



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD DE SIEMBRA Y DE FERTILIZACIÓN DE DOSIS VARIABLE

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA
ORIENTACIÓN MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA:

ING. BENITO DÍAZ RUIZ

DIRECTOR:

Dr©. NOEL CHÁVEZ AGUILERA

Chapingo, Estado de México, Diciembre 2013.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD DE SIEMBRA Y DE FERTILIZACIÓN DE DOSIS VARIABLE

Tesis realizada por el Ing. Benito Díaz Ruiz bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA ORIENTACIÓN
MECANIZACIÓN AGRÍCOLA

DIRECTOR:



Dr©. Noel Chávez Aguilera

ASESOR:



M. I. Pedro Cruz Meza.

ASESOR:



M. I. Pedro R. Mayans Céspedes.

ASESOR.:



Dr. Eugenio Romantchik Kriuchcova.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado durante la realización del presente trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la formación personal y profesional.

A mis compañeros, profesores y al personal del Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua porque sin sus comentarios, críticas y orientaciones no sería posible culminar este trabajo.

Al departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, en particular al Dr. Noel Chávez Aguilera; M.I. Pedro Cruz Meza, M. I. Pedro Mayans Céspedes y al Dr. Eugenio Romantchik K. por su apoyo durante la elaboración, análisis, y corrección del presente.

A Dios, por expresarme una vez más que todo es posible y por hacerme ver que existe siempre una oportunidad en la vida.

A todos ellos Muchas Gracias. Benito Díaz...

DATOS BIOGRÁFICOS

Nace el 20 de enero de 1982 en la comunidad de Batsitetik, Larraínzar, perteneciente a la zona Altos del estado de Chiapas.

Realiza sus estudios de Preparatoria Agrícola y la Licenciatura en la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo el título de Ingeniero Mecánico Agrícola en 2009.

Sus áreas de trabajo son la mecanización, el diseño y la construcción de máquinas y obras agrícolas.

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA UNIDAD DE SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN DE DOSIS VARIABLE

DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF A SOWING UNIT AND VARIABLE RATE FERTILIZATION

Benito Díaz-Ruiz¹

Noel Chávez-Aguilera²

Resumen

En este estudio se diseñó y construyó un mecanismo dosificador variable de fertilizante tipo tornillo sinfín y un mecanismo dosificador de semilla tipo plato vertical alveolado. Cada mecanismo es accionado por un motor eléctrico de 12 V a 6 A. Se diseñó y construyó un sistema eléctrico para variar el voltaje de cada motor y con ello las rpm. Al variar las rpm de cada motor varía las rpm de ambos mecanismos, dosificador de fertilizante y dosificador de semilla. Un sistema neumático compuesto por un ventilador succionador que adhiere la semilla a los alveolos del plato dosificador a una fuerza de vacío de 10 pulgadas de columna de aguas, el ventilador es accionado por un motor hidráulico del tractor. Previo al diseño de los mecanismos dosificadores se determinó las propiedades físico-mecánicas del fertilizante y de la semilla de maíz (*Zea mays* L.). La capacidad de descarga del tornillo sinfín fue de 60 g por revolución y del plato dosificador de semillas fue de 18 semillas por revolución. Cuando el motor trabajó de 10 a 60 rpm el voltaje varió de 2.18 a 8.4 V, y la corriente eléctrica varió de 2.32 a 4.70 A respectivamente, la potencia desarrollada fue de 5.0 a 35.10 watts y del torque de 4.65 a 8.65 Nm, la descarga de fertilizante fue de 495 a 3796 gramos respectivamente. Mientras para el dosificador de semillas cuando el motor trabajó de 10 a 40 rpm el voltaje varió de 2.95 a 7.61 V, y la corriente eléctrica varió de 2.57 a 4.94 A respectivamente y la potencia desarrollada potencia fue de 7.57 a 37.57 watts y del torque de 7.23 a 11.30 Nm, la descarga de semillas fue de 187 a 582 semillas por minuto respectivamente.

Palabras claves: Dosificador variable, Voltaje, Corriente eléctrica, Tecnología para siembra y fertilización.

Abstract

An endless screw type variable dosage mechanism for fertilizing and a perforated vertical disc type seed dosage mechanism was designed and constructed in this study. Each mechanism is driven by a 12 V to 6 A electric motor. An electrical system to vary the voltage of each motor and thereby the rpm was designed and built. When the rpm of each engine varies the rpm of both mechanisms vary also, fertilizer dispenser and seed dispenser. A pneumatic system composed of a vacuum fan adheres the seed to the holes of the dosage disc, the suction force of 10 inches of water. The fan can be driven by a hydraulic motor or by the power take-off on the outside of the tractor. Prior to the design of the dosing mechanisms the physical-mechanical properties of the fertilizer and maize seed (*Zea mays* L.) were determined. The discharge capacity of the endless screw was 60 g per revolution and the seed dosage disc was 18 seeds per revolution. When the motor worked from 10 to 60 rpm the voltage varied from 2.18 to 8.4 V, and the power varied from 2.32 to 4.70 A respectively. When the power demand was 5.0 to 35.10 watts and that of the torque 4.65 to 8.65 Nm, the discharge of fertilizer was 495 to 3796 grams respectively. As to the seed dosage disc when the motor worked from 10 to 40 rpm the voltage varied from 2.95 to 7.61 V, and the power varied from 2.57 to 4.94 A respectively. When the power demand was 7.57 to 37.57 watts and that of the torque 7.23 to 11.30 Nm, the seed discharge was from 187 to 582 seeds per minute, respectively.

Keywords: Variable dosage disc, Voltage, Electricity, Technology for seeding and fertilizing.

¹Thesis author

² Thesis director

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
1. REVISIÓN DE LITERATURA.	1
1.1.- Métodos de siembra y plantío.....	1
1.2.- Exigencias agrotécnicas y tecnológicas generales para la siembra y distribución de fertilizantes..	2
1.3.- Factores para la siembra de precisión.....	5
1.4.- Sembradoras en hileras con dosificadores de semillas continuo y a intervalos.	6
1.5.- Elementos de trabajo de las sembradoras a golpes y monogranos.	7
1.5.1.- Tolva receptora.....	8
1.5.2.- Distribuidor.	8
1.5.3.- Elemento de apertura y cierre del surco.....	11
1.5.4.- Sistema de unión al bastidor.	11
1.6.- Elementos de la teoría y el cálculo de los principales dosificadores de semillas	12
1.7.- Máquinas distribuidoras de fertilizantes inorgánicos en hileras.	22
1.8.- Fundamentos teóricos y cálculo de los principales órganos distribuidores de fertilizantes.	24
1.9. La agricultura de precisión.....	30
1.10.- Motores de Corriente Directa.	34
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.1. Propiedades físico-mecánicas de las semillas y fertilizantes.....	37
2.2. Diseño de la unidad siembra y de fertilización.....	43
2.2.1. Diseño conceptual.....	44
2.2.2.- Diseño de detalles.	46
2.3.- Construcción del prototipo.	46
2.3.1.- Ruta de trabajo.	46
2.3.2.- Proceso de manufactura.	46
2.3.3.- Fabricación de los elementos.	47
2.3.4.- Ensamblaje.....	47
2.4.- Pruebas y evaluación.	47
2.4.1.- Definición de las variables de prueba y evaluación.	48
2.4.2.- Prueba del dosificador de fertilizantes.	48
2.4.2.- Prueba de dosificador de semillas.....	49

2.5.- Análisis de costos.	50
2.5.1.- Cotización de partes.	50
2.5.2.- Costo horario del prototipo.	51
2.5.3.- Costos de la materia prima.	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	55
3.1.- Propiedades físico-mecánicas de las semillas y fertilizantes.	55
3.2.- Diseño Conceptual.	63
3.3.- Diseño de detalles.	76
3.3.1.- Dosificador de Semillas.	76
3.3.2.- Dosificador de Fertilizantes.	81
3.3.3.- Sistema eléctrico.	86
3.4.- Construcción del prototipo.	89
3.4.2.- Proceso de manufactura.	89
3.5.- Prueba y evaluación.	93
3.5.1.- Prueba del dosificador de semillas en el laboratorio.	94
3.5.2.- Prueba del dosificador de fertilizantes en el laboratorio.	99
3.6.- Análisis de costos del prototipo.	106
3.6.1.- Cotización de partes.	106
3.6.3.- Costo horario del prototipo.	107
3.6.4.- Ingreso por el uso de la máquina.	109
CONCLUSIONES.	111
LITERATURA CITADA.	112
ANEXO.	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de método de plantío.....	3
Figura 2. Proceso tecnológico en la siembra.	7
Figura 3. Dosificador neumático por depresión.....	9
Figura 4. Dosificador neumático por presión.	9
Figura 5. Distribuidor mecánico de plato vertical con selector neumáticos.....	10
Figura 6. Sembradora parta semillas tipo remolacha.	11
Figura 7. Diagrama para el cálculo de la distancia de siembra.	12
Figura 8. Efecto de la velocidad en el porcentaje de llenado de celdas.....	14
Figura 9. Principio de funcionamiento de dosificador neumático.	15
Figura 10. Análisis Cinemático del plato.	15
Figura 11. Diagrama general de las fuerzas que actúan en la succión de semillas.....	18
Figura 12. Fuerzas que interactúan en la succión.....	18
Figura 13. . Interacción entre semillas y la succión.....	18
Figura 14. Fuerzas de succión.....	19
Figura 15. Ancho de trabajo de una fertilizadora.	23
Figura 16. Tornillo sin fin.....	26
Figura 17. Sentido del empuje o fuerza axial.	28
Figura 18. Cuerpo libre del conjunto flecha-hélice.....	28
Figura 19. Esquema de la hélice.....	29
Figura 20. Generador de vacío. Added Tech.....	33
Figura 21. Unidad de mando. Added Tech.....	33
Figura 22. Aspectos constructivos de una máquina de corriente continua.	34
Figura 23. Funcionamiento de un motor de corriente directa.....	36
Figura 24. Dimensiones a medir del grano del maíz.....	38
Figura 25. MAR desarrollado utilizado en CENEMA-INIFAP.	42
Figura 26. MAR desarrollado en el DIMA.	43
Figura 27. Etapas del diseño conceptual según Pahl y Beitz (1984)	45
Figura 28. a) Largo, b) Ancho y c) Espesor.	55
Figura 29. Masa de 100 semillas.....	55
Figura 30. Obtención de la Densidad.....	56
Figura 31. Secado de semillas.	57
Figura 32. Distribución de tamaños de las semillas de maíz.	59
Figura 33. Ángulo de reposo obtenido por dos métodos diferentes.	60
Figura 34. Distribución de tamaños de los fertilizantes.....	62
Figura 35. Diagrama de bloques para la función Global.	64
Figura 36. . Diagrama de bloques sub-función para el dosificador de fertilizantes.....	65
Figura 37. Diagrama de bloques de las sub-función para el dosificador de semillas.	66
Figura 38. Estructura del árbol de objetivos con ponderación.....	70
Figura 39. Componentes del dosificador de Fertilizantes.	74
Figura 40. Componentes del dosificador de semillas.	75



Figura 41. a) Dimensiones de palto dosificador. b) Parte de Plato Dosificador:	79
Figura 42. a) Dimensiones de la Carcasa de Succión. b) Partes de la carcasa de succión:	79
Figura 43. a) Dimensiones de la tapa (Carcasa). b) Partes de la Tapa:	80
Figura 44. Componentes y Partes del dosificador de Semillas:	80
Figura 45. Tornillo sin fin con descarga central.	83
Figura 46. Carcas del tonillo sin fin.	83
Figura 47. Carcasa del dosificador.	84
Figura 48. Tapa Limitador se Fertilizantes.	84
Figura 49. Tolvas de fertilizantes.	85
Figura 50. Partes del dosificador:.....	85
Figura 51. Diagrama eléctrico del controlador de velocidad.	86
Figura 52. Circuito construcción del circuito variador de velocidad.	88
Figura 53. Carátula del dosificador de fertilizantes y de Semillas.....	88
Figura 54. Sin fin de descarga central.....	89
Figura 55. Ensamble de la carcasa del sin fin con la tapa lateral.	89
Figura 56. Posición del sin fin en la carcasa.	90
Figura 57. Vista lateral de la tapa lateral de la carcasa.....	90
Figura 58. Montaje de los componentes del dosificador sin fin:	90
Figura 59. Ensamblaje General del dosificador de fertilizantes.	90
Figura 60. Ensamblaje General de los dosificadores.....	91
Figura 61. Maquinado de las piezas en CNC.	91
Figura 62. Partes del plato dosificador.....	92
Figura 63. Partes de la tapa de la carcasa del dosificador.....	92
Figura 64. Carcasa de succión.	93
Figura 65. Conexión de los multímetros	93
Figura 66. Gráfica de la tensión a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.	95
Figura 67. Gráfica de la corriente a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.	95
Figura 68. Gráfica de la potencia a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.	96
Figura 69. Gráfica del torque a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.	96
Figura 70. Diferencia de la descarga real a la teórica de semillas	97
Figura 71. Comportamiento del fallo del dosificador de semillas.....	97
Figura 72. Gráfica de la dosis de semillas a diferentes revoluciones.....	98
Figura 73. Gráfica de la dosis a diferentes revoluciones y velocidades de avance.	102
Figura 74. Potencias a diferentes revoluciones.....	103
Figura 75. Corriente a diferentes revoluciones.....	103
Figura 76. Demanda de potencia a diferentes revoluciones.....	104
Figura 77. Torque a diferentes revoluciones.....	104
Figura 78. Modelo de tendencia.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas de semillas con datos agrotécnicas.....	3
Tabla 2. Formato de fabricación de las piezas o elementos.	47
Tabla 3. Formato de pruebas para el dosificador de fertilizantes.	49
Tabla 4. Formato de prueba para semillas.	49
Tabla 5. Lista de materiales usados en la construcción de los dosificadores.....	51
Tabla 6. Valores medios de las dimensiones de las semillas del maíz.	55
Tabla 7. Estadísticas básicas de la masa de 100 semillas.....	56
Tabla 8. Estadística básica para la densidad de las semillas	56
Tabla 9. Estadísticas básicas de las variables masa, volumen y la densidad aparente másica y volumétrica.....	57
Tabla 10. Contenido de humedad de 100 semillas.	57
Tabla 11. Estadísticas básicas de las variables Msh, Mss, Wss y Wsh.	58
Tabla 12. Distribución de tamaños de las semillas de maíz.....	58
Tabla 13. Datos observados del ángulo de reposos.	59
Tabla 14. Estadísticas básicas.....	60
Tabla 15. Contenido de humedad del fertilizante.....	60
Tabla 16. Estadísticas básicas de las variables Msh, Mss, Wss y Wsh.	61
Tabla 17. Distribución de tamaños de fertilizantes.....	61
Tabla 18. Funciones específica de dosificador de fertilizantes.....	67
Tabla 19. Funciones específica del dosificador de semillas.....	67
Tabla 20. Escala de evaluación.....	69
Tabla 21. Carta de Evaluación.....	72
Tabla 22. Valores de R a distintas revoluciones.	77
Tabla 23. Valores de la fuerza total.	77
Tabla 24. Valores del flujo de semillas a distintas velocidades.....	78
Tabla 25. Cuadro de cálculo de potencia por los dos método.	82
Tabla 26. Componentes de sistema electrónico.....	87
Tabla 27. Duración de la construcción.	89
Tabla 28. Estadística básica de las variables observadas para el dosificador de semillas.....	94
Tabla 29. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre el Voltaje.	99
Tabla 30. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la corriente.....	99
Tabla 31. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la potencia.....	99
Tabla 32. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre el torque.	99
Tabla 33. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la dosis.	100
Tabla 34. Pruebas de tukey para las fuentes de variación.....	100
Tabla 35. Interacción de la variable Fertilizante y velocidad angular (FV).	101
Tabla 36. Lista de materiales usados en la construcción de los dosificadores.....	106
Tabla 37. Resultado del análisis económico.....	110

INTRODUCCIÓN

La importancia del cultivo del maíz está en que es uno de los cultivos de mayor superficie cultivada, Colegio de Postgraduados (2006), menciona que el maíz se siembra en el 60% de la tierra cultivada (8.4 millones de has.). De esta área sólo el 15.8% (1.33 millones de has.) son de riego. En volumen, la producción de maíz representa alrededor de dos terceras partes de la producción agrícola de nuestro país.

Aunado a esto existe un aumento en la demanda de producción por la demanda cada vez mayor de los alimentos y al mismo tiempo existe también una demanda constante en el mejoramiento de los sistemas de producción, en ello se ha buscado el aumento de la productividad, reducción del uso indiscriminado e irracional de los insumos y consecuentemente la reducción de los costos de producción. Además persiste la preocupación por la degradación de ambiente (Leyva *et al.*, 2001).

En el tema de las sembradoras y distribuidoras de fertilizantes convencionales, el limitante más importante es la distribución uniforme tanto de semillas y de fertilizantes, mientras los requerimientos en el concepto de la agricultura de precisión (AP) es la dosificación de acuerdo al requerimiento real del suelo tanto de semillas y de fertilizantes (Leyva *et al.*, 2001). Otro de los puntos que destaca el autor es que las máquinas utilizadas en la AP deben tener la habilidad de variar automáticamente en tiempo real la aplicación del insumo a medida que la máquina se desplaza.

Ante tal situación, las máquinas deben ir adecuando a las necesidades al concepto de la AP, Juan *et al.* (2001), dice que la revolución causada en la agricultura de precisión han permitido modificar totalmente los actuales conceptos de aplicación de las máquinas agrícolas, lo que implica adecuaciones a las máquinas.

En específico los dosificadores de semillas y fertilizantes deben tener un accionamiento electrónico ya que como menciona Silveira (2001), los componentes que hacen posible la AP está en el uso del GPS, del sistema de información geográfica (GIS), mapas de rendimiento, mapas de fertilidad del suelo y tecnologías de aplicación variable de insumos (VRT). Por lo tanto las máquinas que se deben desarrollar tengan la capacidad de interpretar estos datos y señales para que la labor realizada sea en el lugar y con la cantidad correspondiente y necesaria. En este sentido es de vital importancia la introducción de dispositivos electrónicos para el control y manejo de las partes que intervienen en el trabajo de las máquinas e implementos.

La tecnología VRT consiste en la aplicación de un tratamiento a una pequeña zona, en vez de tratar toda la tierra uniformemente, que con esto se aprovecha los insumos correctamente (Silveira, 2001). Mismo sentido Hernández *et al.* (2006) afirma que la agricultura de precisión tiene el objetivo principal la aplicación diferenciada de insumos.

En cuanto al diseño de máquinas capaces de realizar la dosificación variable de insumos, no es algo común, existen trabajos como los que se publica en la página del Instituto Nacional de

Tecnología Agrícola (INTA) sobre la agricultura de precisión, pero no ofrece información sobre el diseño y construcción de máquinas para este fin. En las exposiciones organizadas por el mismo instituto muestran máquinas con dosificadores compactos, de precisión, los cuales son desarrollados por empresa como Schiarresa y ADDED-TECHNOLOGY, éste último en el año 2006, presentó el primer dosificador de semillas en Argentina.

En el presente trabajo se dan los resultados del diseño construcción y evaluación de un dosificador de semillas y un dosificador de fertilizantes, accionados por motores de corriente directa, capaces de aplicar dosis variables, obteniendo las variaciones de voltaje y la corriente durante el funcionamiento para poder calcular la demanda de potencia y el torque correspondiente. Para poder realizar el diseño se debió conocer las propiedades físico-mecánicas de las semillas de maíz y de los fertilizantes, ya que como menciona Buitrago *et al.* (2003) éstas propiedades son necesarias para el diseño y operación de máquinas agrícolas.

En un sentido estricto, el objetivo es la obtención del rango de la tención (voltaje) y el de la corriente necesario para la dosificación de semillas y fertilizantes, es posible cuando se realiza el cambio del sistema mecánico al sistema eléctrico del accionamiento de ambos dosificadores, para ello el trabajo se limita en diseñar, construir y evaluar dos dosificadores, el de semillas y el de fertilizantes. Cabe mencionar que en el caso del dosificador de semillas, la fuerza de succión se obtiene de una turbina que no es desarrollado en el presente, que para ello se dan las características y el valor de los niveles de succión con que se realizan las pruebas, al igual que la estructura en donde se montan los dosificadores, para realizar la pruebas, no se consideran en este trabajo.



1. REVISIÓN DE LITERATURA.

1.1.- Métodos de siembra y plantación.

En las bibliografías se mencionan tres métodos de siembra; al voleo, a chorrillo y a golpe. La siembra a voleo consiste en depositar uniformemente una cantidad previamente determinada de semilla en la superficie a sembrar, y una vez depositada enterrarla. La ejecución material de este método de siembra se ha llevado a cabo de manera clásica manualmente. Un obrero cargado de una alforja llena de semilla, caminando por la parcela, arroja el grano buscando una uniformidad de reparto y una determinada densidad de siembra (Cortés, 2003).

Evidentemente es un método poco preciso al ser dependiente totalmente de la habilidad del operario encargado de la siembra, en efecto la ayuda mecánica mejora en la eficiencia y precisión de este método de siembra.

También se efectúa esta siembra con abonadoras centrífugas pero, aunque con ellas se consigue una mayor precisión en el reparto, ofrecen los mismos problemas de la siembra manual, es decir, consumo excesivo de semilla y sobre todo imposibilidad de la posterior mecanización o labores secundarias de cultivo. Hay casos como el del cultivo de las forrajeras, alfalfa, lolium, trifolium, etc., en los que se usa la siembra al voleo. Para ello se utilizan sembradoras de chorrillo a las que se les suprimen los tubos de caída y las rejillas de enterrado. De esta forma, se consigue una gran uniformidad en el reparto de la semilla (Cortés, 2003).

La siembra en línea es la más utilizada en el gran cultivo. Puede hacerse a chorrillo y a golpes. La siembra a chorrillo consiste en depositar de forma continua sobre cada línea de siembra una determinada cantidad de grano (Cortés, 2003).

La siembra a golpes consiste en depositar sobre cada línea de siembra una determinada cantidad de grano, de forma intermitente y de tal modo que los granos queden separados entre sí una distancia constante. Si las semillas son depositadas individualmente la siembra se denomina de precisión. Con ella se consigue gran ahorro de semilla, y de mano de obra en las labores de aclareo y escarda (Cortés, 2003).

De forma concreta la siembra puede realizarse a voleo, en fajas y en líneas, y dentro de ésta última modalidad, a chorrillo y a golpe; por otra parte, las semillas, después de la siembra, pueden quedar en llano, en caballones (en cerro o en surco) o en meseta (Ortiz, 1989).

1.2.- Exigencias agrotécnicas y tecnológicas generales para la siembra y distribución de fertilizantes.

Para la distribución de semillas no solo es importante la distancia de siembra, Ortiz (1989) menciona que necesitan un mínimo de superficie para su normal crecimiento, lo que quiere decir la superficie en unidades cuadráticas que necesitan las plantas para su desarrollo. Sabiendo este dato se puede establecer la densidad de plantas necesarias por hectárea para una buena producción. A parte de las condiciones óptimas en referencia al espacio de desarrollo, también es importante la profundidad de la siembra, característica que aseguran la germinación de las semillas (Ortiz, 1989). El autor anteriormente citado presenta también un diagrama (Figura 1) de distancias de plantación (distancias entre las líneas y las plantas) planteando con ello las exigencias agrotecnicas que debe cumplir una máquina sembradora:

- 1) Poder variar la cantidad de semillas por hectáreas.
- 2) Regularla profundidad de siembra.
- 3) Siembra uniforme, aunque la velocidad de trabajo varíe.
- 4) No dañar las semillas.
- 5) Poseer la suficiente autonomía para reducir al mínimo los tiempos muertos en la carga de las tolvas.
- 6) Polivalencia para distintos tipos de semillas.
- 7) Adaptación al relieve del terreno.
- 8) Visibilidad para el control de su funcionamiento.
- 9) Facilidad para el llenado y vaciado de la misma así como de mantenimiento.
- 10) Facilidad de transporte.

