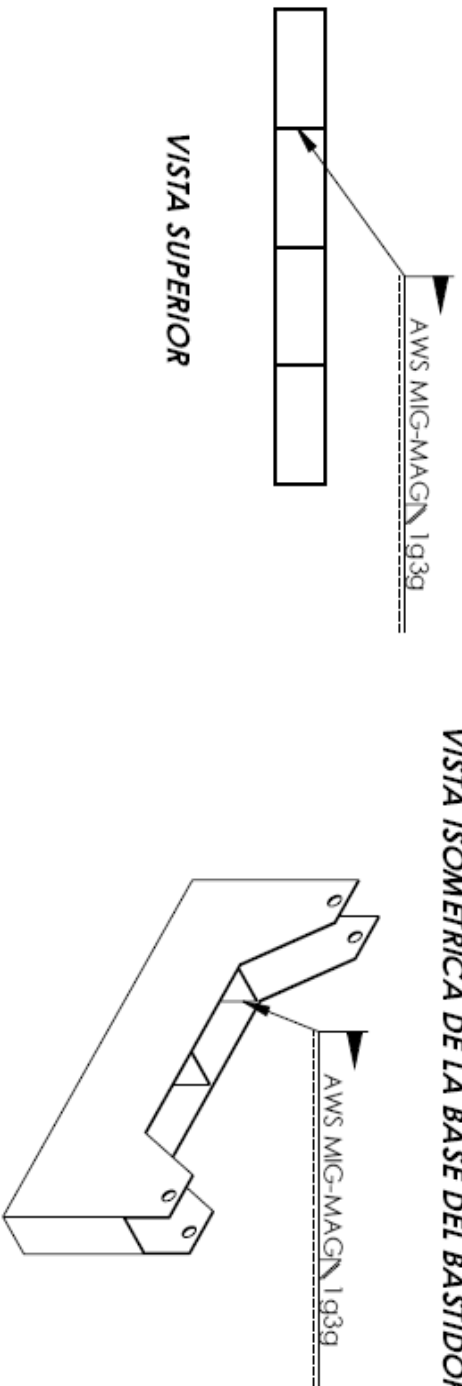
FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIBUJO	IVAN GONZALEZ PALMAREZ C.E.S	
REVISO	ING. RICARDO NIÑO	
NOMBRE DE PIEZA	MASAS DE ROTACION Y PERNOS DE SUJECCION TAPA DESCARGA, SOLDADURA	NOMBRE DEL PROYECTO
ESCALA	1:5	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST
		PLANO: 9 DE 14
		MATERIAL CANTIDAD Y UNIDADES DIMENSIONES MILIMÉTRICAS

VISTA ISOMETRICA DE LA BASE DEL BASTIDOR,
CANT: 2

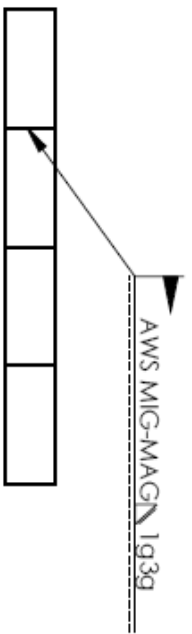


FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO	IVAN GOMEZ PALMER CALIS		
REVISO	ING. RICARDO NIÑO		
NOMBRE DE PIEZA	BASE DEL BASTIDOR	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: 10 DE 14
ESCALA	1:20	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST	MATERIAL: CHAPA NINGA 1/4" UNIDADES MILIMETROS

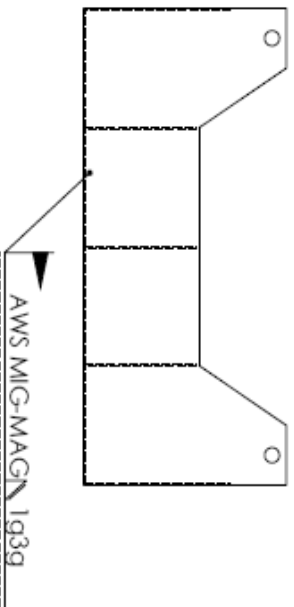
VISTA ISOMERICA DE LA BASE DEL BASTIDOR



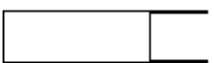
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