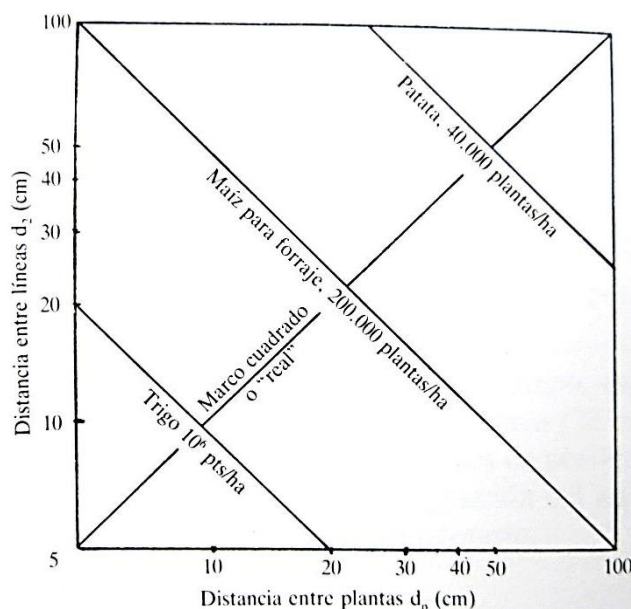


Figura 1. Diagrama de método de plantación.

Las semillas son de distintas formas y tamaños Ortiz (1989), muestra una tabla de las propiedades físicas y datos agrotécnicos de diferentes semillas (Tabla 1):

Tabla 1. Propiedades físicas de semillas con datos agrotécnicos.

Dimensiones Tipos de semillas	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Espesor (mm)	Masa de 1000 granos (g)	Densidad (kg/dm ³)	Ángulo de rozamiento interno	Densidad de siembra (kg/ha)	Distancia en línea (cm)	Profundidad de siembra (cm)
Trigo (*)	5.0-8.6 (6.8)	1.6-4.6 (3.1)	1.5-3.5 (2.5)	25-50 (37.5)	0.72-0.80 (0.76)	30-38 (35)	100-200	3-10	2.5-5
Cebada	7.1-13.5 (10.2)	2.5-5 (3.8)	1.5-3.0 (2.3)	24-48 (36)	0.58-0.68 (0.64)	34-40 (37)	110-160	3-10	3.5
Avena	8.5-20 (14.3)	2.0-3.5 (2.8)	1.0-2.6 (1.8)	14-34 (24)	0.4-0.5 (0.45)	34-43 (38)	140-180	3-10	3-5
Centeno	5.0-10 (7.5)	1.5-3.5 (2.5)	1.5-3.0 (2.3)	26-50 (38)	0.68-0.74 (0.71)	32-36 (34)	100-180	3-10	2-3
Guisantes	6.6-8.6	5.6-7.9	4.7-7.3	78-560	0.74-0.84	28-34	120-280	20-35	3-8
Maíz	10-20	5-12	2-5	100-200	0.65-0.75	31	10-25	60-70	3-8
Alfalfa	1.7-2.8	1.2-2.0	0.8-2.8	1.4-2.8	0.80	33	6-25	15-30	1-2
Glomérulos de remolacha	6.5-8.5	5.5-8.0	5-7	15-30	0.65	45	3-20	40-50	1.5-4

Fuente: Ortiz, 1975.

Los datos agrotécnicos como la mostrada en la Tabla 01, además de la pureza, el poder germinativo, la integridad de los granos, y la carencia de daños externos son factores que se deben tomar muy en cuenta cuando estas semillas son usadas para la prueba de alguna máquina.

El grado de pureza de la semilla disminuye por el porcentaje de materias extrañas presentes; el poder germinativo indica la cantidad en porcentaje, el tanto por ciento de los granos que germinan; velocidad de germinación expresa gérmenes se han desarrollado en una determinada fecha.

De manera precisa Ortiz (1989) menciona que para que las máquinas sembradoras trabajen adecuadamente es necesario que las semillas presenten uniformidad en forma y tamaño.

La densidad de siembra es otro factor que se debe considerar, diferentes autores (Sánchez *et al.*, 2011; Elizondo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2010; Peña *et al.*, 2010) mencionan que la densidad de siembra va de 40000 a 155000, aunque para fines de experimento han realizados con densidad de hasta 210000 plantas por hectáreas (Améndola *et al.*, 2011; Cueto *et al.*, 2006).

En cuanto al fertilizante, en primer lugar, se entiende por fertilización al conjunto de acciones encaminadas a propiciar la absorción por la planta de una serie de sustancias necesarias para su crecimiento y desarrollo (Ortiz, 1989).

En cuanto a su origen los fertilizantes es clasificado en minerales y orgánicos, en donde los inorgánicos consisten en sales, los más empleados son los nitrogenados, fosfóricos, potásicos y calizos. Los fertilizantes pueden ser distribuidos en los tres estados de la materia (sólidos, líquidos y gaseosos). Para el interés particular son los fertilizantes sólidos, del cual se presente en tres formas de acuerdo al tamaño de partículas (Ortiz 1989):

Pulverulentos: el tamaño de las partículas varían entre 0.001 y 0.1 mm. Corresponde a este grupo, entre otros, la cianamida cálcica, el superfosfato, las escorias y los fósforos naturales. Son muy sensibles al viento.

Cristalizados: el tamaño de las partículas está comprendido entre 0.2 y 1mm. Entre los abonos cristalizados se encuentran: el Sulfato amónico, el Fosfato amónico, el Nitrato potásico, el Cloruro potásico y el Sulfato Potásico.

Granulado: el tamaño de las partículas oscilan entre 0.5 y 5 mm, su forma de presentación puede ser en gránulo normal o perlado. Los abonos complejos (gránulo normal) y la urea (perlado) son los más representativos.

Referente a la aplicación éste puede ser en cobertura total o localizada.

Las máquinas abonadoras se clasifican en abonos minerales y de abonos orgánicos. En los de abonos minerales son máquinas que requieren especiales cuidados en su construcción, ya que según Ortiz (1989), presentan las siguientes dificultades:

- a) Repartir uniformemente sobre el terreno cantidades de abonos muy variables (por ejemplo de 50 a 1500 kg/ha).
- b) Algunos abonos llevan ácidos que son corrosivos para los metales.
- c) Todos los abonos son más o menos higroscópicos, y la humedad forma terrones que dificultan su caída por los orificios de distribución.

La cantidad de distribución deben ser permanentemente constantes desde el principio hasta el final de la labor, independientemente de que la tolva esté más o menos llena; de los accidentes del terreno (irregularidades, pendientes, etc.) y del tiempo (humedad, viento, etc.). Para la dosis de fertilizantes, algunos autores (Jiménez *et al.*, 2006; Gonzáles *et al.*, 2003) indican que varía de 281 kg/ha a 800 kg/ha para densidades menores a 80 mil plantas por hectárea mientras que para altas densidades, mayores a 80 mil plantas/ha, va desde los 281 hasta los 1200 kg/ha (Cueto *et al.*, 2006 y Peña *et al.*, 2010).

1.3.- Factores para la siembra de precisión.

Uno de los retos más interesantes en la fabricación de máquinas para agricultura ha sido la precisión en la siembra. A pesar de que las primeras sembradoras mecánicas existían ya en 1850, sólo en las últimas décadas han aparecido mecanismos que aseguran altas eficiencias y permiten una buena velocidad de trabajo. Es la naturaleza quien determina que existe un número óptimo de plantas por hectárea para obtener buena germinación, desarrollo y productividad (Maquinaria Montaña LTDA, 2013).

Para simplificar el análisis hay que considerar la división tradicional entre semillas de grano fino como arroz y trigo y las de grano grueso como maíz y frijol, en las primeras, para asegurar este número de plantas por hectárea, basta con colocar una fila de semillas con una cantidad por longitud recorrida por la máquina, (por lo cual muy acertadamente también se llaman "Sembradoras de chorrillo"), pero para la segunda es necesario fijar una distancia adecuada entre ellas a lo largo de la línea de siembra.

Ortiz (1989) menciona que la condición para considerar una siembra de precisión es que cumplan con las siguientes:

1. Las semillas deben ser de tamaño uniforme.
2. Los alvéolos de los platos dosificadores deben ser del tamaño correspondiente a las semillas.
3. Las semillas deben tener tiempo suficiente para entrar en los alvéolos, para lo cual es importante la velocidad periférica del plato.
4. Debe haber un buen cepillo, con el objetivo de evitar siembras múltiples y barrer las semillas mal colocadas.
5. Debe existir un sistema positivo de eyección de las semillas, de modo que las fuerce a salir por el tubo de salida.
6. El tubo de caída debe ser de pequeño diámetro, liso, recto y debe terminar en la proximidad del fondo de surco.
7. Las semillas deben situarse a la profundidad adecuada y no debe desviarse apreciablemente por rebote o por rodar en el surco.

1.4.- Sembradoras en hileras con dosificadores de semillas continuo y a intervalos.

Descripción de los sistemas auxiliares y de proceso tecnológico, diagrama de proceso tecnológico y principio de funcionamiento.

Las sembradoras en hileras se usan generalmente para cultivos tales como maíz, sorgo, soya y algodón, que requieren espaciamiento de hileras precisas y espaciamiento uniforme de las plantas dentro de las hileras. Estos cultivos son sembrados en hileras para ayudar en el control de las malezas y también de la cosecha. En el método de plantación de hileras existen tres tipos: en surcos cuando las semillas se dejan caer individualmente en la hilera a una distancia aproximadamente de cinco o veinte centímetros dentro de la hilera; en montoncitos cuando las semillas se ubican en montículos de dos a tres, por ello primero se acumulan dentro de la sembradora y se dejan caer en grupos en la cementera; en cuadros cuando se dejan caer de tres a cinco semillas en cada montículo generalmente separados dentro de las hileras a la misma distancia que el ancho de las hileras y están alineados perpendicularmente en la dirección del recorrido (Breece et al., 1975).

Las sembradoras en líneas son máquinas que se utilizan para la siembra de cereales y forrajes que requiere o no mucha precisión. No obstante cada vez existe maquinas más equipos con mayor precisión en relación a la distribución de semillas.

Las características principales de esta máquina comprende el ancho de trabajo de 2 y 6 metros, donde la separación entre hileras varía entre 15 a 23 cm. La capacidad de la tolva de grano viene a ser de 100 litro por metro de anchura de trabajo como máximo. Si además dispone de tolva de abono, se debe considerar otros 100 litros por metro de ancho de trabajo. El proceso tecnológico que debe realiza las máquinas de acuerdo a Ortiz (1989), son los siguientes:

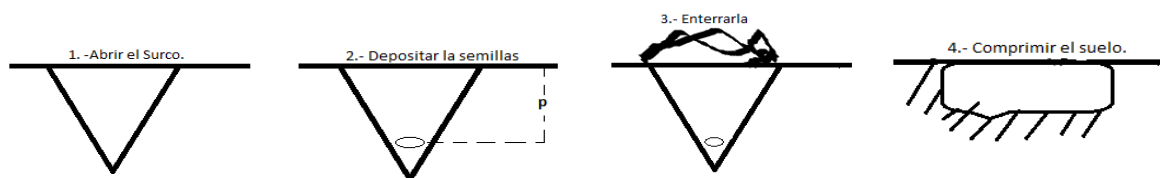


Figura 2. Proceso tecnológico en la siembra.

1. Abrir el surco donde se va depositar las semillas.
Órganos abresurcos de reja, de patín o de disco.
2. Depositar las semillas en el surco.
Órganos: distribuidor y tubo de caída del grano.
3. Enterrar las semillas con otras rejas adyacentes a la surcadora principal o mediante cadenas de eslabones circulantes, rastras de púas, etc.
4. Comprimir el suelo alrededor de las semillas, para que ésta disponga de mayor humedad y pueda germinar mejor.

1.5.- Elementos de trabajo de las sembradoras a golpes y monogranos.

Estas máquinas trabajan en hileras mediante una serie de unidades llamadas cuerpo de siembra, que se unen al bastidor de fijación y éste a su vez al enganche del tractor, con la posibilidad de desplazamiento lateral e intercambiabilidad. Los elementos principales de un cuerpo de siembra son los siguientes (Ortíz, 1989):

1.5.1.- Tolva receptora.

En el recipiente que contiene las semillas, cuyo volumen oscila entre 4 y 18 litros, siendo las capacidades menores para hortalizas. Respecto a la ubicación de los platos distribuidores respecto a la tolva existen dos casos; *Bajo carga*: se sitúa debajo de la tolva, la descarga es por gravedad; *Desplazado*: la alimentación se produce desde la lateral, característicos de los equipos neumáticos.

1.5.2.- Distribuidor.

Es el dispositivo donde se alojan las semillas, que son transportadas y liberadas en las zonas de descarga, cayendo sobre el terreno preparado. Respecto a los sistemas y modalidades de distribución existen varios tipos como los que a continuación se mencionan.

i. *Distribuidores de alimentación mecánica.*

Para la distribución mecánica existen los del plato que pueden ser inclinado, horizontal y vertical; de banda; de cucharillas. Por la orientación de este trabajo estos tipos de distribuidores no se le dan la profundización adecuada.

ii. *Distribuidores neumáticos.*

Los distribuidores neumáticos utilizan una corriente de aire que genera depresión o sobrepresión sobre las semillas. Los más utilizados son los siguientes:

ii.a) *por depresión.* Mediante un ventilador cuya velocidad periférica está comprendida entre 50 y 70 m/s accionado mediante una transmisión por correa desde la toma de fuerza del tractor, se produce un flujo de aire a través de los orificios del plato del distribuidor cuyo diámetro es inferior al de las semillas. Dicho flujo produce la aspiración correspondiente dando lugar a que sobre los orificios vacío se adhieran una o varias semillas. Estas se mantienen unidas en la zona de aspiración que es un sector que más o menos abarca las dos terceras partes de la superficie de disco (Figura 4 a). Cuando el disco sobrepasa la zona de aspiración la semilla se desprende al igualarse la presión a un lado y otro del

disco. A fin de que sea uniforme la alimentación la mayoría de las máquinas disponen de una pletina regulable (Figura 4 b) que elimina el exceso de semillas que inicialmente se adhieren sobre los orificios del disco.

La presión es regulable en función del tamaño de las semillas, variando entre 4 10 KPa, debiendo no solo aguantar el peso de las semillas, sino también que no se produzca el desprendimiento anticipando por efecto de las sacudidas que ocasiona el terreno.

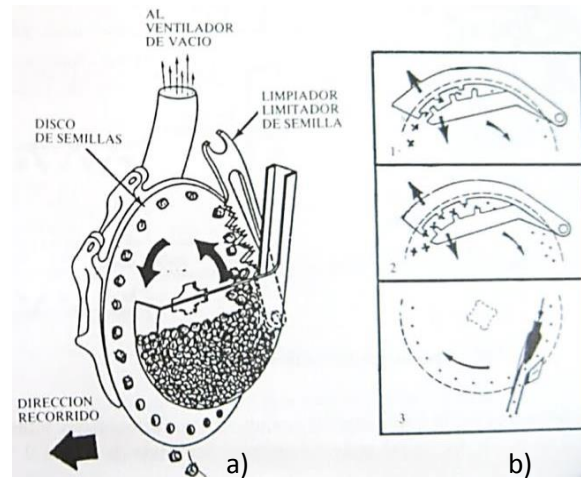


Figura 3. Dosificador neumático por depresión.

ii.a) *Por presión.* El fundamento es igual que el de depresión, la diferencia está en que las semillas son empujadas por la corriente de aire hacia los respectivos alojamientos (Figura 5). Aquí los discos se sustituyen por un único tambor en cuyo interior se encuentran las semillas. El aire circula de dentro a afuera de dicho tambor.

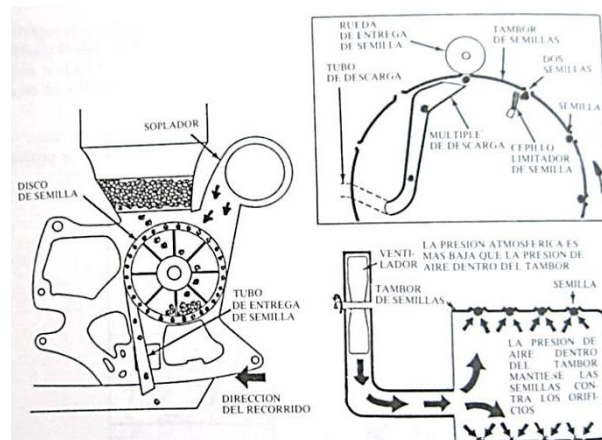


Figura 4. Dosificador neumático por presión.

El sistema neumático consiste en un disco en cuya periferia se encuentra una serie de conos donde se alojan varias semillas. La corriente de aire tiene como finalidad dejar solamente una. El cometido principal de los dispositivos de distribución, independientemente del sistema utilizado, es conseguir una alimentación total, sin que haya varias semillas por alojamiento ni carencia.

En este sentido conviene ajustar correctamente los alveolos o alojamientos dependiendo del tamaño y forma de las semillas. Para cumplir con tal objetivos generalmente son los alveolos son 10% superiores al tamaño medio de las semillas. La velocidad periférica es aconsejable manejar de 0.30 a 0.35 m/s.

Tanto el tamaño y forma del alojamiento, como el espacio en que está en contacto con las semillas condicionan el tiempo mínimo necesario (t_m) que tardan éstas en colocarse sobre el plato distribuidor. Si llamamos a al arco de contacto de un alojamiento con las semillas, la velocidad periférica del plato v_p máxima para un valor dado de t_m viene dada por:

$$v_p = w_p \cdot r_p = \frac{a}{t_m} \cdot t_p \quad (1)$$

Siendo w_p y r_p respectivamente la velocidad de rotación y el radio eficaz del plato, es decir, la distancia desde su centro hasta el punto donde están ubicados los alojamientos. De manera que aumentando a y r_p se puede aumentar dicha velocidad.

Otro sistema usado en los sembradores mecánicos en específico son los del plato horizontal y vertical, en la Figura 6 muestra un distribuidor mecánico de plato horizontal considerando de que a es grande y r_p pequeño, sucediendo lo contrario en las de plato vertical. En cambio en las neumáticas a y r_p son relativamente pequeños, al igual que t_m por lo que comparativamente se mantiene constante v_p .

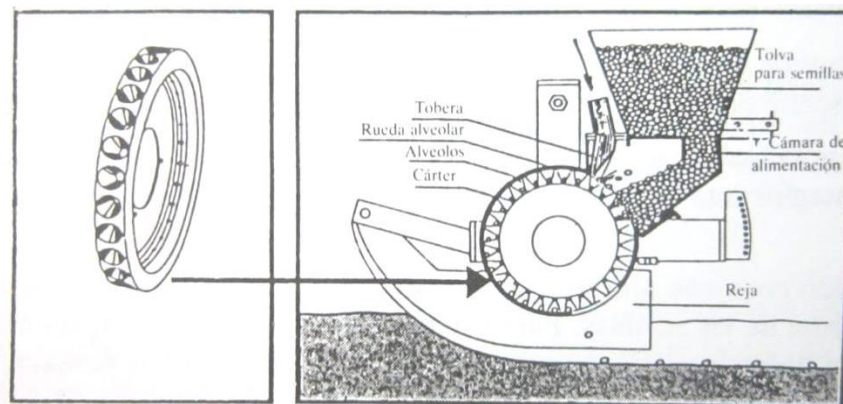


Figura 5. Distribuidor mecánico de plato vertical con selector neumáticos

1.5.3.- Elemento de apertura y cierre del surco.

Las sembradora monogranos disponen de elementos para la apertura y cierre del surco, los cuales depende del tipo de semillas.

Para las semillas tipo remolacha son más sofisticadas, por lo tanto para éste la secuencia de trabajo comprende los siguientes elementos (Figura 7):

1. Reja separadora de piedras y terrones.
2. Rueda compactadora que allana una estrecha franja (de 5-6 cm) de suelo.
3. Reja de siembra, por cuya parte posterior caen las semillas.
4. Rueda o ruedas apisonadoras del suelo contra las semillas.
5. Rodillo jaula, cuya misión es la de terminar de cubrir la semillas.

A diferencia para las semillas de maíz o de otra semilla similar, es que no dispone de rueda compactadora allanadora, ni en algunos casos de la reja separadora de terrones, por otro lado la reja de siembra es de mayor tamaño al tener que depositar las semillas a una mayor profundidad.

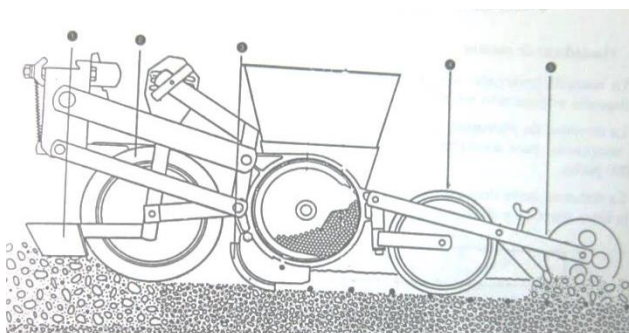


Figura 6. Sembradora para semillas tipo remolacha.

1.5.4.- Sistema de unión al bastidor.

Para unir al bastidor dispone de un mecanismo que le permite seguir el contorno de suelo, para mantener la profundidad de siembra.

El sistema compone de un cuadrilátero articulado (Figura 8) en cuya biela se montan a los elementos del cuerpo de siembra. Los brazos balancines permiten desplazar dichos elementos en sentido vertical con la finalidad de adaptar la siembra a las ondulaciones del terreno, así para remontar pequeños obstáculos. Además dispone de un mecanismo para regular la fuerza que es necesario realizar para poder desplazar el mecanismo (Ortiz, 1989).

Para ello existen dos tipos de diseño: El primero se refiere a una barra, una guía corredora en el extremo que se une al bastidor de la máquina, y una articulación en el otro extremo que se une, bien a uno de los brazos balancines o a la biela soporte. Sobre esta barra de forma concéntrica se monta un resorte de tensión regulable como se muestra en la figura siguiente.

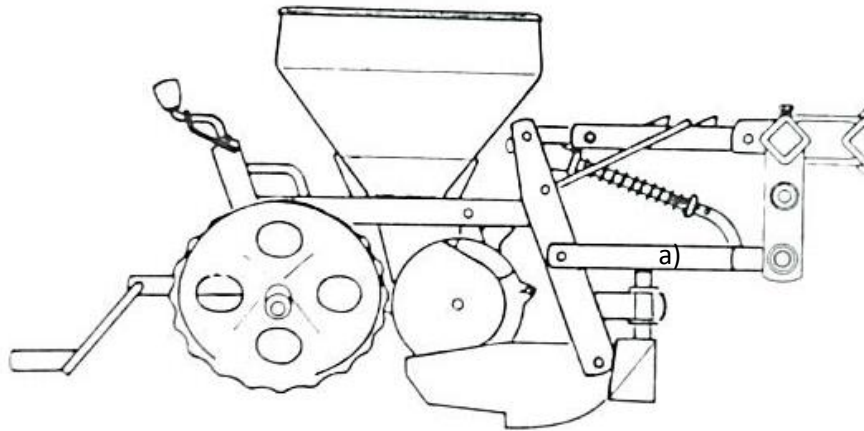


Figura 7. Sistema Paralelogramos a)

1.6.- Elementos de la teoría y el cálculo de los principales dosificadores de semillas con descarga continua y a intervalos.

Para calcular la distancia teórica de caída de las semillas Ortiz (1989) plantea el siguiente (Figura 9):

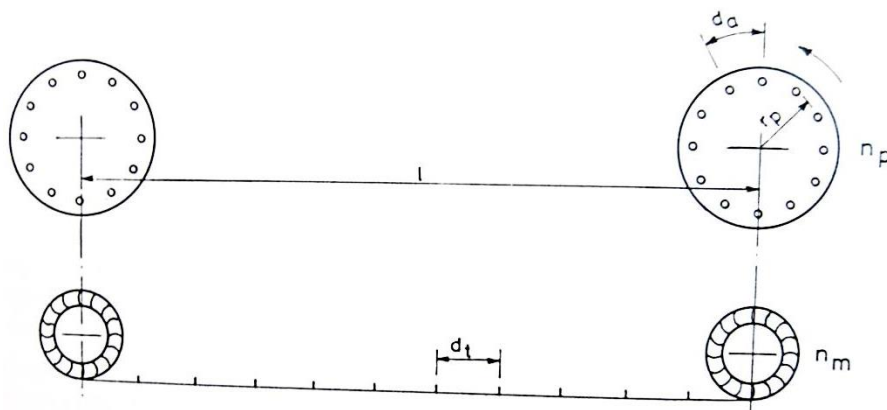


Figura 7. Diagrama para el cálculo de la distancia de siembra.

Considerando un plato que tiene k alojamientos. Al girar n_m vueltas la rueda motriz recorrerá una longitud l , pero esa misma longitud habrá girado el plato dosificador n_p vueltas, cumpliéndose la relación siguiente:

$$n_p \cdot k = \frac{l}{d_t} \quad (2)$$

Como $l = n_m \cdot 2\pi r_d$, donde n_m es el número de vueltas y r_d es el radio dinámico de la rueda motriz, resulta los siguientes:

$$d_t = \frac{l}{n_p \cdot k} = \frac{2\pi r_d n_m}{k \cdot n_p} = \frac{2\pi \cdot r_d \cdot n_m}{k \cdot n_p} = \frac{2\pi \cdot r_d \cdot i_t}{k} \quad (3)$$

Siendo i_t , la relación de transmisión entre las ruedas motrices y los platos distribuidores. Por lo que se cumple que:

$$2\pi r_p = d_a \cdot k \quad (4)$$

En donde d_a es la separación entre cada dos alojamiento del plato.

$$d_t = d_a \cdot \frac{r_d}{r_p} \cdot i_t \quad (5)$$

Como $\frac{v_m}{v_p} = i_t \cdot \frac{r_d}{r_p}$ **se cumple:** $\frac{d_t}{v_m} = \frac{d_a}{v_p}$

Siendo v_m la velocidad de avance de la máquina y v_p la velocidad periférica del plato.

Para calcular el número de plantas que se quiere por hectárea N_p se debe considerar los factores biológicos (poder germinativo C_g), factores técnicos (C_T) y factores accidentales (C_a).

Para calcular la cantidad de semillas a sembrar por hectárea N_s viene dada por:

$$N_s = \frac{N_p}{C_g \cdot C_T \cdot C_a} \text{ ó } N_s = N_p \left(1 + \frac{f}{100}\right) \quad (6)$$

Siendo f el factor de pérdidas (%).

Considerando la anchura entre los cuerpos de siembra, podemos determinar la distancia teórica entre semillas.

$$d_t = \frac{10000}{a \cdot N_s} (m) \quad (7)$$

Con este valor se puede determinar la relación de transmisión, el valor más próximo que proporciona la máquina (i_t). Este valor se calcula con lo siguiente:

$$i_t = \frac{Z_2 \cdot Z_4 \cdot \dots \cdot Z_{2n}}{Z_1 \cdot Z_3 \cdot \dots \cdot Z_{2n+1}} \quad (8)$$

Por tanto el producto del número de dientes del piñón que ocupan lugar par desde la rueda motriz, dividido por el producto del número de dientes de los piñones que ocupan lugar impar.

Condiciones de llenado de celdas.

Kepner (1978), menciona que en el porcentaje de llenado de celdas del plato en los dosificadores neumáticos, los factores que influyen son el tamaño máximo de las semillas en relación al tamaño de la celda, el rango de tamaño de la semilla, forma de las semillas, forma de las celdas, tiempo de exposición de una celda a la semilla dentro del depósito y la velocidad lineal de la celda.

El porcentaje de llenado de la celda se define como el número total de semillas descargadas dividido por el número total de celdas pasando por el punto de descarga. De acuerdo con esta definición, el 100 % de llenado de las celdas no necesariamente significa que cada celda contenga a una semilla, pero meramente implica que alguna celda pueda estar vacía y que otras sean llenadas por múltiples semillas (Reynolds, 2006).

$$\% \text{ de llenado} = \frac{\text{Número de semillas reales}}{\text{número de semillas teóricas}} * 100$$

El porcentaje de llenado de celdas también está influenciado por la velocidad de giro del plato dosificador tal como se muestra en la figura 9 (Kepner, 1978).

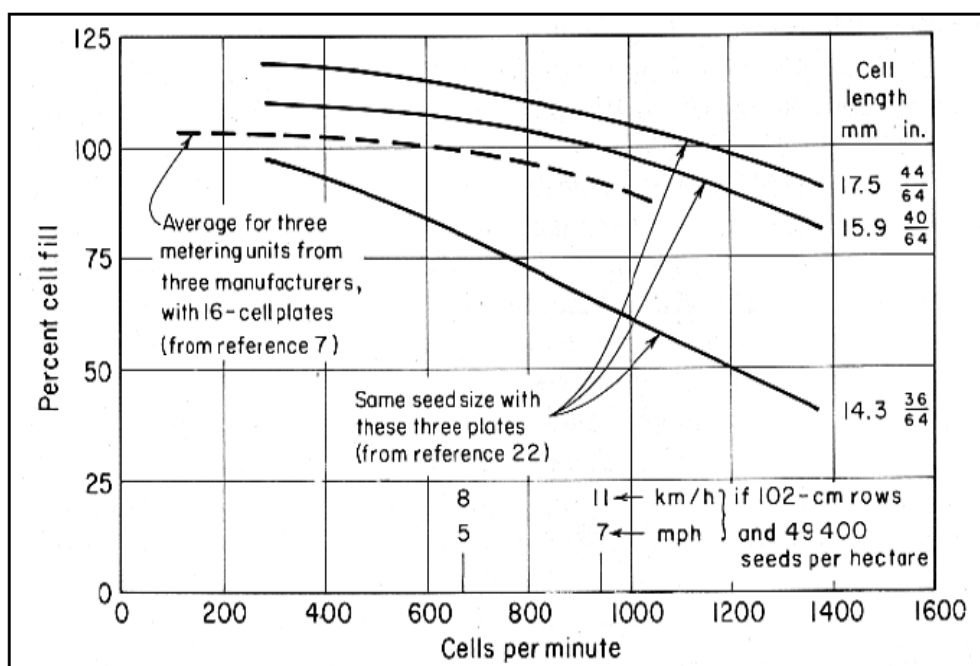


Figura 8. Efecto de la velocidad de giro del plato y del tamaño de celda al porcentaje de llenado de celdas.

Fuente: Kepner, 1978.

Principio de funcionamiento de los dosificadores neumáticos de succión.

En la figura 10, muestra el principio de funcionamiento de un dosificador

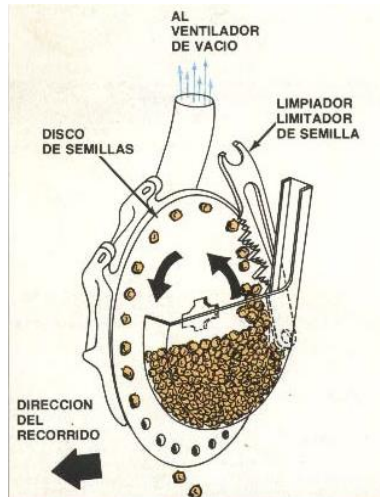


Figura 9. Principio de funcionamiento de dosificador neumático.

En esta figura se puede identificar tres regiones principales, 1 – Colocación de la semillas en las celdas del plato dosificador; 2 – Transporte hacia la zona de descarga y 3- La descarga de la semillas.

Reynolds (2006) analiza la cinemática del plato dosificador, considerando que la semilla se comporta como una partícula en movimiento circular uniforme. El análisis lo realiza con la ecuación de posición de una partícula en notación polar compleja expresándola en forma de vector.

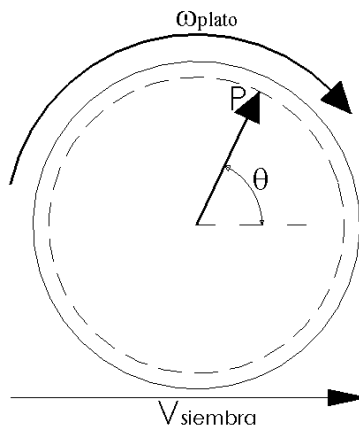


Figura 10. Análisis Cinemático del plato.
Fuente: Reynolds, 2006.

Según Kimbrell (1991), la ecuación de notación compleja es:

$$P(t) = Re^{i\omega t} \quad (9)$$

La posición de la partícula en forma de notación compleja se puede escribirse $\mathbf{P} = \mathbf{x} + i\mathbf{y}$, conociendo que la i es la unidad imaginaria pero en concreto la raíz cuadrada de -1 . Por lo tanto esta trayectoria se compone de dos dimensiones, una real y otra imaginaria.

La derivada de la ecuación anterior es la velocidad en su forma compleja el cual es el siguiente:

$$\dot{P}(t) = i\omega Re^{i\omega t} \quad (10)$$

Como se puede apreciarse la velocidad está multiplicada por el factor i lo que significa que la velocidad es perpendicular a la posición (tangente).

La segunda derivada de la posición corresponde a la aceleración.

$$\ddot{P}(t) = i\omega i\omega Re^{i\omega t} \quad (11)$$

Pero $i*i$ es $\sqrt{-1} * \sqrt{-1}$ el cual es -1 . Por lo tanto ésta segunda derivada se puede escribir:

$$\ddot{P}(t) = -\omega^2 Re^{i\omega t} \quad (12)$$

Realmente lo que interesa es la parte real por lo tanto la segunda derivada, la aceleración, es:

$$\ddot{P}(t) = A = -\omega^2 R \quad (13)$$

El signo negativo indica que la dirección es hacia el centro (vector de origen) del plato, la cual corresponde a la aceleración centrípeta o normal.

Reynolds (2006), considera que la influencia de la gravedad es necesario considerarla, por lo tanto la fuerza en Newton que experimenta la semilla como partícula en movimiento es la aceleración normal más la gravedad multiplicada por su masa (Segunda Ley de Newton):

$$F_T = (\omega^2 R + g)m \quad (14)$$

Donde F_T es la fuerza total que experimenta la semillas, N; ω – la velocidad angular del plato en rad/s; R – el radio del plato, del centro hasta el centro del orificio o celda, m; g - la gravedad (9.81 m/s²) y m – la masa de la semilla en kg.

La succión F_v expresada en forma de fuerza, indica que es el vacío P_v multiplicado por el número de celdas en el plato.

$$F_v = P_v * Z \quad (15)$$

El citado autor obtuvo en pruebas, que la fuerza necesaria para mantener adherida las semillas es de 24.5767 mN pero que el 78% corresponde a la fuerzas parásitas provocadas por la vibración del equipo y el 22% es la fuerza debido a la rotación del plato y a la gravedad de la masa de la semilla. Por otro lado Listopaol (1986), para el mismo análisis, parte de un análisis de la posición cartesiana de las semillas respecto al plato dosificador, para ello plantea que para que funcione el dosificador neumático por succión se debe calcular los parámetros que rigen el principio. El análisis se debe realizar en tres partes, cuando inicia la succión, el transporte hacia la zona de descarga y cuando hace la descarga.

Si se considera P la fuerza producida por la acción del ventilador, P_0 la fuerza axial producida por la presión de la masa de la semilla que depende fundamentalmente de la altura de la columna de las semillas en la cámara de succión y de la acción de agitador, G el peso de la semillas (mg), F_c la fuerza inercial ($F_c = mrw^2$), p_b la fuerza lateral producida por la presión lateral, $F = (P_0 + P)\tan\phi^1$; la fricción producida por la acción de la fuerza de succión y presión lateral, donde ϕ^1 es el ángulo de fricción entre la semilla y el disco.

En el siguiente sistema de coordenadas se establecen el punto 0 (centro del orificio, donde se pega la semilla), el diámetro d del orificio y el diámetro del disco (d_1) en donde:

OZ - línea de acción de la fuerza P y P_0 , ortogonal al plano de dibujo.

OX – Dirección radial.

OY – Ortogonal a la dirección radial.

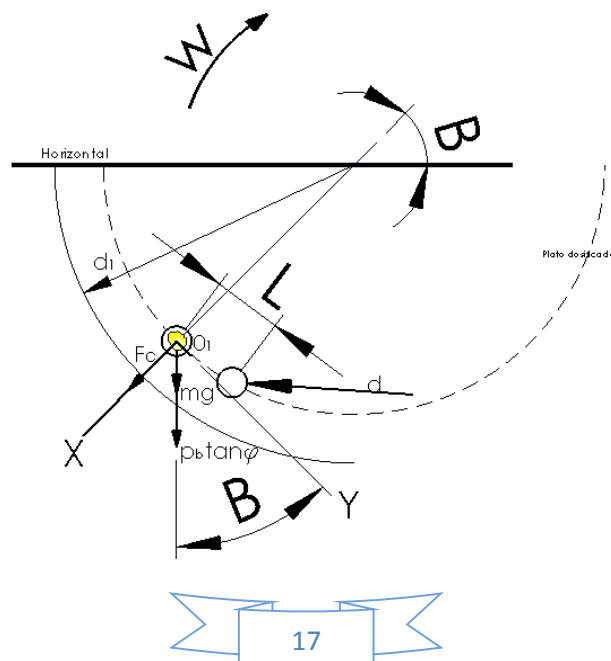


Figura 11. Diagrama general de las fuerzas que actúan en la succión de semillas

El punto crítico, debido a la competencia entre semillas, es cuando inicia la succión, en la figura 13 se muestra cómo la semilla interactúa entre ellas y las fuerzas que no se pueden mostrar en la Figura 14, en donde debe haber el vacío (fuerza) suficiente para tomar la semillas y colocarlas en las celdas del plato dosificador.

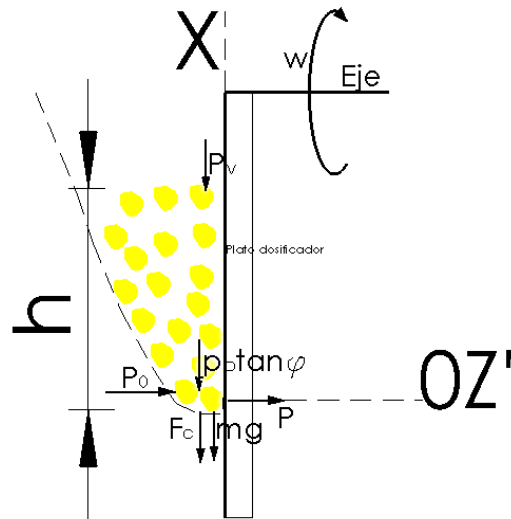


Figura 12. Fuerzas que interactúan en la succión.

Las interacciones entre semillas existen y afectan la selección (succión) de una semilla, en la Figura 14 se presenta esta interacción y las fuerzas de reacción que se originan con respuesta a la fuerzas de succión producidas por el ventilador.

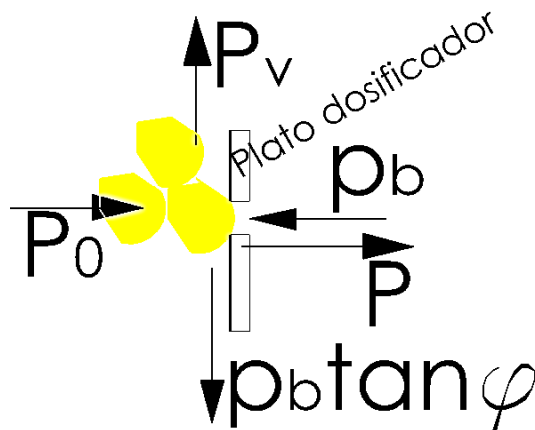


Figura 13. . Interacción entre semillas y la succión.

La semilla se agarra y se mantiene en el orificio debido a la fuerza de fricción (F) que surge bajo la acción de la fuerza de succión (P) y de la presión lateral (P₀).

$$F = N \tan \varphi^1$$

$$N = P_0 + P$$

$$F = (P_0 + P) \tan \varphi^1$$

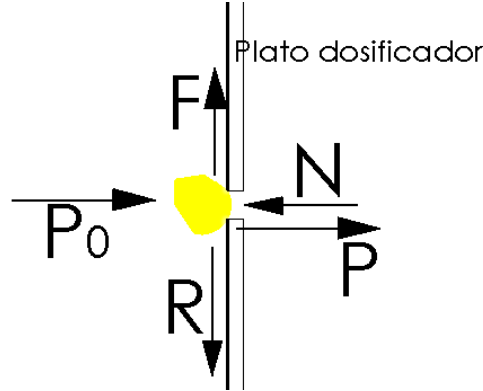


Figura 14. Fuerzas de succión

Para φ^1 el ángulo de reposo de las semillas respecto al material del plato dosificador. El cual corresponde a 28 grados, el ángulo de reposo de las semillas del maíz respecto a Nylon de alta densidad maquinado en CNC.

Cuando ocurre la succión están presentes muchas fuerzas, además este es el punto crítico, aunque algunas componentes de las fuerzas no afecta significativamente, por su valor pequeño, estas fuerzas de valor insignificativo son la $P_b \tan \varphi \sin B$, P_0 y P_v las cuales se pueden despreciar.

La fuerza Resultante que afecta la adhesión de las semillas se puede obtener haciendo las sumas de las fuerzas en los dos ejes de coordenadas establecidas en la figura 15, de las fuerzas se obtiene los siguientes:

$$\sum F_x = P_x = F_c + mg \sin B + P_b \tan \varphi \sin B \quad (16)$$

$$\sum F_y = P_y = mg \cos B + P_b \tan \varphi \cos B \quad (17)$$

La fuerza resultante **R** se calcula:

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \quad (18)$$

Si se desprecia $P_b \tan \varphi \sin B$, P_0 y P_v la resultante es entonces:

$$R = \sqrt{(F_c + mg \sin B)^2 + (mg \cos B + P_b \tan \varphi \cos B)^2} \quad (19)$$

$$R = \sqrt{F_c^2 + 2F_c mg \sin B + m^2 g^2 \sin^2 B + m^2 g^2 \cos^2 B + 2mg \cos B P_b \cos B \tan \varphi + P_b^2 \tan^2 \varphi \cos^2 B} \quad (20)$$

$$R = \sqrt{F_C^2 + 2F_C mg \text{Sen} B + m^2 g^2 + P_b \text{Cos}^2 B \text{Tan} \varphi (2mg + P_b \text{Tan} \varphi)} \quad (21)$$

La condición para mantener la semilla alojada en el orificio.

$$p_b \text{Tan} \varphi^1 \geq R$$

Donde $p_b \text{Tan} \varphi^1$ es la fricción $F = (P_0 + P) \text{Tan} \varphi^1$ y R la resultante.

Tal que:

$$P \geq \frac{\sqrt{F_C^2 + 2F_C mg \text{Sen} B + m^2 g^2 + P_b \text{Cos}^2 B \text{Tan} \varphi (2mg + P_b \text{Tan} \varphi)}}{\text{Tan} \varphi^1} \quad (22)$$

La mayor presión, interacción entre semillas es para 45%, o sea $B = 45^\circ$. Investigaciones aseguran que el nivel de semillas (h) ejerce una influencia sobre las semillas del orificio.

Al salir de h el efecto de las semillas se anulan.

$$p_b = 0$$

Por lo tanto para que la semilla sea transportada hasta la zona de descarga, la succión P debe ser mayor o al menos igual al cociente de la resultante R entre la $\text{Tan} \varphi^1$.

$$P \geq \frac{\sqrt{F_C^2 + 2F_C mg \text{Sen} B + m^2 g^2}}{\text{Tan} \varphi^1} \quad (23)$$

La caída de la semilla ocurre cuando se interrumpe el flujo del aire, $P = 0$ y se rompe la condición de agarre (liberación de la semilla) o sea:

$$\sqrt{F_C^2 + 2F_C mg \text{Sen} B + m^2 g^2} > P \quad (24)$$

Régimen de trabajo y elementos de construcción.

La fuerza producida por la succión se puede expresar a través de área S del orificio.

$$P = k \Delta p S \quad (25)$$

Dónde: K - coeficiente de proporcionalidad, cuyo valor oscila entre 0.31 – 1.35 para las semillas de maíz.

El área de succión S.

$$d = (0.6 - 0.7)bc \quad (26)$$

Dónde: b_c - ancho promedio de las semillas; d - diámetro del orificio y S – La superficie del orificio $S = \frac{\pi d^2}{4}$

El flujo de semillas sin considerar fallos:

$$q = \frac{\text{número de semillas}}{\text{tiempo}} = \frac{Z}{t} = \frac{\frac{p}{d+L}}{\frac{2\pi}{\omega}} \quad (27)$$

$$q = \frac{p\omega}{(d+L)2\pi} \quad (28)$$

La velocidad ω del disco $u = \omega r$, por lo tanto:

$$q = \frac{2\pi r u}{r 2\pi (d+L)} = \frac{u}{d+L} \quad (29)$$

Dónde: $p = 2\pi r$; $\omega = \frac{u}{r}$; u velocidad periférica del disco (m/s) y L – distancia entre orificios.

En la figura $d+L = la$ = paso del orificio del disco.

Para que las semillas no interactúen entre ellas el paso debe ser al menos dos veces el largo máximo o sea: $la \geq 2l_{max}$. En donde l_{max} es la dimensión máxima de la semillas (largo).

Es conocido que $q = \frac{V}{a}$

$$\frac{V}{a} = \frac{u}{d+L} = u = \frac{V(d+L)}{a} \text{ (m/s)} \quad (30)$$

Conociendo que $u = \omega r_0$ donde r_0 es el radio hasta el centro del orificio.

Dónde: V - velocidad del avance del conjunto tractor- sembradora; a – distancia entre semillas.

Por lo tanto:

$$u = \frac{\pi n}{30} \frac{d_0}{2} = \frac{\pi n d_0}{60}$$

$$\frac{\pi n d_0}{60} = \frac{V(d+L)}{a}$$

$$d_0 = \frac{60V(d+L)}{\pi n a} \quad (31)$$

$$d_1 = d_0 + (3-4)l_{máx} \quad (32)$$

El número total de orificios $Z_d = \frac{\pi d_0}{d+\Delta L}$

El gasto total de gasto de aire del ventilador Q se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = k_p * V_{\beta p} * S * Z_b * Z \quad (33)$$

Dónde: k_p – coeficiente de succión (0.55-0.72); $V_{\beta p}$ – velocidad del flujo del aire a través del orificio; S – área del orificio; Z_b – número de cuerpos.