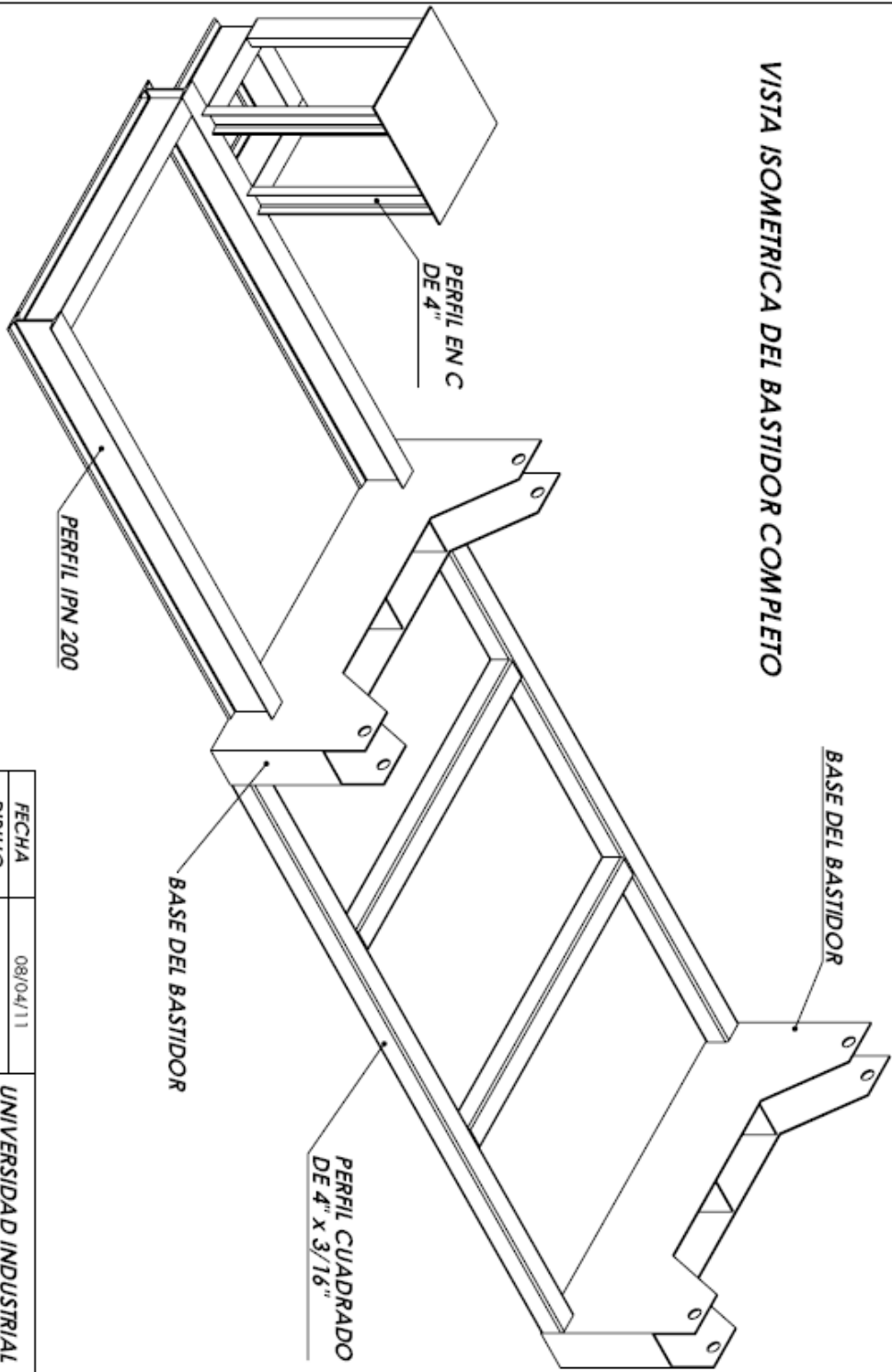


VISTA LATERAL

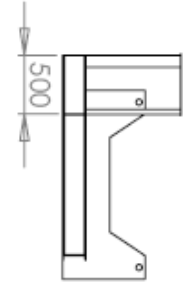


FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIBUJO	IVAN ORDOZ/PAULIER C.R.S	
REVISO	ING. ROMULO NIÑO	
NOMBRE DE PIEZA	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: 11 DE 14
BASE DEL BASTIDOR PROCESO DE SOLDADURA RECOMENDADO		MATERIAL CORTO QUENA 1/4"
ESCALA	1:20	PRODUCCION DE COMPOST DIMENSIONES Milímetros

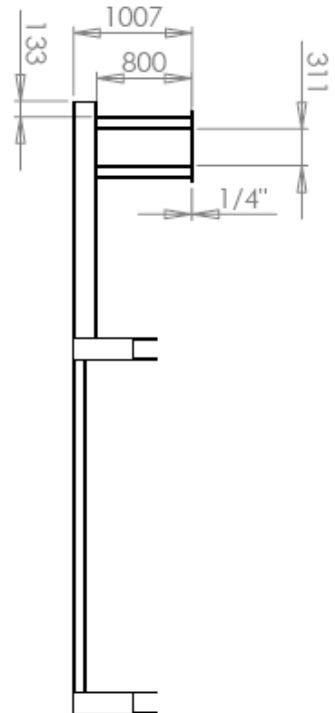
VISTA ISOMETRICA DEL BASTIDOR COMPLETO



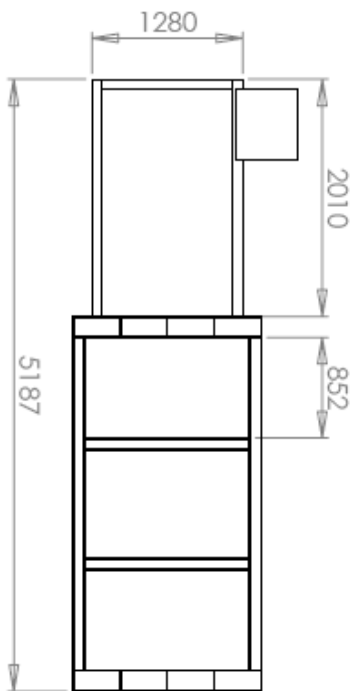
FECHA	08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO	IVAN ORLANDO PALMER GILIS		
REVISO	ING. RICARDO NIÑO		
NOMBRE DE PIEZA	BASTIDOR COMPLETO	NOMBRE DEL PROYECTO	PLANO: 12 DE 14
ESCALA	1:20	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST	AAA PERIL UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER UNIDADES MILIMETROS



VISTA FRONTAL DEL BASTIDOR



VISTA LATERAL DEL BASTIDOR



VISTA SUPERIOR DEL BASTIDOR

FECHA		08/04/11	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
DIBUJO		IVAN GONZALEZ PALMER C.A.S		
REVISO		ING. ROMULO NIÑO		
NOMBRE DE PIEZA		VISAS BASTIDOR COMPLETO	NOMBRE DEL PROYECTO	TANQUE DIGESTOR PARA PRODUCCION DE COMPOST
ESCALA		1:20	PLANO:	13 DE 14
			<small>MAESTRAL OFICINA DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO BARRIO LAS BRUNAS - MANIZALES</small>	