En valor de $V_{\beta p}$ (velocidad de aire en el orificio sin semillas)

$$V_{\beta p} = \alpha \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (34)$$

En dónde α es el coeficiente del aire en el orificio cuyo valor está entre 0.7-0.72 para $d= 0.8-3\text{mm}$ y la densidad del aire $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$.

En la práctica Δp se conoce que:

$$\frac{p}{mg} > 10 \text{ veces el peso de las semillas.}$$

En maíz $\frac{p}{mg} = 32.5$

1.7.- Máquinas distribuidoras de fertilizantes inorgánicos en hileras. Descripción de los sistemas auxiliar y de proceso tecnológico, diagrama del proceso tecnológico y principio de funcionamiento.

Las máquinas distribuidores llevan también una rueda, bastidor, tolva, etc., dos mecanismos fundamentales que son:

- a) *El mecanismo agitador*, que impide que el abono forme cavidades internas y no caiga.
- b) *El mecanismo distribuidor*, que realiza la distribución del abono sobre el terreno. Forma parte de este mecanismo un embrague y un cambio de velocidad más o menos sencillos.

De los distribuidores de fertilizantes se conoce tres tipos fundamentales: por gravedad, centrífugos y neumáticos.

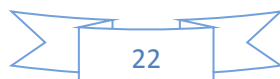
Los distribuidores por gravedad suelen estar provistas de una tolva trapezoidal alargada, que lleva en su fondo un mecanismo regulador de la caída del abono que constituye el mecanismo distribuidor, careciendo de un mecanismo agitador, ya que el abono cae por su propio peso.

La características constructivas de las abonadoras por gravedad, es que la capacidad de la tolva varía, según su anchura, de 250-300 litro para 2 metros de huella y 400-500 para una anchura de 3 metros de huella (Ortiz –Cañavate 1989).

Para la anchura de la huella, se considera H la anchura de huella que deja la máquina, y a la de la tolva, se tiene que:

$$a = H - 2s \quad (35)$$

Donde S la separación entre la tolva y la rueda, con un valor igual a como se muestra en la figura siguiente:



$$s = (0.08 \dots 0.12) \cdot a \quad (37)$$

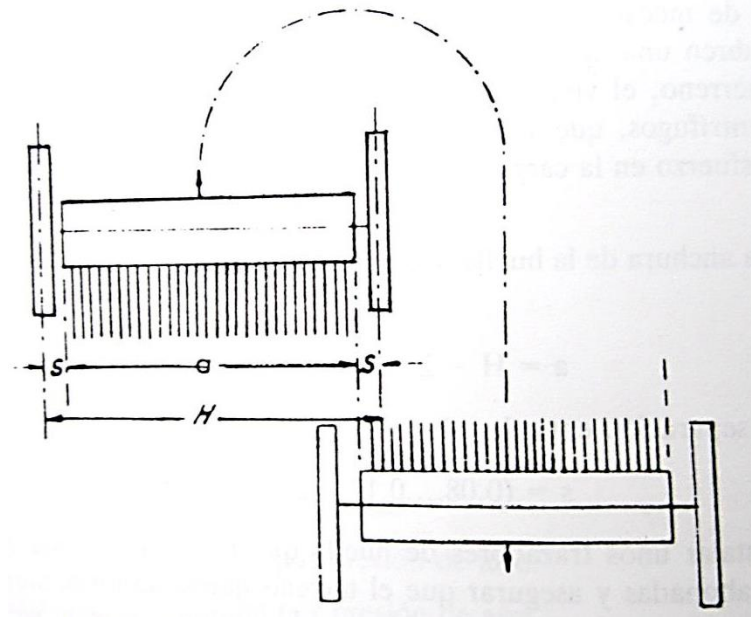


Figura 15. Ancho de trabajo de una fertilizadora.

La fuerza unitaria que necesita de arrastre que necesita este tipo de abonadoras tiene los siguientes valores:

$$F_u = F_r = 400 - 500 \frac{N}{m} \quad (38)$$

En terrenos sueltos, y con la tolva llena, se supera para F_u el valor de 500 N/m esta fuerza F_u es las necesarias para accionar los órganos de distribución (que suele ser muy pequeña) y la que es consumida en la rodadura de la máquina y que vale:

$$F_r = (P + Q) \cdot \rho \quad (39)$$

Siendo P : el peso de la máquina en vacío; $Q = V_m \cdot a \cdot g$ peso del abono contenido en la tolva (V_m = volumen unitario en dm^3/m y g el peso específico en N/dm^3 ; r el coeficiente de rodadura.

El caudal de salida en la mayoría de las máquinas es ayudado por el movimiento de los órganos distribuidores cuyo diseño varía de un equipo a otro. Pero en general el diseño común es basado en unidad de tiempo (G_t) es igual al volumen desplazado (V), también en la unidad de tiempo, por su densidad (δ).

$$G_t = \dot{V} \cdot \delta \quad (40)$$

$\dot{V}$ es igual a la sección de salida (S) por su velocidad de descarga v

$$\dot{V} = S \cdot v \quad (41)$$

De modo que $G_t = S \cdot v \cdot \delta \text{ (kg/s)}$

Dónde: S - expresa en m^2 ; V - expreso en m/s; δ - expresado kg/m^3 .

El caudal real G_r , es inferior al teórico dependiendo la diferencia principalmente del tipo de abono, por lo tanto:

$$G_t = \eta_v G_t \quad (42)$$

Siendo η_v el coeficiente volumétrico de descarga.

1.8.- Fundamentos teóricos y cálculo de los principales órganos distribuidores de fertilizantes.

Teoría de cálculo para el caudal de salida en los diferentes dosificadores por gravedad.

1) De rodillos.

La salida entre dos rodillo en movimiento tiene como anchura a , el caudal real en kg/s se puede estimar como:

$$G_t = a \cdot b \cdot v \cdot \delta \cdot \eta_v \quad (43)$$

Pero si se expresa v en función de la velocidad periférica del rodillo v_t y el resbalamiento del medio en relación al rodillo σ se tiene:

$$v = v_r(1 - \sigma) \quad (44)$$

Donde $v_r = \frac{n_r \cdot \pi \cdot D_r}{60} \text{ (m/s)}$. En donde n_r - las rpm del rodillo; D_r - diámetro del rodillo en metros. Por lo tanto podemos plantear entonces:

$$G_r = \frac{n_r \cdot \pi \cdot D_r}{60} (1 - \sigma) \cdot a \cdot b \cdot \delta \cdot \eta_v \quad (45)$$

2) Cilindro con alveolos.

La salida se realiza mediante cilindros con alveolos o compartimentos radiales, siendo z el número de compartimentos del cilindro, V_1 su volumen y η_v volumétrico de llenado de los compartimentos, y se tiene:

$$\dot{V} = z \cdot V_1 \cdot \frac{n}{60} \cdot \eta_v \quad (46)$$

$$G_r = \dot{V} \cdot \delta = z \cdot V_1 \cdot \frac{n}{60} \cdot \eta_v \cdot \delta \quad (47)$$

3) Banda sin fin o fondo móvil.

La salida se realiza mediante una banda sin fin con movimiento en sentido contrario a la marcha, o transversal al mismo (persianas o cadenas sin fin con eslabones armados de apéndice oblicuos para arrastrar el abono al exterior):

$$\dot{V} = a \cdot b \cdot v \cdot \eta_v \quad (48)$$

$$G_r = \dot{V} \cdot \delta = a \cdot b \cdot v \cdot \eta_v \cdot \delta \quad (49)$$

4) Plato con paletas.

La salida del abono se realiza mediante unas paletas que giran a gran velocidad y que lanzan el abono contenido en unos platos de unos 30 cm de diámetro, situados en el fondo exterior de la tolva, controlándose la cantidad mediante una trampa de regulación. Ortíz-Cañavate (1989), menciona que este sistema es muy rustico y distribuye el fertilizante con bastante regularidad.

5) De tolva central con tornillo sin fin.

Para la distribución con tornillo sin fin, el sin fin se localiza en centro de la tolva que se encarga de recoger el fertilizante hacia el centro. Mediante el giro del sin fin hace la descarga. Para la teoría de cálculo teórico de la capacidad de trabajo, Ortíz –Cañavate plantea los siguientes:

$$S_t = 0.36 a \cdot V_m \left(\frac{ha}{h} \right) \quad (50)$$

Siendo V_m la velocidad de avance de la máquina.

El abono distribuido en una hora se calcula:

$$G_t = D \cdot S_t \left(\frac{kg}{h} \right) \quad (35)$$

Siendo D la dosis (kg/ha)

Para el volumen desplazado se plantea:

$$\dot{V}_b = C_1 \frac{\pi d^2}{4} \cdot v_d (m^3/s) \quad (36)$$

Siendo: C_1 - Coeficiente de llenado. Para abonos pulverulentos vale 0.25 y para granulados 0.40; d - Diámetro del tornillo (m); V_d - Velocidad de desplazamiento del fertilizante (m/s).

Para la velocidad de rotación del sin fin n_t (m/s), esta ecuación depende del paso del sin fin p en metros.

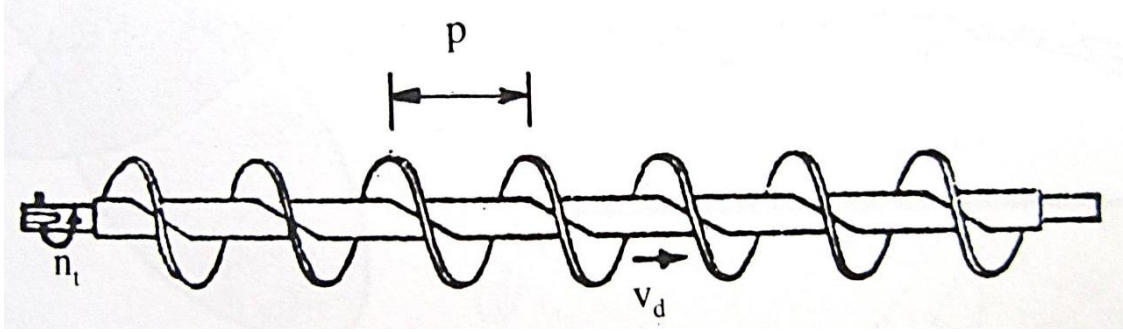


Figura 16. Tornillo sin fin.

Por lo tanto para el cálculo de la velocidad de rotación se utiliza el siguiente:

$$v_d = \frac{p \cdot n_t}{60} \text{ (m/s)} \quad (37)$$

En general este valor oscila entre los 0.2 y 0.4 metros sobre segundos.

Al sustituir los valores, se tiene el caudal real:

$$G_{r1} = \dot{V}_b \cdot \delta = C_1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v_d \cdot \delta = C_1 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{p n_t \delta}{60} \text{ (kg/s)} \quad (54)$$

$$G_t = 2G_{r1} = \frac{D \cdot 0,36 \cdot a \cdot v_m}{3600} \left(\frac{kg}{s} \right) \quad (55)$$

En donde D es igual a:

$$D = 10^4 \cdot C_1 \frac{\pi d^2 v_d \cdot \delta}{2 \cdot a \cdot v_m} \left(\frac{kg}{ha} \right) \quad (56)$$

O en su caso:

$$D = 10^3 \cdot C_1 \frac{\pi d^2 \cdot p \cdot n_t \cdot \delta}{12 \cdot a \cdot v_m \cdot n_t} \text{ (kg/ha)} \quad (38)$$

Otra forma para el cálculo de la descarga o el flujo en el sin fin es:

$$Q = 3600 * \lambda \frac{\pi D^3}{4} * \frac{t * n}{60} * \gamma * k \left[\frac{t}{h} \right] \quad (58)$$

Dónde: Q es el flujo del material en toneladas por hora (t/h), λ el coeficiente de relleno de la sección (adimensional), D el diámetro total del sin fin en metros (m), t el paso del sin fin en metros (m), n las revoluciones en rpm, γ la densidad del material en toneladas por metro cúbico (t/m^3), k coeficiente de disminución del flujo del material (adimensional).

En la determinación de la potencia total necesario para mover el sin fin, Vaganoff (1975) indica que se consideran tres potencias los cuales son la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal de material (P_H), la potencia para el accionamiento del tornillo sin fin en vacío (P_N) y la potencia requerida para un tornillo sin fin inclinado (P_{St}) (expresión 31).

$$P = P_H + P_N + P_{St} \quad (59)$$

En donde P_H se calcula:

$$P_H(kW) = c_0 \frac{QLg}{3600} = c_0 \frac{QL}{367} \quad (60)$$

Dónde: C_0 es el coeficiente de resistencia del material para producto granulado es (tabla 32); L longitud de la instalación.

Tabla 2. Valor de coeficiente C_0

Material	C_0 Empírico
Harina, Aserín, Producto granuloso.	1.2
Turba, sosa, polvo de carbón.	1.6
Antracita, carbón, sal de roca.	2.5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Fuente: Vaganoff, 1975.

Para P_N .

$$P_N(kW) = \frac{DL}{20} \quad (61)$$

Para P_{St} .

$$P_{St}(kW) = \frac{QH}{367} \quad (62)$$

O la potencia total con la ecuación:

$$P = \frac{Q(c_0L + H)}{367} + \frac{DL}{20} \quad (63)$$

Otro autor menciona que es necesario analizar desde un punto de vista de la fuerza axial o de empuje.

Para la determinación éstas fuerzas que actúan en el funcionamiento Aguilar (1999), menciona que durante el movimiento de un material en un transportador de sinfín surge una fuerza en dirección axial, además de que generalmente en la bibliografía especializada se brindan

expresiones empíricas y no se explica cuál es el origen del empuje axial. En la figura 45 se muestra el sentido del empuje de acuerdo al sentido de giro.



Figura 17. Sentido del empuje o

El empuje axial se define como la resultante axial de las fuerzas aplicadas al material (Aguilar. 1999). Tiene dos componentes, una es la resultante de todas las resistencias al movimiento, o sea, las que surgen tanto por el mezclado del material como por el rozamiento entre el material y la canal, hélice y apoyos intermedios; y la otra es la componente del peso del material, en la dirección axial. O sea

$$F_e = W + G \sen \beta \quad (64)$$

Dónde: F_e - fuerza de empuje; W - resistencia al movimiento; G - Peso del material; β - ángulo de inclinación del equipo.

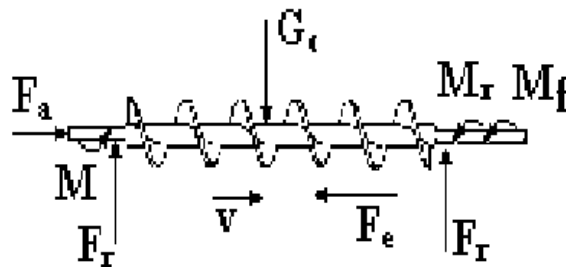


Figura 18. Cuerpo libre del conjunto flecha-hélice

Dónde: G_c - peso del conjunto; F_a - fuerza axial en el cojinete; F_r - fuerza radiales en los cojinetes; M_r - momentos resisitivo del material; M_f - momento de fricción en los cojinetes; M momento externo; V - velocidad de transportación.

Como la posición es horizontal $F_a = F_e$, pero como ecuación feneral se plantea:

$$F_a = F_e + G_c * \sen \beta \quad (65)$$

En esta ecuación no se conoce W por lo tanto, comunmente se ha determinado dividiendo la potencia reclamada por el equipo entre la velocidad angular del eje del motor y por la mitad del rdo de la hélice o sea:

$$W = \frac{P}{\omega * (\frac{r}{2})} \quad (66)$$

Aunque este es una fuerza circunferencial pero se ha considerado como la fuerza axial.

Si se requiere un análisis riguroso se debe buscar la la relación entre las fuerzas que surgen específicamente en la hélice, alicando los conceptos de rozamiento en tornillos de rosca cuadrada:

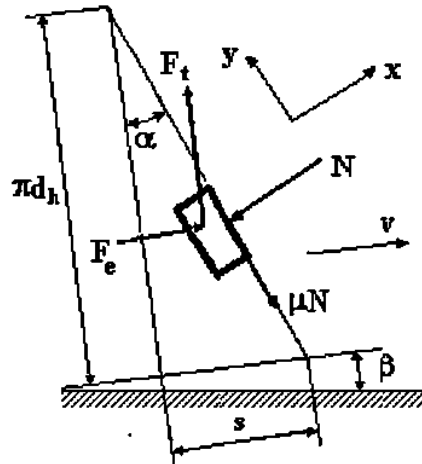


Figura 19. Esquema de la hélice.

En la figura 23 se muestra un esquema de la hélice, representado por un rectángulo, de un transportador de sin fin inclinado β grados respecto a la horizontal, la fuerza F_e en la dirección del eje del equipo, la normal N se ejerce el material contra la hélice, la fuerza de fricción μM al moverse el material por la hélice y la fuerza externa F_t aplicada en un punto de la hélice de forma tal que produzca un momento igual al momento resistivo del material M_r . El punto de aplicación de F_t se halla a una distancia r_t similar a la que se encuentra el centro de gravedad del material sobre la canal. Dicha distancia varia en función del coeficiente de llenado Aguilar (1999) considera 0.15, 0.3, y 0.45 este coeficiente. Si de la figura 23 se hace la suma de las fuerzas en x-y se obtiene.

$$N = F_t * \text{sen}\alpha + F_e * \text{cos}\alpha \quad (67)$$

$$\mu N = F_t * \text{cos}\alpha - F_e * \text{sen}\alpha \quad (68)$$

Sustituyendo la expresión (10) en la ecuación (11) y considerando el ángulo de fricción del material con la hélice $\mu = \tan \rho d$. Se despeja F_t , haciendo una transformación trigonométrica se obtiene:

$$F_t = F_e * \tan(\alpha + \rho_d) \quad (69)$$

Sustituyendo la expresión (2 en la (5 se obtienen:

$$F_t = (F_a - G_c * \text{sen}\beta) * \tan(\alpha + \rho_d) \quad (70)$$

Donde α - el ángulo de inclinación de la hélice; ρ_d es el ángulo de fricción dinámico del material con la hélice. Si se compara la ecuación (5 con la ecuación (1 se nota que F_t solo esta vinculado a vencer las resistencias al movimiento W y para elevar el material de peso G , dicho de otra forma no vence las resistencias generadas en los apoyos del eje.

Si la F_t se multiplica por la distancia entre el eje del motor y su lugar de ubicación; y por la velocidad angular del eje, dará una potencia igual a la suma de dos de los tres componentes por donde se calcula la potencia total en los transportadores sin fin, ecuación 34:

$$\frac{V * \gamma * L}{2600} * \left(\frac{K_m}{K_i * K_h * K_p} + \text{sen}\beta \right) = F_t * 0.4 * d_h * \frac{\pi * n}{30} \quad (71)$$

Donde: F_t – fuerza circunferencial en kN; d_h la distancia de la hélice en metros, k_m coeficiente del material, coeficiente de proporción, k_h coeficiente de hélice, k_i coeficiente de inclinación.

Sustituyendo la expresión (6 en la expresión anterior y despejando F_a se obtiene:

$$F_a = \frac{V * \gamma * L * \left(\frac{K_m}{K_i * K_h * K_p} + \text{sen}\beta \right)}{48 * \pi * d_h * n * \tan(\alpha + \rho_d)} + G_c * \text{sen}\beta \quad (72)$$

F_t - fuerza circunferencial en kN; d_h – diámetro de la hélice en m; k_m – coeficiente del material; k_p – coeficiente de proporción; k_h – coeficiente de hélice y k_i – coeficiente de inclinación.

1.9. La Agricultura de precisión.

El aumento en la demanda de alimentos es uno de los factores que impulsan la búsqueda de nuevos métodos en el proceso de producción, por lo tanto estos nuevos procesos están orientados a sistemas que optimice el uso eficiente de insumos. Esta orientación es la que toma cada vez mayor importancia en el concepto de la Agricultura de Precisión. En términos generales el consumo de granos es la más notoria en este aspecto, en específico del cultivo del maíz, Colegio de Postgraduados (2006), menciona que el maíz se siembra en el 60% de la tierra cultivada (8.4 millones de has.). De esta área sólo el 15.8% (1.33 millones de has.) son de riego. En volumen, la

producción de maíz representa alrededor de dos terceras partes de la producción agrícola de nuestro país.

Ante tal situación es de vital importancia el mejoramiento constante en el sistema de producción y evidentemente las máquinas que intervienen en el proceso, por ello se han buscado el aumento de la productividad, reducción del uso indiscriminado e irracional de los insumos y consecuentemente de la reducción de los costos de producción (Leyva *et al.*, 2001). Esta pretensión es la parte medular de la agricultura de precisión.

Actualmente la necesidad del aumento de la producción de alimentos y la preocupación por la degradación de ambiente son puntos importantes que considera la agricultura de precisión, Leyva *et al.* (2001), indica que en este campo tiene una gran importancia el uso de sensores, microcomputadoras, sistemas de rastreo y de control que permiten y hacen posibles el uso adecuado y eficientes las materias primas.

En el tema de las sembradoras y distribuidoras de fertilizantes convencionales, el limitante más importante es la distribución uniforme tanto de semillas y de fertilizantes, mientras los requerimientos en la agricultura de precisión es la dosificación de acuerdo al requerimiento real del suelo tanto de semillas y de fertilizantes, Leyva *et al.* (2001), menciona que numerosos son los factores que intervienen, como los datos reales del suelo obtenido en los mapeos de fertilidad y de rendimiento y señales satelitales para la localización. Otro de los puntos que menciona el autor es que las máquinas utilizadas en la agricultura de precisión deben tener la habilidad de variar automáticamente en tiempo real la aplicación del insumo a medida que la máquina se desplaza. En este sentido es fundamental que se conozcan los parámetros que interviene en el funcionamiento de las principales partes como en el caso de los dosificadores, para que los mismos sirvan en la elaboración de programas y controladores en un futuro.

Respecto al cambio del sistema mecánico a sistema electrónico para el funcionamiento de los mecanismo principales cobra cada vez mayor importancia, de las máquinas simples hasta las más sofisticadas, ya que actualmente la dosificación son de funcionamiento mecánico (Salvador Barragán, 2006).

Ante tal situación, las máquinas deben ir adecuando a las necesidades a éste tipo de agricultura, Remus, (2001), dice que la revolución causada en la agricultura de precisión han permitido modificar, totalmente, los actuales conceptos de aplicación de las máquinas agrícolas, lo que implica adecuaciones de las mismas.

Algunos de los componentes que hacen posible la agricultura de precisión está el uso de GPS, el sistema de información geográfica (GIS), mapas de rendimiento, mapas del terrenos, tecnologías de aplicación variable de insumos (VRT). Puntualmente la tecnología VRT consiste en la aplicación de un tratamiento a una pequeña zona, en vez de tratar toda la tierra uniformemente, que con esto se aprovecha los insumos correctamente (Remus, 2001). Mismo sentido Hernández et al. (2006) afirma que la agricultura de precisión tiene el objetivo principal la aplicación diferenciada de insumos, lo que implica el usos de la electrónico para ser posible esta aplicación.

Por lo tanto las máquinas que se deben desarrollar sean capaces de interpretar estos datos y señales para que la labor realizada sea en el lugar y a la cantidad correspondiente y necesaria. Por eso la importancia de la introducción de dispositivos electrónicos para el control y manejo de las partes que intervienen en el trabajo de las máquinas e implementos, de manera puntual en los dispositivos de dosificación de semillas y fertilizantes.

En cuanto al diseño de máquinas capaces de realizar la dosificación variable de insumos, no es algo común, existen trabajos como los que se publica en la página del Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA) sobre la agricultura de precisión, pero no ofrece información sobre diseño y construcción de máquinas para este fin. En las exposiciones organizadas por el mismo instituto muestran máquinas con dosificadores compactos, de precisión, los cuales son desarrollados por empresa privadas como Schiarresa ofrece kit de dosificadores con sistema electrónico en cuya ficha técnica indica que cada kit de siembra electro neumático, está compuesto por un soporte metálico, sobre el cual se aplica un dosificador neumático de semillas, una turbina de aspiración que genera presión negativa, un motor eléctrico controlado que hace girar la placa de siembra, un sensor de caída de granos, un sensor de caída de fertilizantes, todas estas funciones son interpretadas por un microprocesador que está conectado a la central de comando.

Otra de las empresas que ya disponen en el mercado dosificadores electro neumáticos es ADDED-TECHNOLOGY que en 2006 en Argentina presentó el primer dosificador desarrollado por esta empresa. Actualmente ofrece kit de dosificadores de semillas electro neumático, mediante sus unidades moto aspiradoras, en donde destaca tres partes principales para el funcionamiento de esta:

Sistema de generación de vacío, Cada dosificador cuenta con una pequeña turbina movida por un motor eléctrico conectado a un circuito controlado desde una consola ubicada en el tractor.



Figura 20. Generador de vacío. Added Tech

El sistema eléctrico de accionamiento de los dosificadores que consiste en una instalación que permite el movimiento de los dosificadores utilizando un motor eléctrico para cada dosificador. El motor está conectado a un circuito controlado desde una consola ubicada en el tractor.



Figura 21. Unidad de mando. Added Tech

Una unidad de mando ubicada en el tractor que posibilita, por medio de un display y software específico con comunicación CAN, elegir los diferentes parámetros de siembra. Una vez conectado, ordena el movimiento de los dosificadores, controla su velocidad y permite el seguimiento centralizado sobre la dosificación que se realiza en cada surco. Asimismo permite anular surcos individualmente.

1.10.- Motores de Corriente Directa.

El motor de corriente directa son máquinas de corriente continua, estos tipos de motores ofrecen ciertas ventajas respecto a los motores de corriente alterna, Fraile (2003) menciona que los motores de corriente continua tienen un mayor grado de flexibilidad para el control de la velocidad y del par, lo cual ha hecho que su aplicación sea diversos como en accionamientos industriales: trenes de laminación, telares, tracción eléctrica, etc.

Fraile (2003) enlista algunos de los componentes (figura 23) de los motores de corriente continua: están constituidos por una parte fija o estator, y una parte móvil o rotor. En la figura 1 muestra las partes importantes como: (1) la culata que forma al circuito magnético inductor y que ejerce la función de soporte mecánico del conjunto; (2) núcleos polares; (3) zapata polar; (4) y (5) polos intermedios o interpolos; (6) inducido; (7) arrollamiento del inducido; 10 colector de delgas; 13 culata o carcasa.

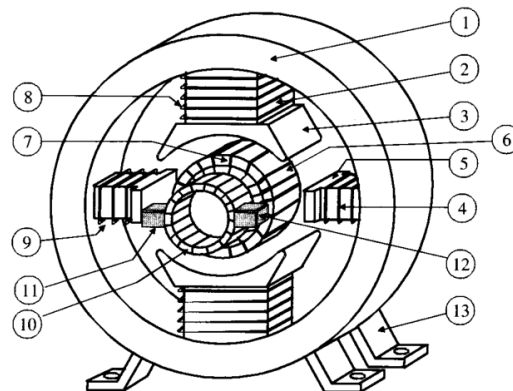


Figura 22. Aspectos constructivos de una máquina de corriente continua.

Fuente: Fraile J. 2003

El principio de funcionamiento es la aplicación de una tensión de corriente continua de alimentación al inducido, que provoca una corriente de circulación por los conductores e este devanado, la interacción de estas corrientes con el flujo inductor origina un par de rotación en sentido contrario a las agujas del reloj que obliga a girar el motor. Esto conduce a la aparición de una fuerza electromotriz FEM en el inducido. El giro de los motores es el resultado de la interacción del flujo del inductor con las corrientes del inducido al conectar éste a una red de corriente continua.

De acuerdo a Wildi (2002), la fuerza electromotriz (Fem) producida en el inducido del motor se debe tener en cuenta que cada bobina del arrollamiento se obtiene una Fem alterna, de tal forma que en un semiperiodo de la mismas el flujo concatenado varía entre los límites $+\theta$ y $-\theta$ (flujo de los polos); en consecuencia, el valor medio de la Fem obtenida en la bobina en el tiempo mencionado será:

$$E_{med} = -\frac{2}{T} \int_{-\phi}^{+\phi} d\phi = \frac{4\phi}{T} \quad (72)$$

Donde T indica el periodo de la corriente; ϕ flujo magnético (wb). Como quiera que la frecuencia de la tensión generada va ligada el número de polos $2p$ y a la velocidad de rotación n en rpm por la relación:

$$f = \frac{np}{60} \quad (73)$$

La Fem media en una espira del inducido será:

$$E_{med} = 4\theta \frac{pn}{60} \quad (74)$$

Los escobillas del motor recoge las Fems inducido en distinta bobina durante un semiperiodo, la Fem resultante en el inducido será igual a la suma de las Fems medias de las distintas bobinas que componente cada rama en paralelo del devanado. Si éste consta de Z conductores que forman Z/2 bobinas y está dividido por las escobillas en $2c$ circuitos derivados, se tendrán en cada rama Z/2c bobinas conectados en serie, que teniendo en cuenta la relación (ecuación arriba) producirán una Fem resultante de magnitud:

$$E = \frac{n}{60} Z \phi \frac{p}{c} = K_E n \phi \quad (75)$$

En la cual $K_E = \frac{Zp}{60c}$ es una constante determinada para cada máquina. De esta expresión se deduce que la fem puede regularse variando la velocidad del rotor o cambiar el flujo inductor mediante el ajuste de la corriente de excitación de los polos.

Para calcular la magnitud de este par debe tenerse en cuenta que si es I_i la corriente total del inducido, la corriente que circula por los conductores del rotor en una máquina con $2c$ circuitos derivados será $I_i/2c$ si denominamos B_{med} el valor medio de la inducción de los polos en los conductores del inducido y L a la magnitud de los mismos, la fuerza media resultante en cada conductor, de acuerdo con la ley de Laplace, será:

$$F_{med} = B_{med} L \frac{I_i}{2c} \quad (76)$$

Y que tiene sentido tangencia al rotor. Si se denomina R al radio del rotor y Z al número de conductores del inducido, se obtendrá un par resultante de magnitud:

$$T = R F_{med} Z = R B_{med} L \frac{I_i}{2c} Z \quad (77)$$

Como quiera que la superficie del inducido comprendida en el paso polar de la máquina es igual a:

$$S_i = \frac{2\pi RL}{2p} \quad (78)$$

El valor del flujo por polo será:

$$\phi = B_{med} \frac{2\pi RL}{2p} \quad (79)$$

Expresión que lleva para determinar el par del motor en función del flujo por polo:

$$T = \frac{1}{2\pi} \frac{p}{c} Z \phi I_i = K_T I_i \phi \quad (80)$$

Donde $K_T = \frac{Z}{2\pi} \frac{p}{c}$ es una constante determinada para cada motor.

Si se tiene en cuenta, la ecuación anterior puede expresarse en función de la Fem del inducido, resultando:

$$T = \frac{EI_i}{2\pi \frac{n}{60}} (Nm) \quad (81)$$

El numerador de esta ecuación representa la potencia electromagnética que se extrae de ella y que es en definitiva el producto del par por la velocidad angular, es decir:

$$P_a = EI_i = T\omega = T \cdot 2\pi \frac{n}{60} (W) \quad (82)$$

En el motor se aplica una tensión de corriente continua de alimentación al inducido, que provoca una corriente de circulación por los conductores de este devanado, cuyo sentido se muestra en la figura 3467. La interacción de estas corrientes con el flujo inductor origina un par de rotación en sentido contrario a las agujas del reloj que obliga a girar a la máquina.

En consecuencia, la Fem engendrada se opone a la corriente que circula por los conductores y por ello recibe el nombre de fuerza contraelectromotriz. El movimiento del motor se mantendrá en tanto que el par electromagnético de rotación producido sea superior al par resistente ejercido por la carga mecánica conectada al árbol de la máquina.

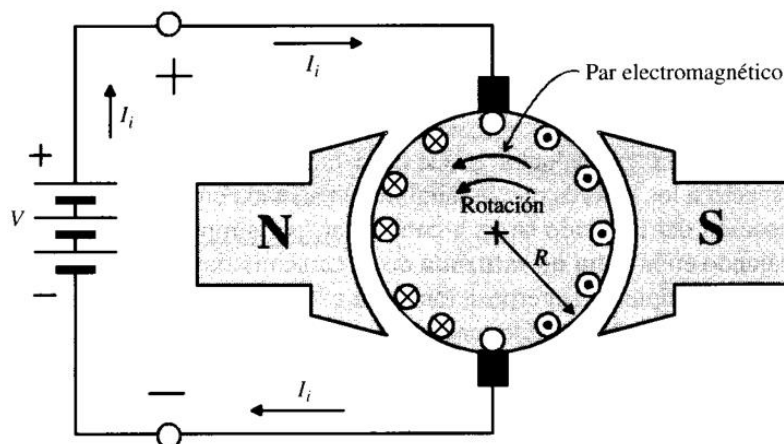


Figura 23. Funcionamiento de un motor de corriente directa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo se realizó en el periodo de Agosto 2011 al noviembre 2013 en las instalaciones del posgrado en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua (IAUIA), y en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA), ambos de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Del proceso de elaboración del prototipo se inició con la revisión de literatura referente a las sembradoras de precisión en particular a los principios de funcionamiento del dosificador neumático para semillas y el tornillo sin fin para la dosificación de fertilizantes. Al igual para el procedimiento del diseño conceptual del dispositivo. El diseño y planos del mecanismo se generaron en el Programa SolidWorks Premium 2013.

2.1. Propiedades físico-mecánicas de las semillas y fertilizantes.

Las propiedades físico-mecánicas de las semillas son necesarias para el diseño y operación de máquinas para siembra (Buitrago et al., 2003). Las propiedades físico-mecánica del maíz, Pérez et al., 2006, han determinado características físicas y la relación que existe con la calidad fisiológica de nueve variedades de semilla de maíz para forraje, en esta determinación también se determina semillas de maíz para forraje de la variedad ‘VPL-Nezahualpilli’ y mezcla de dos fertilizantes: superfosfato simple y Superfosfato de calcio triple, materiales que estarán en contacto directo con los dosificadores.

El método utilizado para determinar las propiedades físico mecánicas de las semillas y la mezcla de fertilizante (mezclado en proporción 65 % Sulfato de amonio y 35 % de Superfosfato de calcio triple) se apegó a lo requerido por la norma mexicana NMX-O-168-SCFI-2002 sobre tractores, implementos y maquinaria agrícola – sembradoras – sembradoras unitarias y/o fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco – especificaciones y método de prueba, y a la Metodología para la realización de las pruebas dada por el Comité Estatal de Normalización Cubana en combinación con las técnicas usadas en el Centro de Evaluación y Estandarización de Máquinas Agrícola (CENEMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En cuanto a las semillas se registrará la siguiente información:

- Variedad.
- Tamaño y forma (L x A x E).
- Masa de 100 semillas.

- Densidad.
- Contenido de humedad.

Tamaño de grano.

Para la medición se utilizan semillas tamizadas y se toman al azar 100 granos. Los valores de la longitud (L), el ancho (A) y del espesor (E) del grano (Figura 13), corresponden a los valores máximos obtenidos y su valor se registra en milímetros (Comité Estatal de Normalización, 1987).

Repeticiones: 100

Instrumentación: Vernier (precisión mínima de 0.01 mm) y dos contenedores de 5 litros.

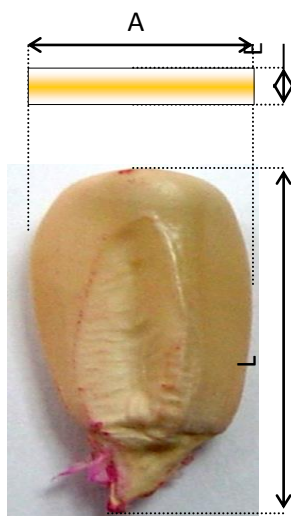


Figura 24. Dimensiones a medir del grano del maíz.

Masa de 100 granos.

Repeticiones: Seis

Instrumentación: Báscula (precisión mínima 0.01 g), tamiz 2 mm y seis contenedores de 5 litros.

Para la medición se utilizan granos tamizados de diferentes mazorcas, distintas a las usadas anteriormente. Se colectan seis muestras de 100 granos cada una, se pesan cada muestra por separado, se calcula el promedio y se registra en gramos (Comité Estatal de Normalización, 1987)

Densidad del grano.

Según Ortiz-Cañavate (1989), la densidad es la masa por volumen unitario de la sustancia, reportada comúnmente en g cm⁻¹, ó g L⁻¹. Simbólicamente se representa con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{P}{V} \quad (104)$$

Dónde: *D* - Densidad (g cm⁻¹ ó g L⁻¹); *P* - Masa de la muestra sin tara (g); *V*- Volumen (cm³ ó L)

Repeticiones: Cinco

Instrumentación: Dos probetas o vasos de precipitado de 1 L (precisión mínima de 1 mL), báscula electrónica digital (precisión mínima de 0.01 g) y un cucharón.

El procedimiento para esta medición consiste en obtener en primer lugar la masa del vaso de precipitado o probeta (g). Después se vacía lentamente la muestra de grano en la probeta hasta alcanzar medio litro y se obtiene su masa. La otra probeta de un litro se llena con agua (hasta la marca de un litro) y en seguida se vacía a la que contiene el grano hasta alcanzar el límite de un litro. Finalmente se mide la cantidad de agua que queda en la segunda probeta, la cual se resta a un litro para obtener el volumen de agua que se le agregó a la probeta con el grano. La densidad del grano se calcula con la ecuación 3 (Comité Estatal Normalización, 1987).

Contenido de humedad del grano.

Repeticiones: Seis

Instrumentación: Báscula con precisión de 0.01 gramos, estufa secadora, seis contenedores de aluminio, cucharón.

Se toma seis muestras de 100 gramos de grano, tomar la masa inicial sin incluir el contenedor y colocarlas individualmente en la estufa a 70 °C, durante 72 horas (Comité Estatal de Normilización, 1987). Después, se obtiene la masa final (peso del grano seco) y se resta la tara de cada contenedor utilizado; finalmente, se calcula el contenido de humedad (%), mediante la ecuación (2) citada en el apartado 3.1.5 de éste documento.

$$H_c = \frac{Mf}{Mi} * 100 \quad (105)$$

Dónde: *H* – la humedad del grano; *Mf* –masa final; *Mi* – Masa inicial.

Distribución de tamaños de las semillas.

Repeticiones: Cinco

Instrumentación: Juego de tamices (10, 20, 40, 60, 80, 100 y 200), báscula (precisión mínima de 0.01 g), cucharón y cinco contenedores de cinco litros.

Para esta medición se toman cinco muestras de 1 kg. Después se tamiza el grano durante 20 segundos utilizando el juego de tamices apilados de forma descendente; se recuperan y se obtiene la masa de los granos retenidos en los tamices. El porcentaje de granos retenidos se obtiene mediante la ecuación 2 (Comité Estatal de Normalización, 1987).

$$G_q = \frac{Mgr}{M_g} * 100 \quad (106)$$

Dónde: G_q - Porcentaje de granos retenido (%); M_g - Masa total de los granos de la muestra (g); Mgr - Masa del grano retenido (g).

Estudio del porcentaje de germinación de la semillas.

Número de repeticiones: 1 (una).

Instrumentos y equipo: Desinfectante, plato de Petri con tapa, papel filtro, agua destilada, pinzas, cuarto con temperatura entre 22 y 29 °C..

Procedimiento: Se deben desinfectar 100 semillas (mediante la solución de hipoclorito de sodio y agua destilada, en proporción 1:10), después las semillas se remojan durante 30 minutos y posteriormente son enjuagadas. Las semillas se colocan, sobre un plato de Petri cuya superficie interior debe ser cubierta con un papel filtro impregnado de agua destilada, después se colocan 10 semillas en cada plato y se cubren con otro papel filtro igualmente mojado con agua destilada. Los platos Petri se tapan y se colocan en un cuarto rango de temperatura de 22 a 29 °C. Se observan diariamente y se van sacando de los platos las que se encuentren germinadas o en las que se aprecie el menor indicio de raíz o brote, del mismo modo, se eliminan las semillas enmohecidas, se cuentan y se registran respectivamente. La duración de esta medición debe ser de 7 días a partir de que la muestra sea introducida en la incubadora. El porcentaje de germinación estará dado por la ecuación 5 (Comité Estatal de Normalización, 1987).

$$G = \frac{Ng}{100 - Ne} * 100 \quad (107)$$

Donde: G - Porcentaje de germinación (%); Ng - Número de semillas germinadas; Ne -Número de semillas eliminada.

Para fertilizantes.

El fertilizante debe ser granulado químico, mezclado en proporción 65 % Sulfato de amonio y 35 % de Superfosfato de calcio triple, (13N :16P), usando las fuentes especificadas a continuación:

Fertilizante nitrogenado: Sulfato de amonio, fertilizante granulado; formulado al 20,5 % N y granulometría de 0,841 mm hasta 3,36 mm.

Fertilizante fosfatado: Superfosfato de calcio triple, formulado al 46 % P₂O₅ y granulometría de 0,841 mm hasta 3,36 mm.

Se registra la información relacionada con el fertilizante (NMX-O-168-SCFI-2002):

- Nombre.
- Fórmula química.
- Forma del fertilizante (aspecto).
- Contenido de humedad.
- Ángulo de reposo.

De acuerdo a la Comité Estatal de Normalización (1987) se puede hacer las pruebas utilizando la metodología siguiente:

Al inicio del estudio de fertilizante, se debe registrar el nombre, fórmula química y la forma (aspecto: granulado o polvo) de este.

Contenido de humedad de fertilizante.

Repeticiones: 5 (cinco)

Instrumentación: Estufa de temperatura constante, mezcla de fertilizante previamente preparada, 5 contenedores metálicos con capacidad de aproximadamente 100 g, y báscula electrónica digital (con capacidad de 0.01 g a 2100 g ó similar).

Procedimiento: Se toma la masa de cada una de las cinco muestras y se meten a la estufa a una temperatura de 90 °C, durante 48 horas, cada muestra es aproximadamente de 100 g. Pasado el tiempo de secado, se obtiene la masa final (masa del fertilizante seco), a las dos masas registradas se les resta la tara del recipiente correspondiente y finalmente se calcula el contenido de humedad (%), mediante la ecuación número 4 (Comité Estatal de Normalización, 1987).

$$H_f = \frac{M_f}{M_i} * 100 \quad (108)$$

Dónde: H_f – la humedad del grano; M_f –masa final; M_i – Masa inicial.

Ángulo de reposo del fertilizante.

Número de repeticiones: 5 (cinco).

Instrumentos y equipo: Medidor de Ángulo de Reposo (MAR), ver figura 2, termómetro de bulbo húmedo, nivel de mano, regla métrica de 1 metro, 5 plumones de diferente color, pliego de papel de estraza de 75 x 75 cm.

Procedimiento: Tomar 30 kg de la mezcla de fertilizante, medir la temperatura del medio ambiente. Se coloca el MAR nivelado horizontalmente y se llena el embudo del MAR con la muestra del fertilizante, asegurándose de que la salida esté cerrada y el aparato esté libre de vibraciones. Se abre la tapa hasta que la punta del montón se eleve hasta alcanzar la boca (salida) del embudo; en caso contrario, se debe añadir más fertilizante (con la tapa abierta hasta que se alcance, posteriormente cerrar la salida). Se marcan 8 puntos alrededor de la base del montón de la muestra sin tomar en cuenta los granos que se encuentren muy separados de la base formada por el fertilizante. Después, se retira la muestra y se mide el diámetro en 4 posiciones, se obtiene un promedio de las 4 medidas y se sustituye en la siguiente ecuación, para después ser registrado el resultado (Comité Estatal de Normalización, 1987).

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{2h}{d - 25}\right) \quad (109)$$

Dónde: α - Ángulo de reposo (grados); h: Altura del cono (mm); d - Promedio de Diámetro (mm).



Figura 25. MAR desarrollado utilizado en CENEMA-INIFAP.

Como segundo método para esta determinación se utilizó un aparato desarrollado en el DIMA en cual se presenta en la figura 4, en esta se lee el ángulo en el transportador adaptado en el reposo, cabe mencionar que el ángulo de reposo que se obtiene por este método es respecto a un material específico.

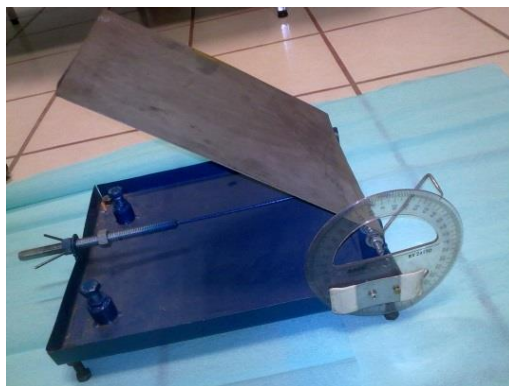


Figura 26. MAR desarrollado en el DIMA.

Distribución de tamaño de fertilizante

Esta práctica, es para determinar las características y homogeneidad de los agregados del fertilizante.

Número de repeticiones: 3 (tres)

Instrumentos y equipo: Mezcla de Fertilizante previamente preparada, juego de tamices (6 [0.132"], 8[0.093"], 7[0.078"], 10 [0.066], 12 [0.055], <0.055") contenedor (2 L de capacidad aproximada), cucharón, báscula electrónica digital (precisión 0.01g, capacidad 5 kg o similar) y elemento de vibración, 200 W de potencia, 20 mm a 300 rpm.

Procedimiento:, Para esto se toma una muestra de 250 g del fertilizante mezclado y se hacen pasar por los tamices mencionados anteriormente, sometidos a vibración durante 30 segundos. Se obtiene la masa del fertilizante retenido en cada tamiz y se calcula su porcentaje respecto de la muestra total (Comité Estatal de Normalización, 1987).

2.2.Diseño de la unidad siembra y de fertilización.

Para la elaboración técnica del dispositivo se utilizó el procedimiento de diseño conceptual, que incluyó una revisión documental sobre mecanismos de dosificadores para fertilizantes y semillas y creación de los planos para la propuesta de diseño. De esta manera se utilizó una combinación de los métodos de diseño establecidos: convencionales al hacer una revisión bibliográfica de los mecanismos dosificadores de semillas existentes; intuitivos al considerar los distintos puntos de vistas y opiniones de los asesores y digresivos al utilizar las normas, catálogos y manuales para elegir soluciones que mejor satisfaga el problema.

Para la definición del problema se obtuvo mediante el análisis de las partes principales o medulares del prototipo. Posteriormente se definieron la función global y las sub-funciones, en

donde se analizaron los principios de solución, se hicieron combinaciones para obtener una que hiciera satisfacer a las funciones particulares, los cuales para generar una buena alternativa, se evaluaron para obtener las que satisfagan a la función global (Pahl y Beitz, 1996).

2.2.1. Diseño conceptual.

En este apartado consiste en formular las ideas para dar solución a un problema, en donde ésta determina las características del problema en cuestión. En específico, en el campo de la ingeniería, el diseño conceptual corresponde a los principios del cual se basa para dar apariencia al objeto, máquina u artefacto a desarrollar. En esta etapa permite conocer el problema, definir las ideas, seleccionar la mejor alternativa de solución, y finalmente los pasos a seguir para la culminación o la construcción del prototipo.

Generalidades.

El propósito de ésta metodología es guiar el diseño, da los pasos a seguir, para llevar el trabajo a una solución, y sobre todo cumplir el objetivo planteado.

En esta etapa se definen algunos conceptos que se utilizan en este trabajo, tales como métodos, metodología, diseño y diseño en ingeniería, para más adelante hacer referencias a ellas.

Método: El método es el procedimiento que se sigue para hallar una verdad. En si nos enseña los paso a seguir para lograr un propósito.

Metodología: La definición destaca como el conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal. Dando a entender una serie de pasos o procedimientos a seguir.

Diseño: Se define como la concepción original de un objeto u obra destinados a la producción. El diseño se puede entender también como la formulación de un plan.

Diseño en ingeniería: Se entiende como el proceso de utilización de los conocimientos técnico-científico para llevar a cabo un proyecto.

Según Pahl y Beitz (1984) el diseño conceptual (figura 27) comprende varias etapas, que a partir de las especificaciones, su análisis mediante diferentes pasos en la abstracción, revelará los aspectos generales y factores esenciales que requiere para resolver un problema, los cuales son los siguientes.

- Eliminar preferencias personales.
- Omitir los requerimientos que no tenga relación directa con la función y las restricciones esenciales.
- Transformar los datos cuantitativos en cualitativos y generalizar.

- Formular el problema (definición del objetivo desde un plano abstracto, sin dejar entrever cualquier solución particular).

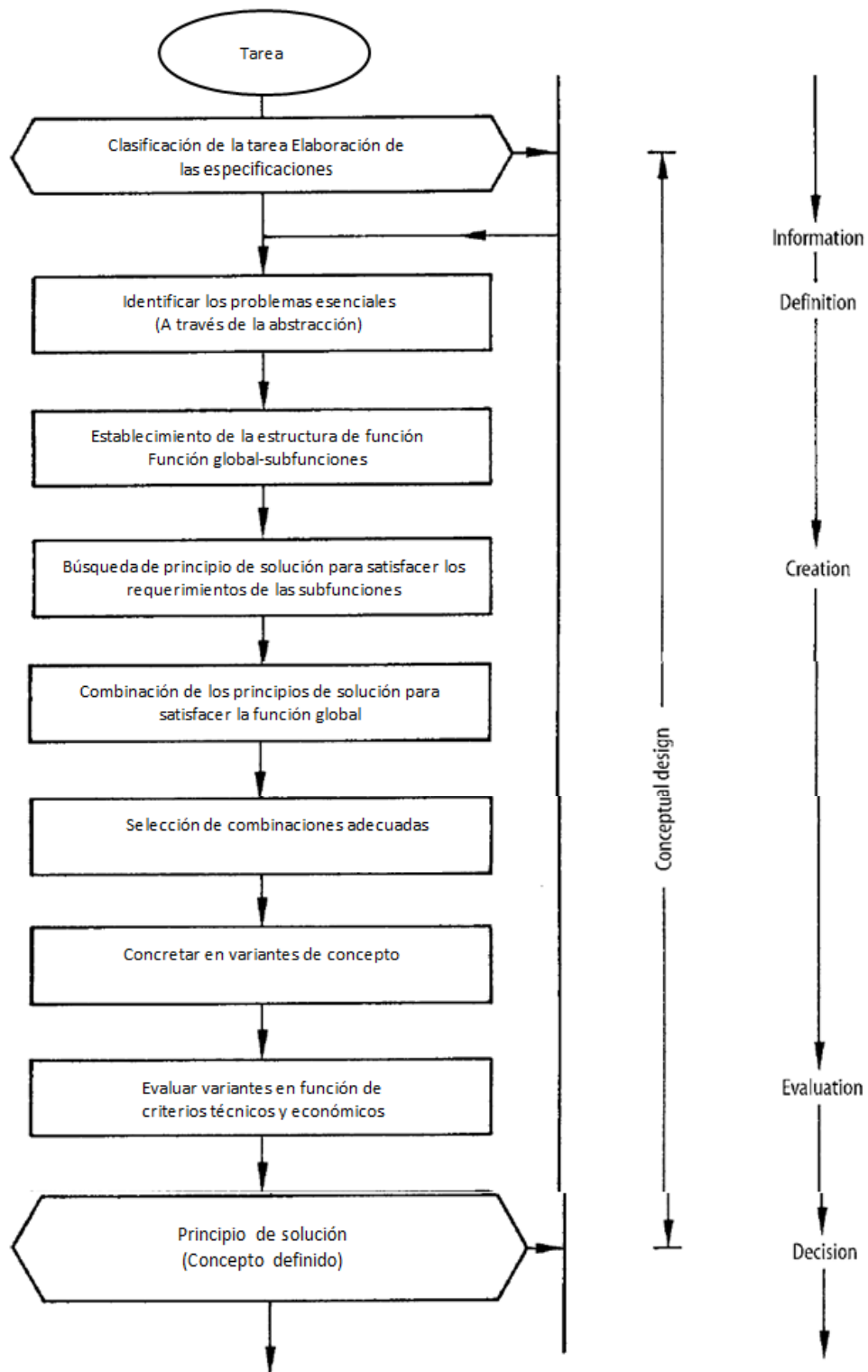


Figura 27. Etapas del diseño conceptual según Pahl y Beitz (1984)

2.2.2.- Diseño de detalles.

En este apartado es donde se realizan los cálculos de los principios de funcionamiento de cada una de las dos unidades, esto con el fin de dar las dimensiones y las formas que deben tener. Además la especificación del costo de mano de obra y de la manufactura.

En el caso del dosificador de semillas se consideran cálculos que puedan describir la posición en donde debe realizarse la succión, la distancia de las celdas, la fuerza necesaria (presión) para que la semilla sea seleccionada y transportada hasta la zona de descarga, en general factores y parámetros que dan la forma del dosificador. El diseño del dosificador de semillas no incluye el diseño la turbina que realiza la succión, por ello solo se dan los valores demandados por el propio dosificador, los cálculos son solamente para encontrar los valores necesarios para el dosificador.

En el caso del dosificador para el fertilizante, se parte de que debe descargar de 60-70 gramos de fertilizante, haciendo relación con una revolución, es decir que por revolución se debe descargar la cantidad antes indicada. Otro parámetro como el régimen de trabajo se establece de acuerdo a las revoluciones de trabajo del motor que se instala. En este apartado también se estiman la potencia necesaria para el funcionamiento del dosificador.

2.3.- Construcción del prototipo.

La construcción del prototipo se llevará a cabo en los talleres del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA), del orden de fabricación, se fabrican en primer lugar los mecanismos que realizan algún movimiento, por lo tanto los sistemas móviles son los primeros que se establecen en los sub-ensamblajes. Los componentes laminados son de acero inoxidable, nylon de alta densidad (nylacero), PTR, y soleras de hierro AISI 1018 para la estructura general.

2.3.1.- Ruta de trabajo.

De éste apartado se determinó las fases para los diferentes procesos de manufactura y ensamble, así como los tiempos necesarios para su ejecución en función del recurso y tiempo disponible.

2.3.2.- Proceso de manufactura.

Al finalizar la fase del diseño conceptual y de los detalles, se construye el prototipo considerando las especificaciones en el plano y las herramientas con la que se cuenta. Además el proceso de fabricación se ordena en función de la disponibilidad del taller y los equipos a ocupar.

2.3.3.- Fabricación de los elementos.

Para fabricar cada una de las piezas, se lleva un control de acuerdo al formato presentado en la tabla 3, en este no se fabrican las piezas que existen estándares en el mercado, como: tornillos, reductores, opresores, tuercas, pasadores, los motores eléctricos, etc.

Tabla 2. Formato de fabricación de las piezas o elementos.

Hoja de fabricación de los elementos				
Elemento	Descripción	Instrumentos y Herramientas	Tiempo aprox.	Costo

2.3.4.- Ensamblaje.

Antes del ensamble general se deben proceder a realiza las pruebas de funcionamiento ambos dosificadores, estas pruebas consisten en funcionamiento de las partes móviles.

2.4.- Pruebas y evaluación.

Para el mejor entendimiento de lo que se pretende hacer en este apartado es necesario definir los conceptos de prueba y evaluación.

El término prueba Iglesias et al (1999) menciona que se refiere al análisis del comportamiento de una máquina comparándola con normas o valores definidos bajo condiciones ideales, con el propósito de obtener información confiable y repetible de la misma.

Los procedimientos de pruebas no abarcan aquellas mediciones y características que estén influenciadas por las condiciones cambiantes del medio, pues de lo contrario no serían repetibles. El término “evaluación” involucra el análisis del comportamiento de una máquina bajo condiciones agrícolas reales. El propósito es obtener información de la misma bajo las condiciones del medio para el cual fue diseñada y que varía continuamente (Iglesias et al., 1999).

De tal modo que los términos son complementarios y que ambos posibilitan obtener un criterio integral sobre el medio que se analiza para determinadas condiciones de trabajo.

En este trabajo el término prueba es lo que adopta, esto ya que el mismo se realiza en condiciones de laboratorio, cabe mencionar que en la práctica se usa ambos términos para referirse a mismo concepto.

En el desarrollo de nuevas máquinas se puede identificar tres etapas importantes, la del diseño, la de construcción y la fabricación en serie.

En la primera, se refiere a la justificación teórica de la propuesta de diseño, es donde se plantea la solución del problema planteado y la determinación de las variables técnicas los aspectos sociales y económicos que involucren en el desarrollo.

La etapa de construcción corresponde a la elaboración de las piezas y los sistemas que conforman la propuesta, en este se aplican las pruebas prácticas de prototipos de sus componentes, mecanismos y/o sistemas, aplicando condiciones de laboratorio o condiciones reales en el campo. En el presente trabajo se hace hincapié que se realizan bajo condiciones de laboratorio específicamente.

La última etapa, de fabricación en serie, no se llega en caso de construcción del prototipo, ya que las pruebas y evaluaciones tienen por finalidad medir la calidad del producto, su durabilidad y eficiencia.

En este trabajo las pruebas son llevadas a cabo en banco proporcionando condiciones ideales. Ya que los datos que se pretende obtener son de funcionamiento específicamente de los dosificadores. Aunque las referencias se toman de acuerdo a datos agrotécnicos son de condiciones reales.

2.4.1.- Definición de las variables de prueba y evaluación.

2.4.2.- Prueba del dosificador de fertilizantes.

Para realizar estas pruebas se elaboran una metodología, en donde se pone atención en los siguientes aspectos: regímenes de trabajos, energía de funcionamiento y mezcla de los fertilizantes.

De la metodología se deben incluir la instrumentación y parámetros a evaluar, además el mismo deben ser repetibles para su verificación, para ello se realizó lo siguiente:

Repeticiones: 25 repeticiones.

Instrumentación: Báscula (precisión mínima de 0.01 g), 2 multímetros, tacómetro, cucharón, marcador a base de aceite, contenedor plástico de 10 litros y 30 bolsas de polietileno de 12x22 cm,

Para evaluar la dosificación se prepara una mezcla de fertilizantes de una proporción de 65 % Sulfato de amonio 35 % de Superfosfato de calcio triple.

El dosificador se probó teniendo instalado un sistema eléctrico, el cual consta de una batería de 12 V a 7 A, un circuito variador de velocidad, un motor de corriente directa con las siguientes características: 12 V a 5.9 A, cuya velocidad salida a 65 ± 3 rpm, con reductor de 60:1.

Se evaluó con tres tipos de fertilizantes, el fertilizante 1 (Mezcla) es una mezcla de una proporción de 65% de sulfato de amonio y 35% de superfosfato de calcio triple (de acuerdo a la norma NMX-O-222-SCFI-2004), fertilizante 2 corresponde a Sulfato de Amonio y el fertilizante 3 corresponde a superfosfato de calcio triple, estos dos últimos sin mezclar.

Se probaron con las velocidades de 10, 20, 30, 40,50 y 60 rpm para cada tipo de fertilizantes, en cada velocidad se hicieron 25 repeticiones en donde cada repetición se tomó datos de Voltaje (Volts), Corriente (Amperios) y la descarga o dosis (gramos).

Con la tolva del 80% de su capacidad se hace la descarga durante un minuto. La lectura de datos se tomó de acuerdo al formato presentado en la tabla 3.

Tabla 3. Formato de pruebas para el dosificador de fertilizantes.

Cantidad dosificada (g).										
No.	10 rpm	Voltaje (V)	Corriente A	20 rpm	Potencial (V)	Corriente A	...	60 rpm	Potencial (V)	Corriente A
...										
Prom.										

2.4.2.- Prueba de dosificador de semillas.

Repeticiones: 25 repeticiones.

Instrumentación: Contador de semillas, 2 multímetros, tacómetro, cucharón, marcador a base de aceite, contenedor plástico de 10 litros y 30 bolsas de polietileno de 12x22 cm,

Para evaluar la dosificación se utiliza semillas de maíz forrajero de la variedad VPL-Nezahualpilli' tamizado.

Con la tolva del 80% de su capacidad se hace la descarga durante un minuto, las revoluciones a evaluar son de 10, 20, 30 y 40 rpm que corresponden a 180, 360, 540, 720 celdas por minuto a un nivel de succión de 10 pulgadas columna de agua, cuya fuerza de succión fue obtenida de la turbina de una sembradora Marca Monosem modelo NG plus 3, el accionamiento de la turbina es por un motor hidráulico movido por la toma de fuerza del tractor.

Las lecturas que se toman son de voltaje, corriente y el número de semillas descargadas en cada repetición, cuyos datos son registrados en el formato mostrado en la tabla 4.

Tabla 4. Formato de prueba para semillas.

Cantidad dosificada (g).										
No.	10 rpm	Voltaje (V)	Corriente A	20 rpm	Potencial (V)	Corriente A	...	60 rpm	Potencial (V)	Corriente A
...										
Prom.										

2.5.- Análisis de costos.

La maquinaria agrícola es una herramienta de producción, como tal sufre un deterioro durante su uso, consecuentemente el costo de utilización es parte de la producción agrícola. El uso de maquinaria agrícola implica en primer lugar poseerla, posteriormente conservarla y el mantenimiento adecuado para su correcto estado de funcionamiento.

Existen costos que permanecen constantes, conocidos como los costos fijos o de posesión de la máquina que nace en el mismo momento de la compra con la inversión del capital necesario para ello.

Sin embargo existen también aquellos costos que dependen del volumen de producción considerada como costos variables o costos de funcionamiento, a veces llamados costos operacionales.

Para determinar la factibilidad del producto en el área de diseño se debe analizar los costos que esto genere, aunque para este solo presenta el costo del prototipo en función del costo de materias primas, costo por usos de máquinas herramientas, mano de obra y gastos diversos. Son diferentes los costos que afectan en el costo total de la máquina entre ellos, Cruz 2012 menciona que los porcentajes en cada caso son los siguientes:

1. Materias Primas. Es el costo de los materiales empleados en la fabricación del prototipo considerando el pago del 16% de IVA.
2. Mano de obra. Se calcula considerando el 50 al 100 % del costo de materiales.
3. Uso de instalaciones. Se utilizará un 20 % del costo de materiales.
4. Consumo de energía eléctrica. Considerando el uso de máquinas herramientas en un 100 % se estima que el consumo de energía sea de \$ 50.00 diario.

2.5.1.- Cotización de partes.

La cotización descrita en la tabla 5 se basa en la lista de partes del dibujo de conjunto mostrado en los planos y en los dibujos de fabricación detallados al final de este trabajo.

Los componentes cotizados se debe presentar como se muestra en la tabla 5, por pieza o cantidad total de varias piezas iguales. En esta lista se incluyen todos los componentes de fabricación de la máquina.

Costo unitario y cantidad de materiales para la construcción de los dosificadores.

Tabla 5. Lista de materiales usados en la construcción de los dosificadores.

Especificación del material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Importe
Total				

2.5.2.- Costo horario del prototipo.

Costo fijo.

A medida que transcurre el tiempo todos los artículos o bienes de capital que se utilizan en la producción de cualquier producto disminuyen su valor, independientemente de que se usen o no.

Los costos para este rubro son la depreciación que la disminución en el valor de una máquina como consecuencia del deterioro físico, obsolescencia e insuficiencia; de seguro que cubre los riesgos y accidentes al cual está sometido durante la vida útil de ésta y de almacenaje considerando éste último el tamaño de la maquinaria. Para calcular estos conceptos se utilizaron las siguientes:

El método más sencillo para calcular la depreciación es el llamado depreciación de línea directa, con la expresión 89 se calcula la depreciación del cual se hace un cargo constante por depreciación (Newman, 1985)

$$D = \frac{V_a - V_r}{nH_a} \quad (89)$$

Dónde: V_a - valor inicial o de adquisición (\$); V_r - valor de rescate (\$) comúnmente corresponde el 0.1 -0.2 de valor inicial; H_a - las horas que se usa por año (h/año); n - el Número de años de vida útil dado en años.

Intereses de capital invertido

El motivo de considerar el interés de capital invertido en la adquisición de un equipo agrícola como costo fijo, radica en el hecho de que este capital ha sido inmovilizado para su uso en otras empresas productivas y por lo tanto equivale a considerarlo como una pérdida de oportunidad de dinero empleado.

Se utiliza el método de depreciación lineal, el interés se calcula sobre la inversión media en la máquina a lo largo de su vida útil. Esta inversión media es la semisuma entre su valor de adquisición y su valor residual en dicho año y por lo tanto el costo de interés viene expresado por el producto de la inversión media y la tasa de interés.

$$I = \frac{V_a + V_r}{2H_a} * i \quad (99)$$

Dónde: i - la tasa de interés anual; V_a – el valor de adquisición; V_r – valor residual; h –horas anuales de uso.

Para el Costo por Seguro se usa la expresión 100:

$$S = \frac{s(V_a + V_r)}{2H_a} \quad (100)$$

Dónde: S - la Prima anual de seguros considerando el 1-2%.

El costo de almacenaje se usa la expresión 101:

$$A = kD \quad (101)$$

Dónde: k se considera 0.01 que corresponde al factor de almacenaje.

Por lo tanto el costo fijo se considera las expresiones anteriores y resulta entonces:

$$CF = D + I + S + A \quad (102)$$

Costo de consumo.

Este concepto depende de dos factores, del consumo de energía y del mantenimiento y reparación. Lo constituyen las erogaciones que se realizan por concepto del pago de salarios de las personas encargadas de la operación de la máquina, por hora efectiva de la misma, de acuerdo a Salazar, 1994 se calcula los siguientes:

Consumo de energía eléctrica:

$$C_E = N_n * 0.746 * P_e \text{ (\$/h)} \quad (103)$$

Dónde: C_E - Costo de la energía eléctrica, \$/kW; N_n - Potencia de accionamiento de la máquina, kW; P_e - Precio de la unidad de energía, \$/kW *h.

$C_E = \$/h$

Mantenimiento y reparación. Son los originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones a efecto de que trabaje con rendimiento nominal durante su vida económica. Este cargo se calcula de la siguiente manera:

$$M = QD \quad (104)$$

Dónde: Q es el factor de mantenimiento que se considerará de 0.40-1 (adimensional); D es la depreciación de la máquina (\$/h).

Por lo tanto el costo de consumo es:

$$CC = C_E + M \quad (105)$$

Costo de operación.

Este concepto es generado por el pago del operador de la unidad, por lo tanto para el cálculo se considera las horas efectivas de trabajo, dicho concepto se calcula con la expresión 106:

$$O = \sum_{i=1}^n \frac{SB(FSR)}{H} \quad (106)$$

Dónde: SB - el salario base (\$); FSR Factor de salario real considerado 1.2 respecto al salario base; H - las horas efectivas de trabajo.

.

Por los anteriores el costo horario total por el uso del implemento se calcula por la expresión 107.

$$CHT = CF + CC + O \quad (107)$$

2.5.3.- Costos de la materia prima.

Se refiere al objeto que se va procesar.

El rendimiento de esta máquina.

Para determinar el costo de la materia prima se utiliza la siguiente expresión:

$$CH_{mp} = PM * Pmp \quad (108)$$

Dónde: PM – la productividad de la máquina, Kg/h; Pmp – Precio de la materia prima.

Ingresos por la venta de la materia prima a procesar.

Los ingresos horarios se determinan con la siguiente expresión:

$$IH = P_m * PH \quad (109)$$

Dónde : P_m – Productividad de la máquina, kg/h; PH – precio de la materia procesada en \$/Kg.

Utilidades

Las utilidades son los ingresos o las ganancias obtenidos al restarse los costos de la producción.

Estas utilidades se determinan mediante la siguiente expresión:

$$U = IH - (CHT + CH_{mp}) \quad (110)$$

Dónde: CHmp – Costo de la materia prima, \$/h.

Relación Costo – Beneficio (Rc/b)

La relación beneficio costo se determina mediante la siguiente fórmula:

$$R_{b/c} = \frac{IH}{(CHT + CH_{mp})} \quad (111)$$

Dónde: R_{b/c} - Relación beneficio - costo, adimensional.

Resultados del análisis económico

La factibilidad se obtiene el valor de la (111) es mayor a la unidad

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1.- Propiedades físico-mecánicas de las semillas y fertilizantes.

En la figura 28 muestran la forma de cómo se obtuvieron las dimensiones de las semillas.



Figura 28. a) Largo, b) Ancho y c) Espesor.

En la tabla 6 se da la estadística básica de las dimensiones de las semillas referente a las tres variables que se midieron.

Tabla 6. Valores medios de las dimensiones de las semillas del maíz.

Variable	N	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
L (mm)	100	10.4	1.90	57.44	1.60	16.70
A (mm)	100	6.8	1.04	18.17	3.40	9.70
E (mm)	100	2.9	1.11	15.27	1.30	9.40

Los valores críticos son el ancho y el largo, la media del ancho es la que se toma en cuenta en este trabajo, ya que esto sirve para dimensionar los orificios o celdas del plato dosificador. Mientras el largo máximo encontrado en las pruebas es para la distancia entre orificios. En maíz Pérez *et al.*, 2006, muestran dimensiones parecidas a los obtenidos en esta prueba.

Masa de 100 semillas.

En la figura 29, la obtención de la masa y en el cuadro 7 los datos estadísticos de las 6 observaciones de la masa de 100 semillas.

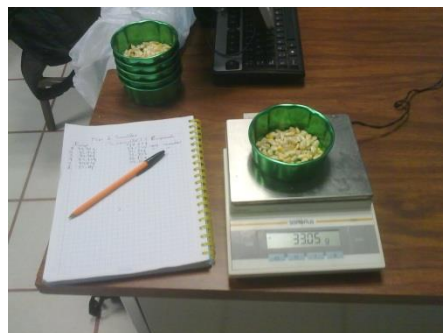


Figura 29. Masa de 100 semillas.

Tabla 7. Estadísticas básicas de la masa de 100 semillas.

Variable	No. de Ob.	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
Masa	6	32.700	0.500	0.013	32.05	33.15

Dónde: D.E. – desviación estándar; C.V. – coeficiente de variación

El conocimiento de la masa de la semillas es un dato importante para estimar la fuerza necesaria para adherir la semilla en las celdas, al igual estimar la succión o la presión que debe generar el ventilador.

Densidad.

En las figuras 30, muestra de semillas usado para obtener la densidad y en la tabla 8 y 9 la estadística básica de la densidad de las semillas en donde se presenta la masa, volumen aparente másica y la densidad aparente volumétrica de 5 observaciones



Figura 30. Obtención de la Densidad.

Tabla 8. Estadística básica para la densidad de las semillas

No. Ob.	Densidad aparente					
	Masa (kg)	V. A. (m ³)	DAPm (kg/m ³)	Masa (g)	V. A. (L)	DAPL (g/l)
1	0.35250	0.000302	1167.2185	352.50000	0.302000	1167.2185
2	0.36220	0.000315	1149.8413	362.20000	0.315000	1149.8413
3	0.35540	0.000310	1146.4516	355.40000	0.310000	1146.4516
4	0.35035	0.000300	1167.8333	350.35000	0.300000	1167.8333
5	0.34833	0.000300	1161.1000	348.33000	0.300000	1161.1000

Dónde: V.A. – volumen aparente, m³; DAPm – densidad aparente másica, kg m³; DAPL – densidad aparente volumétrica, g l⁻¹.

El volumen promedio de las 5 observaciones es de: 0.00031m^3 , una Densidad aparente másica de 1158.49 kg/m^3 y Densidad aparente volumétrica de 1158.49 g/l .

Tabla 9. Estadísticas básicas de las variables masa, volumen y la densidad aparente másica y volumétrica.

DAP (kg m^{-3})						
Variable	No. de Ob.	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
M (kg)	5	0.35376	0.00539	1.5236	0.34833	0.36220
V (m^3)	5	0.00031	6.76E-06	2.2163	0.00030	0.00032
DAP	5	1158.49	9.8744	0.8523	1146.45	1167.83
DAP (kg l^{-1})						
M (g)	5	353.756	5.39962	1.5263	348.33	362.2
V (L)	5	0.3054	0.00676	2.213	0.3	0.315
DAP	5	1158.49	9.87445	0.8523	1146.45	1167.83

Dónde: D.E. – desviación estándar; C.V. – Coeficiente de variación.

Humedad de 100 semillas.

En la determinación de la humedad se tomaron primero la masa de las 100 semillas (Figura 31 a), después se mantuvo en una estufa de secado (Figura 31 b) durante 72 horas a 72°C , al terminar este lapso de tiempo se tomaron la masa cada 2 horas hasta que se estabilizó.

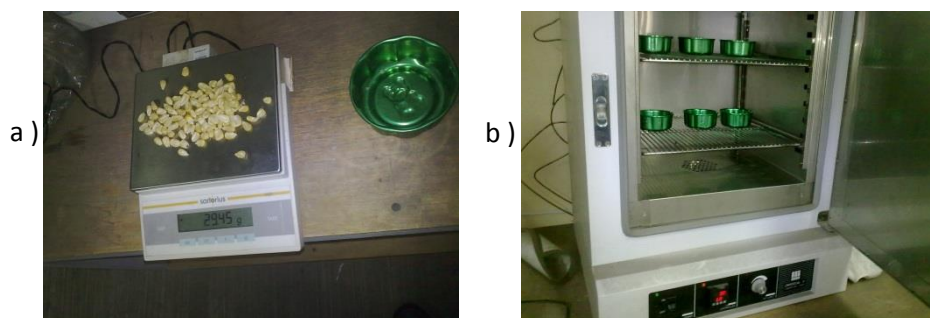


Figura 31. Secado de semillas.

En el tabla 10 se dan los datos observados de la masa húmeda, masa seca, humedad con base a masa húmeda y humedad con base a masa seca de 100 semillas de maíz, y en el cuadro 12 se dan las estadísticas básicas de las variables.

Tabla 10. Contenido de humedad de 100 semillas.

No. Ob.	Msh (g)	Mss (g)	Wss (%)	Wsh (%)
1	33.95	32.40	4.78	4.57
2	34.35	32.70	5.05	4.80
3	31.70	30.25	4.79	4.57
4	32.75	31.20	4.97	4.73
5	30.95	29.45	5.09	4.85
6	33.05	31.50	4.92	4.69

Dónde: Msh – masa húmeda; Mss – masa seca; Wss – contenido de humedad con base a masa seca, %; Wsh – contenido de humedad con base a masa húmeda, %;

Contenido de humedad con base a masa seca (Wss). El contenido de humedad de 100 semillas tuvo un valor promedio general de 4.93%.

Contenido de humedad con base a masa húmeda (Wsh). El contenido de humedad de 100 semillas tuvo un valor promedio general de 4.70%.

Masa de la semilla seca (Mss). La masa de 100 semillas tuvo un valor promedio general de 31.25 gramos.

Masa de la semilla húmeda (Msh). La masa de 100 semillas tuvo un valor promedio general de 32.79 gramos.

Estadísticas básicas:

Tabla 11. Estadísticas básicas de las variables Msh, Mss, Wss y Wsh.

Variable	No. de Ob.	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
Wss	6	4.93	0.1294	2.6247	4.78	5.09
Wsh	6	4.70	0.1160	2.4680	4.57	4.85
Mss	6	31.25	1.2433	3.9785	29.45	32.70
Msh	6	32.79	1.2978	3.9579	30.95	34.35

Dónde: D.E. – desviación estándar; C.V. – coeficiente de variación.

Distribución de tamaños de las semillas.

La distribución de tamaños de las semillas del maíz usadas en las pruebas son las que se muestran a continuación, tabla 12, en donde se aprecia que el 97.23% tiene una dimensión mayor a 5.13 mm.

Tabla 12. Distribución de tamaños de las semillas de maíz.

Abertura (mm)	Distribución de semillas		
	Masa (g)	% Retenida	% que pasó
19.05	0	0	100
12.7	0.17	0.017	99.983
9.5	24.33	2.43	97.553
5.13	972.33	97.23	0.323
1.91	2.83	0.28	0.043
0.86	0	0	0
0.38	0	0	0
0.25	0	0	0

En la figura 32 muestra el porcentaje de semillas que pasaron en los distintos tamices, con ello se determina el tamaño promedio de ellas.

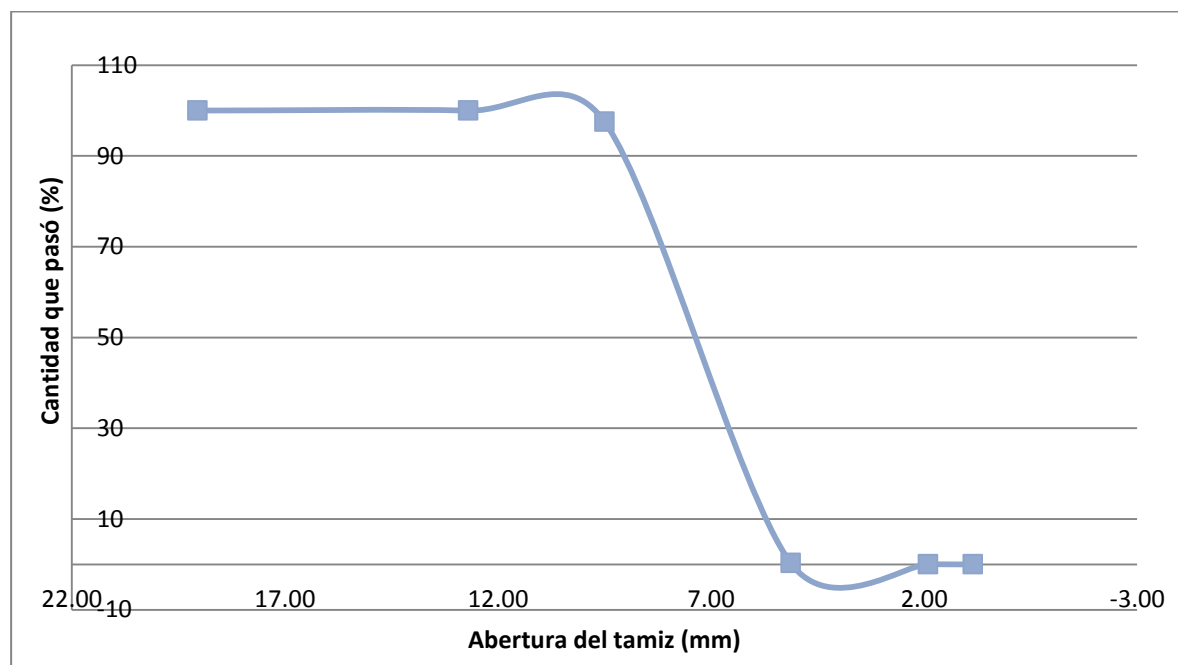


Figura 32. Distribución de tamaños de las semillas de maíz.

Angulo de reposo.

En el cuadro 13 se dan los datos observados de las cinco repeticiones, de dos métodos, para el ángulo de reposos de fertilizante y en el cuadro 15 se da la estadística básica de éstas variables. La figura 33 se observa la variación de cada método usado en la obtención del ángulo de reposo.

Tabla 13. Datos observados del ángulo de reposos.

N	Diámetro	Altura	Radio	Cociente	Ángulo1	Ángulo2
1	42.5000	12.5000	21.2500	0.5882	30.4655	31
2	42.0000	12.5000	21.0000	0.5952	30.7627	29
3	42.2500	12.5000	21.1250	0.5917	30.6135	31
4	42.5000	12.5000	21.2500	0.5882	30.4655	29
5	41.7500	12.5000	20.8750	0.5988	30.9133	30

Dónde: Ángulo1 - el ángulo con el primer método, Ángulo2 - el ángulo con el segundo método. Los diámetros altura y radio del contenedor (cm) del cono formado, del primer método.

Angulo de Reposo del primer método: El ángulo de reposos del fertilizante con el primer método fue en promedio de 30.6441 grados.

Angulo de reposos del segundo método:

El ángulo de reposos del fertilizante con el segundo método fue en promedio de 29.5 grados.

Tabla 14. Estadísticas básicas.

Variable	N	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
D1	5	42.200	0.325	0.772	41.750	42.500
R1	5	12.500	0.162	1.303	20.870	12.500
A1	5	30.640	0.194	0.634	30.465	30.913
A2	5	30.000	1.000	3.333	29.000	31.000

Dónde: D.E. la desviación estándar, CV el coeficiente de variación.

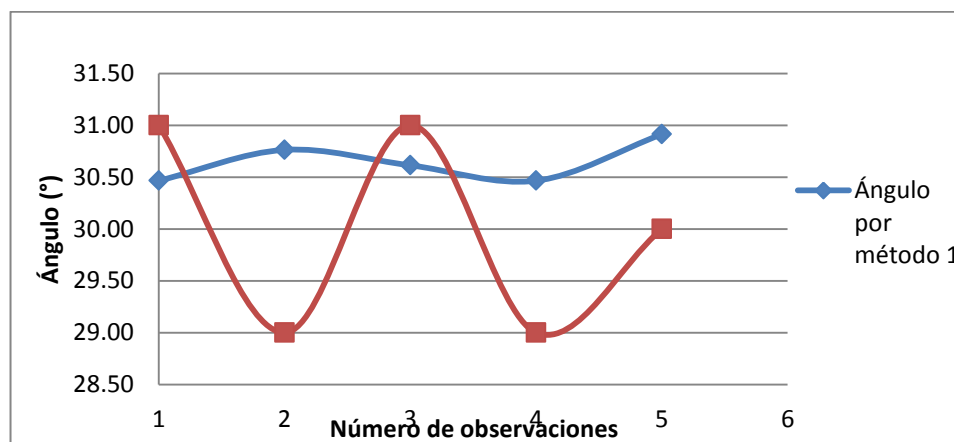


Figura 33. Ángulo de reposo obtenido por dos métodos diferentes.

El angulo de reposo indica a que inclinación el fertilizante resbala, por lo tanto son considerados en el diseño de tolvas y otros elemento que están en contanto con el fertilizante.

Contenido de humedad del fertilizantes.

En el cuadro 15 se dan los datos observados para la pérdida de humedad de las cinco muestras de fertilizantes, mientras en el cuadro 16 se dan las estadísticas básicas de los mismos.

Tabla 15. Contenido de humedad del fertilizante.

No. Ob.	Msh (g)	Mss (g)	Wss (%)	Wsh (g)
1	144.6	143.75	0.59	0.59
2	145.95	145.1	0.58	0.59
3	144.75	143.9	0.59	0.59
4	145.45	144.6	0.58	0.59
5	144.8	143.9	0.62	0.62

Dónde: Msh – masa húmeda; Mss – masa seca; Wss – contenido de humedad con base a masa seca, %; Wsh – contenido de humedad con base a masa húmeda.

Contenido de humedad con base a masa seca (Wss). El contenido de humedad con base a masa seca del fertilizante tuvo un valor promedio general de 0.592%.

Contenido de humedad con base a masa húmeda (Wsh). El contenido de humedad con base a masa húmeda de los fertilizantes tuvo un valor promedio general de 0.596%.

Masa de los fertilizantes seca (Mss). La masa del fertilizante seco tuvo un valor promedio general de 144.25 gramos.

Masa del fertilizante húmeda (Msh). La masa del fertilizante húmedo tuvo un valor promedio general de 145.11 gramos.

Tabla 16. Estadísticas básicas de las variables Msh, Mss, Wss y Wsh.

Variable	No. de Ob.	Media	D.E.	C.V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
Wss	5	0.592	0.572	0.394	144.6	145.95
Wsh	5	0.596	0.579	0.402	143.75	145.1
Mss	5	144.25	0.02	2.776	0.58	0.62
Msh	5	145.11	0.01	2.251	0.59	0.62

Dónde: D. E. es la desviación estándar, C. V. el coeficiente de variación.

Distribución de tamaños de los fertilizantes usados en la prueba.

En la tabla 17 muestra valores promedio de 6 repeticiones del tamizado de dos tipos de fertilizantes y la mezcla de estos fertilizantes.

Tabla 17. Distribución de tamaños de fertilizantes.

Abertura (mm)	Distribución de tamaños en el tamiz.								
	Sulfato de amonio			Superfosfato de calcio triple			Mezcla		
	Masa (g)	% Retenida	% que pasó	Masa (g)	% Retenida	% que pasó	Masa (g)	% Retenida	% que pasó
19.05mm	0	0	100	0	0		0	0	100
12.7mm	0	0	100	0	0		0	0	100
9.5 mm	0	0	100	7	0.70	100	5.66	0.56	100
5.13mm	1.66	0.16	99.83	688	68.80	99.300	238.16	23.82	99.433
1.91mm	178.66	17.86	81.97	193	19.30	30.500	364.16	36.42	75.617
0.86mm	755.67	75.56	6.40	42	4.20	11.200	380.16	38.02	39.200
0.38mm	54.67	5.46	0.93	34	3.40	7.000	4.83	0.48	1.183
0.25mm	7.83	0.78	0.15	37	3.70	3.600	5.83	0.58	0.700
0.13mm			0			0			0.117

En la figura 34, una gráfica de la distribución de tamaños de dos tipos de fertilizantes y la mezcla de estas dos, se aprecia que existen partículas de más de 5 mm.

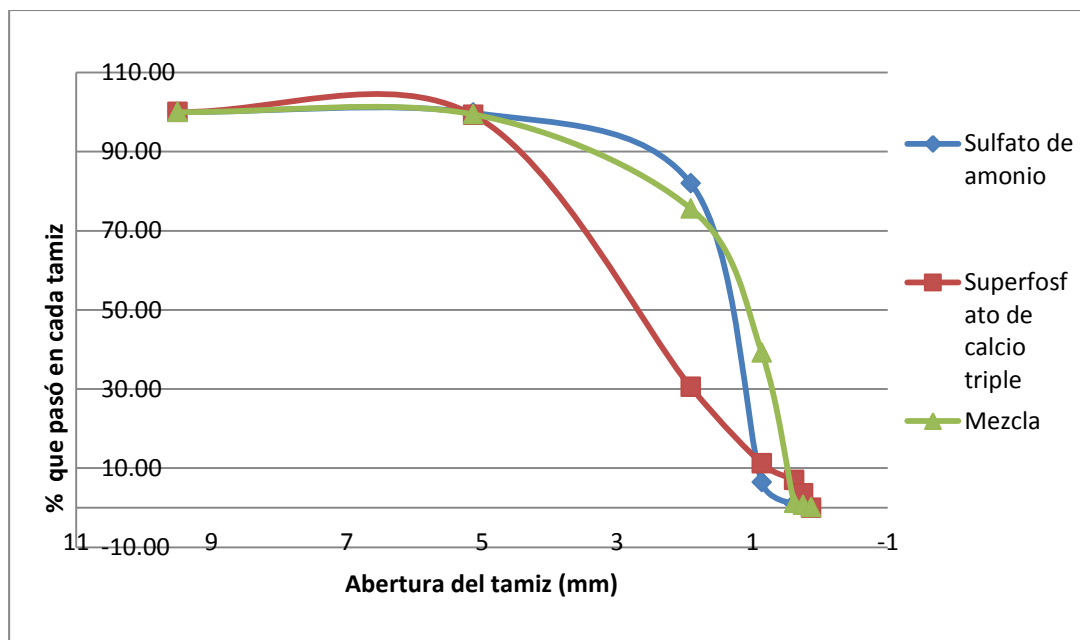


Figura 34. Distribución de tamaños de los fertilizantes.

3.2.- Diseño Conceptual.

Identificación de la necesidad.

Las sembradoras accionan los mecanismos por medio de la fuerza proveniente de las ruedas del implemento, por tanto la dosificación no solo depende del avance sino también de un sistema de engranajes. Con ello podemos identificar dos problemas; La distribución uniforme de fertilizante sin importar la fertilidad, la calibración requiere un buen conocimiento del mecanismo, una mala dosificación requiere de uso excesivo de material y un tercero que no hay que dejar de ver es el resbalamiento del implemento. Donde éste último resulta en una mala distribución de las semillas y fertilizantes.

Es aquí la necesidad de contar con equipo en donde el dosificador sea preciso y que sea capaz de dosificar variablemente en donde la fertilidad del suelo lo requiera, que el accionamiento de los mecanismos de dosificación sea independiente del avance del conjunto tractor-implemento.

Definición del Problema.

Se trata del diseño de una unidad siembra y de fertilización capaz de distribuir variablemente las semillas y los fertilizantes respectivamente y que el accionamiento de los dosificadores sea independiente del avance del implemento.

En todo diseño se requiere establecer los requisitos y parámetros que debe cumplir la máquina, producto de esto se enlistan los siguientes:

Composición. La unidad debe ser de tamaño similar a lo existentes, es decir muchos de los componentes son de tamaños y formas estándares. El material de construcción será de materiales similares o iguales a las usadas para sembradoras.

Parámetro técnico.

Potencia: Se utilizan dos motores de corriente directa de 0.25 HP o menor.

Requisitos Tecnológicos.

Tipos de semillas: Semillas de grano grande (Frijol y Maíz)

Dimensiones de las semillas: largo 10.5mm, ancho de 6.8mm y espesor de 3 mm en promedio.

Rango de trabajo: velocidad variable, de 10 a 60 rpm.

Daño Mecánico de las semillas: Menor al 5%.

Condiciones de explotación.

Contenidos de humedad: Entre 5 – 10 % para semillas y entre 60 – 80%.

Índices Económicos.

Precio límite: \$32000.00 para ambos dosificadores.

Generación de alternativas de solución.

Una proposición, una idea o propuestas que resuelve un problema se llama solución. En la solución que se busca en el campo de la ingeniería es que debe reunir criterios y condiciones técnicos. En este campo la solución no puede estar apartada de los principios físicos de la propia máquina.

Metodología propuesta

Partiendo que una necesidad existe, en específico la necesita de una herramienta que apoye a algún proceso, entonces existe una alta relación hombre- máquina-materiales (producto), el cual no debemos perder de vista y no dejar de considerar. Durante todo el diseño esa relación debe permanecer para poder satisfacer la necesidad o resolver el problema planteado.

Alternativas de solución.

La proposición de varias soluciones para el problema tiene el objeto de crear alternativas posibles que ofrezcan una visión más amplia las ventajas que se tendrán al llevar a cabo la construcción de la máquina.

Establecimiento de la estructura de las funciones.

Con el fin de entender la formulación del problema se estable las funciones global y sub-funciones con el fin de expresar el flujo de energía, materiales, señales, etc., y expresar la relación que existe entre ellos, además muestra la relación que existe entre cada uno de los factores de entradas y salidas.

La función global expresa la relación entre la entrada de materias primas y la salida con el proceso requerido, la función principal de la máquina “sembrar y distribuir fertilizantes”, en contraste, las de Sub-funciones expresa de manera desglosada a cada una de las funciones particulares que se designa a cada parte principal de la máquina.

En el siguiente diagrama se encuentran simbolizados los parámetros de entradas y de salidas.

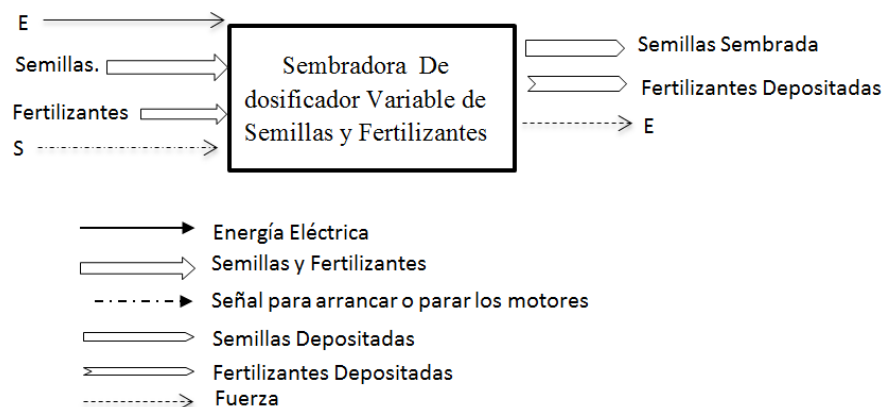


Figura 35. Diagrama de bloques para la función Global.

Al especificar las sub-funciones permite dar una solución particular, y luego poder entrelazar entre la función global y la Sub-funciones, con el fin de que funcionen como un todo; en ello, un principio de solución debe reflejarse físicamente para satisfacer a cada función, esto es el punto de partida de la solución, del cual define el tipo de solución. En esta puede haber más de una solución o también una solución pueda satisfacer más de una función.

Las siguientes Sub-funciones son las que debe realizar:

Para fertilizantes:

- Almacenamiento de Fertilizantes.
- Conducción al dosificador.
- Dosificación.
- Descargar.

Sub-funciones para el dosificador de fertilizantes.

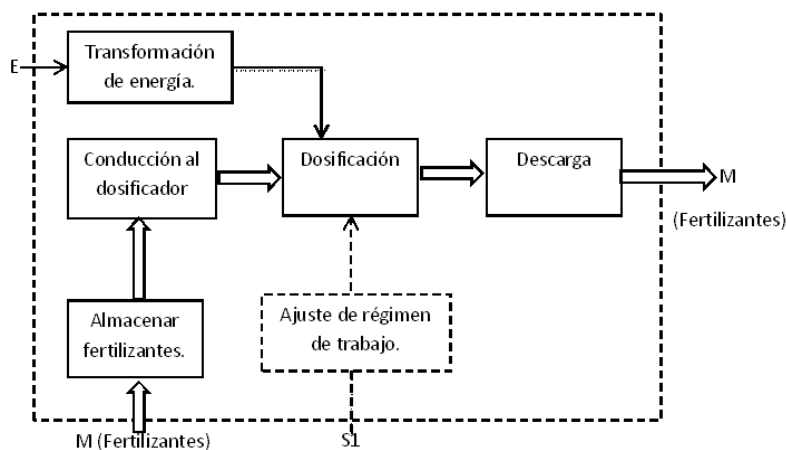


Figura 36. . Diagrama de bloques sub-función para el dosificador de fertilizantes.

Para semillas.

- Almacenamiento de Semillas.
- Conducción al dosificador.
- Posicionamiento en las celdas.
- Transporte al conducto de caída.

➤ Descarga.

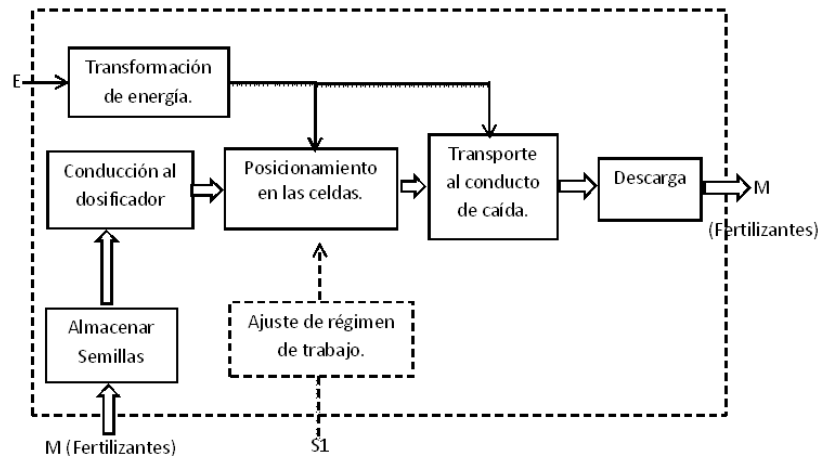


Figura 37. Diagrama de bloques de las sub-función para el dosificador de semillas.

Búsqueda de principios de solución para satisfacer las Sub-funciones.

En general se tienen que:

- Un principio de solución debe verse reflejado el efecto determinado para satisfacer la sub-función dada.
- Este principio de solución debe ser el primer paso concreto para generar una solución definitiva.
- En el diseño las Sub-funciones son satisfechas por soluciones ingenieriles basadas en fenómenos físicos, casos muy en donde se requiere una explicación biológica o química.
- En la búsqueda de solución se plantea un campo de soluciones con el fin de tener alternativas y puedan ser seleccionadas una mejor.
- La variación en el campo de soluciones puede darse por efectos físicos o por la representación de las formas de diseño.
- Una solución puede satisfacer más de una sub-función, así también una sub-función puede ser satisfecha por más de una solución.

A continuación en la tabla 19 y 20 se indican algunos principios de solución para satisfacer las Sub-funciones. Este método, es un método convencional por analogía.

Fertilizantes.

Tabla 18. Funciones específica de dosificador de fertilizantes.

Sub-funciones	Soluciones.	
	Solución 1	Solución 2
1.- Almacenamiento de Fertilizantes.	Tolva General para varias unidades.	Tolva individual por unidad.
2.- Conducción al dosificador.	Reducción para cada dosificador	Reducción de la tolva.
3.- Dosificación del Fertilizantes.	Por compuesta.	Por Tornillo sin fin.
4.- Descarga.	Por sistema de paletas	Por gravedad.
5.- Energía de funcionamiento.	Sistema mecánico provenientes de las ruedas de mando	Por motores de corriente directa.

Semillas.

Tabla 19. Funciones específica del dosificador de semillas

Sub-funciones	Soluciones.	
	Solución 1	Solución 2
1.- Almacenamiento de Semillas.	Tolva General para varias unidades.	Tolva individual por unidad.
2.- Conducción al dosificador.	Reducción de la tolva con descarga central	Reducción de la tolva acanalo con descarga lateral de la tolva.
3.- Posicionamiento en las celdas.	Por presión en plato dosificador lisa.	Por succión en plato dosificador con estrías.
4.- Transporte el conducto de caída	Por presión proporcionado por un ventilador de alta presión.	Por succión proporcionado por un ventilador de alta presión.
5.- Descarga.	Por gravedad al cortar la succión	Por gravedad al cortar la succión
6.- Energía de funcionamiento.	Sistema mecánico provenientes de las ruedas de mando	Por motores de corriente directa.

Evaluación y selección de la mejor alternativa.

Los criterios que se van a empleados en la evaluación del diseño conceptual para de la unidad sembradora son:

1. Que cumpla la función principal.
 - Excelente productividad.
 - Bajo costo de inversión.
 - Bajo costo de explotación.

2. Principio de funcionamiento.

- Funcionamiento simple.
- Requerimiento de potencia.
- Parámetros tecnológicos.
 - Sin daño a las semillas ni fertilizantes.
 - Dosificación adecuada.
 - Sin fallo durante el funcionamiento.

3. Materiales.

- Bajo número de componente.
- Componentes simples.
- Partes compactas.
- Diseño simple.

4. Condiciones de operación.

- Poca exigencia de uniformidad de semillas.
- Larga vida útil y desgaste mínimo de las piezas.
- Facilidad de operación y mantenimiento.

5. Seguridad.

- Seguridad.

6. Producción.

- Facilidad en la construcción de partes.
- Facilidad de ensamble.

7. Mantenimiento.

- Facilidad en mantenimiento y limpieza.
- Facilidad en la reparación.

Construcción del árbol de objetivos.

Para análisis sistemáticamente los criterios de evaluación se ordenan jerárquicamente en un “árbol de objetivo” los cuales los sub-objetivos son evaluados mismo que puedan evaluar a un objetivo mayor.

Toda forma de evaluación para éste fin debe estar dado en un sentido positivo, no es conveniente utilizar frases que descalifiquen alguna cualidad. Algunos ejemplos como “poco consumo de energía, altamente eficiente, bajo costo, etc.

Ponderación de criterios.

Cuando se tiene identificado los criterios de evaluación se identifica cuáles son las que aportan en la solución global, además de este permite identificar cuales criterios son relativamente importante y las que pueden suprimirse antes de empezar con la evaluación general y definitiva.

El peso o importancia de la contribución del criterio a la solución global se cuantifica con “factor de ponderación” que se denomina con la letra “w”, asignándole el valor 0 ó 1 ó de 0 a 100, en donde se hace énfasis que la suma de la ponderación de todos los criterios de evaluación al final sume 1 o 100.

Carta de Evaluación

La asignación de los valores para determinar su importancia debe ser de parámetros cuantificables de los cuales son expresados en oraciones entendibles describiendo de la mejor manera el criterio y parámetro a evaluar. La denominación carta de evaluación es en donde se anotan los valores de los parámetros a evaluar, en donde los criterios se correlacionan con los parámetros.

Asignación de valores.

La asignación de valores se hace basándose a una tabla ya establecida, la siguiente tabla 20 muestran estos valores y las escalas de calificación a las alternativas de diseño.

Tabla 20. Escala de evaluación.

Escala de Evaluación			
Análisis de Valor		Consideraciones en el mecanismo	
Puntos	Significado	Puntos	Significado
0	Solución inútil	0	Insatisfactoria
1	Solución inadecuada	1	Adecuada
2	Solución simple		
3	Solución tolerable		
4	Solución adecuada	2	Adecuada
5	Solución satisfactoria	3	Buena
6	Solución con pocos inconvenientes		
7	Solución buena		
8	Solución muy buena	4	Muy buena o ideal
9	Solución con requisitos cumplidos		
10	Solución ideal		

En la figura 38 se presenta la estructura del árbol de objetivos con ponderación.

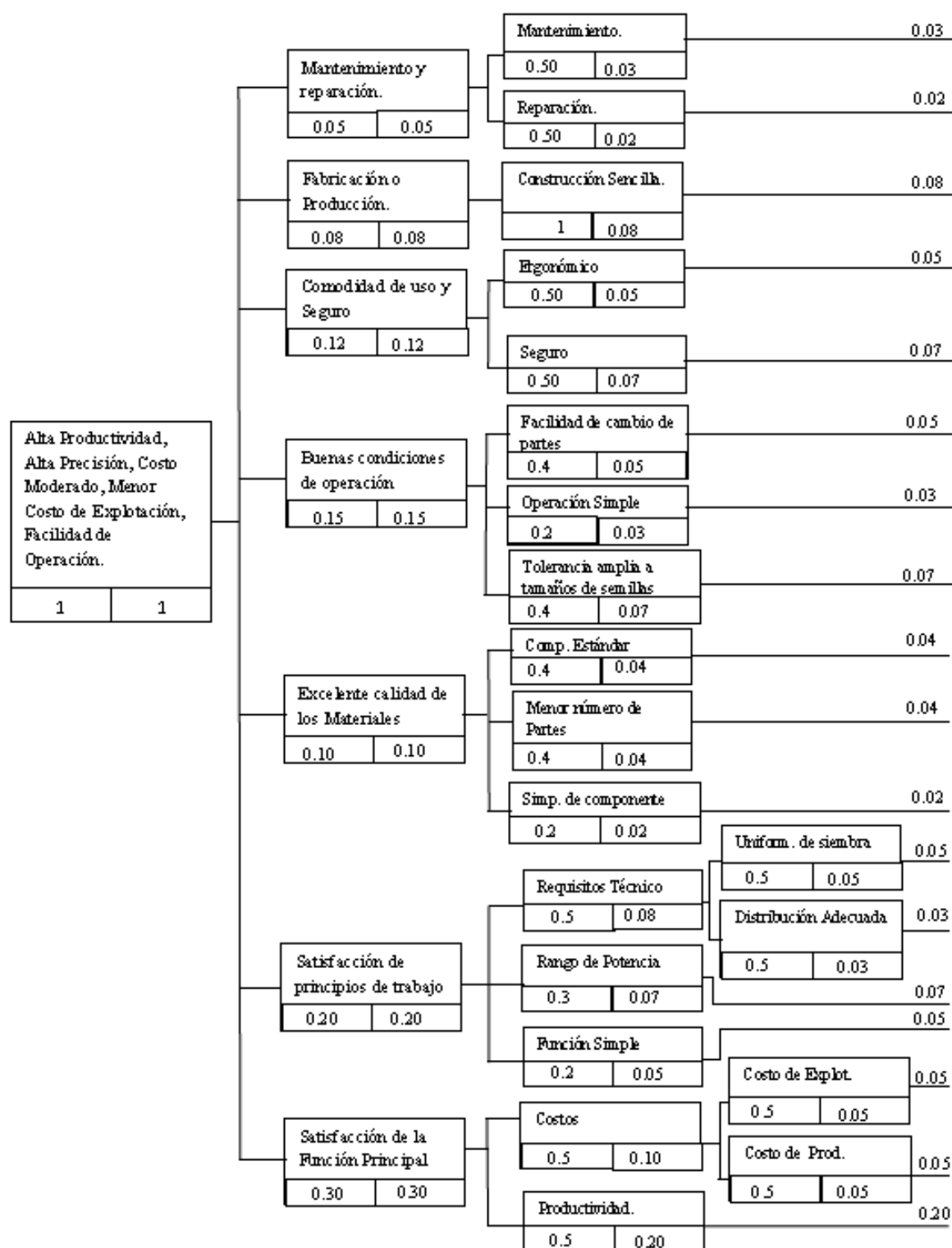


Figura 38. Estructura del árbol de objetivos con ponderación.

Determinación del valor total.

Para hallar los valores totales es necesario tener los valores de cada uno de los sub-valores, el valor de cada variante es:

v_j ; en donde j es cada uno de los variantes.

Para el valor total sin ponderación de cada variante es:

$v_j = \sum_{i=1}^n v_{ij}$; Donde v_{ij} es el valor de cada uno de los criterios de la variante.

El valor total ponderado (wv_j) será:

$wv_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_{ij}$;

Donde w – es el factor de ponderación; y w_i – es el factor de ponderación para cada uno de los criterios.

Comparación de los variantes.

Al usar los valores totales y seleccionar como mejor opción la que presenta un valor máximo total se conoce como comparación relativa. La comparación absoluta se realiza cuando la clasificación de las diferentes variables respecto a la “ideal” acumule el máximo puntaje (tabla 21).

Tabla 21. Carta de Evaluación.

Criterios de Evaluación			Parámetros		Variante 1			Variante 2		
No	Denominación	w	Denominación	Unidad	Magnitud	Puntos	w.vj	Magnitud	Puntos	wvj
01	Productividad	0.20	Productividad	Kg/h	Variable	7	0.35	Variable	7	0.35
02	Costo de Producción	0.05	Costo	\$	35000	5	0.25	32000	6	0.30
03	Costo de explotación	0.05	Costo	\$	>8000	5	0.25	>6000	6	0.30
04	Función Simple	0.05	Función		Solución buena	7	0.35	Solución buena	7	0.35
05	Rango de Potencia	0.07	Potencia	Kw	0.5-1	6	0.42	≥ 0.5	8	0.56
06	Distribución Adecuada	0.03	Siembra adecuada		Solución buena	7	0.21	Solución buena	7	0.21
07	Uniformidad de siembra	0.05	Distancia de siembra		Variable	8	0.4	Variable	8	0.4
08	Simplicidad de Componentes	0.02	Diseño		Solución buena	7	0.14	Solución buena	7	0.14
09	Menor número de partes	0.04	Número de componentes		Sol. pocos inconvenientes	6	0.24	Solución buena	7	0.28
10	Componentes Estándar	0.04	Componentes		Sol. pocos inconvenientes	6	0.24	Solución buena	7	0.28
11	Tolerancia amplia a tamaños de semillas	0.07	Tamaños	mm	≥ 4 mm	7	0.49	≥ 5 mm	8	0.56
12	Operación Simple	0.03	Funcionamiento		Solución buena	7	0.21	Solución buena	7	0.21
13	Facilidad de cambio de partes	0.05	Mantenimiento		Solución muy buena	8	0.4	Solución muy buena	8	0.4
14	Seguro	0.07	Seguridad		Sol. pocos inconvenientes	6	0.42	Solución buena	7	0.49
15	Ergonómico	0.05	Ergonómico		Sol. pocos inconvenientes	6	0.3	Solución buena	7	0.35
16	Construcción Sencilla	0.08	Construcción		Sol. pocos inconvenientes	6	0.48	Solución buena	7	0.56
17	Reparación	0.02	Mantenimiento		Solución buena	7	0.14	Solución muy buena	8	0.16
18	Mantenimiento	0.03	Mantenimiento		Solución buena	7	0.21	Solución muy buena	8	0.24
Σ		1.00				118	5.5		130	6.14

La selección sin ponderación se calcula con la siguiente:

$$R_j = \frac{v_j}{vmáx.n} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ij}}{vmax.n} \quad (112)$$

Donde;

Vmáx – Calificación máximo posibles;

N – Número de criterios de calificación.

Sustituyendo los valores en las ecuaciones anteriores para la variante 1:

$$R1 = \frac{118}{10 * 18} = 0.66 \quad (113)$$

Sustituyendo los valores en las ecuaciones anteriores para la variante 2:

$$R2 = \frac{130}{10 * 18} = 0.72 \quad (114)$$

En la selección con ponderación se calcula con la siguiente expresión:

$$wR_j = \frac{w v_j}{vmáx . \sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n w_j . v_{ij}}{vmáx . 1} \quad (115)$$

Sustituyendo los valores para la variante 1:

$$w . R1 = \frac{5.5}{10 * 1} = 0.55 \quad (116)$$

Sustituyendo los valores para la variante 2:

$$w . R2 = \frac{6.14}{10 * 1} = 0.614 \quad (117)$$

Diseño preliminar.

Del análisis que se hizo en la tabla 21 se debe elegir las variantes 2, para ambos dosificadores, con las siguientes características:

Fertilizantes.

1. Almacenamiento de Fertilizantes. Se efectúa por una tolva individual por unidad elaborada con material inoxidable.
2. Conducción al dosificador. Reducción de la tolva, esta reducción debe corresponder a la longitud del sin fin.
3. Dosificación del Fertilizantes. Por Tornillo sin fin de entrada lateral en ambos lados con descarga central; este es un transportador sin fin que la única función que realiza es la de desplazar al centro un determinado cantidad de fertilizante.
4. Descarga. Se realiza por gravedad, esto sucede cuando el transportador sin fin desplaza el material al centro, en donde existe un orificio de caída.
5. Energía de funcionamiento. Se realiza con un motor de corriente directa de 12 voltios, llevando un controlador para controlar la velocidad al controlar la potencial suministrada al motor.

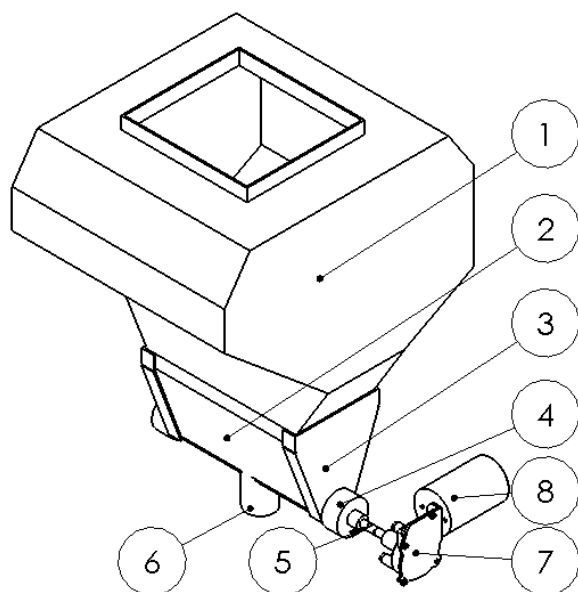


Figura 39. Componentes del dosificador de Fertilizantes. 1 - Tolva; 2 - carcasa del sin fin; 3 - tapa lateral de la carcasa; 4 - Rodamiento del sin fin; 5 – Flecha del sin fin; 6 – Descarga; 7 – Reductor del motor y 8 – Motor de corriente directa.

Semillas.

1. Almacenamiento de Semillas. Se realiza con una tolva individual por unidad construida con material inoxidable.
2. Conducción al dosificador. Para guiar la semilla al plato dosificador se hace una reducción a la tolva, misma que guía la semilla a un costado del dosificador para entrar a la lateral del dosificador.
3. Posicionamiento en las celdas. El dosificador consta de un palto dosificador de posición vertical, el cual tiene estrías para mover las semillas para facilitar que se coloquen en las celdas del plato.
4. Transporte el conducto de caída. El transporta se realiza en las celdas que tiene el plato dosificador, las semillas se mantiene a las celdas por la fuerza de succión generada por un ventilador de alta presión, el cual es de presión negativa (succión).
5. Descarga. Se realiza por gravedad, esto sucede cuando la fuerza de succión se corta para que la semilla se caiga por efecto de la masa (por el peso).
6. Energía de funcionamiento. Se realiza con un motor de corriente directa de 12 voltios, llevando un controlador para controlar la velocidad al controlar la potencial suministrada al motor.

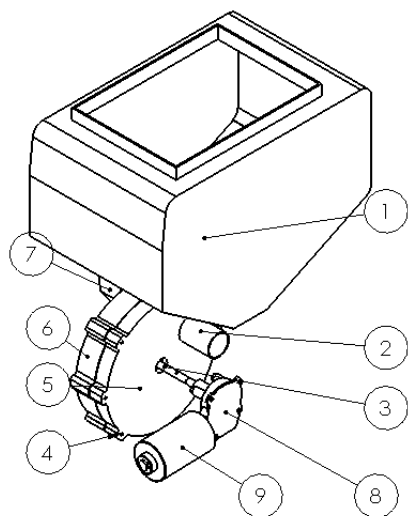


Figura 40. Componentes del dosificador de semillas. 1- Tolva para Semillas, 2 – entrada del aire de succión, 3 – Flecha del dosificador, 4 – Tornillo de sujeción, 5 – Carcasa, cámara de succión, 6 – Carcasa de entrada del aire, Carcas de entrada de semillas, 7 - Descarga de semilla de la tolva al dosificador, 8 – Reductor del motor y 9 – Motor de corriente directa.

3.3.- Diseño de detalles.

En este apartado se dan los cálculos de los parámetros de funcionamiento para el dimensionamiento del prototipo y los dibujos para la generación de los planos correspondiente a cada sistema.

3.3.1.- Dosificador de Semillas.

De acuerdo a Listopaol (1986) la fuerza Resultante que afecta la adhesión de las semillas se obtiene al sumar los cuadrados de las fuerzas siguientes:

$$\sum F_x = P_x = F_c + mg \operatorname{Sen} B + P_b \operatorname{Tan} \varphi \operatorname{Sen} B$$

$$\sum F_y = P_y = mg \operatorname{Cos} B + P_b \operatorname{Tan} \varphi \operatorname{Cos} B$$

La fuerza resultante **R** se calcula:

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$$

$$R = \sqrt{F_c^2 + 2F_c mg \operatorname{Sen} B + m^2 g^2 + P_b \operatorname{Cos}^2 B \operatorname{Tan} \varphi (2mg + P_b \operatorname{Tan} \varphi)}$$

La condición para mantener la semilla alojada en el orificio.

$$p_b \operatorname{Tan} \varphi^1 \geq R$$

Donde $p_b \operatorname{Tan} \varphi^1$ es la fricción $F = (P_0 + P) \operatorname{Tan} \varphi^1$ y **R** la resultante.

Tal que:

$$P \geq \frac{\sqrt{F_c^2 + 2F_c mg \operatorname{Sen} B + m^2 g^2 + P_b \operatorname{Cos}^2 B \operatorname{Tan} \varphi (2mg + P_b \operatorname{Tan} \varphi)}}{\operatorname{Tan} \varphi^1}$$

Al salir de donde ocurre la succión pero el efecto de las semillas se anulan por lo tanto: $p_b = 0$, Para que la semilla sea transportada hasta la zona de descarga, la succión P debe ser mayor o al menos igual al cociente de la resultante **R** entre la $\operatorname{Tan} \varphi^1$

$$P \geq \frac{\sqrt{F_c^2 + 2F_c mg \operatorname{Sen} B + m^2 g^2}}{\operatorname{Tan} \varphi^1}$$

Para la condición de transporte, considerando $\varphi^1 = 28^\circ$, en la tabla 22 muestra los valores de R y la presión correspondiente.

Tabla 22. Valores de R a distintas revoluciones.

Velocidad, ω (rpm)	Velocidad (rad/s)	Fuerza centrípeta F_c	(1) F_c^2	$\text{Sen}\beta$	$\text{Tan}\varphi^1$	(2) $2F_c \cdot m g \cdot \text{se}\beta$	(3) $m^2 \cdot g^2$	Suma de (1)+ (2)+ (3)	$\sqrt{(1) + (2) + (3)}$	Resultante R en Newton (N) $R = \frac{\sqrt{(1) + (2) + (3)}}{\text{Tan}\varphi^1}$	Presión por celdas en Pascales (P)
10	1.0471976	5.406E-05	2.92E-09	0.70711	0.53171	4.45548E-06	0.0000339	0.0000384	0.0061979	0.011656542	647.5856438
20	2.0943952	0.00022	4.67E-08	0.70711	0.53171	1.78219E-05	0.0000339	0.0000518	0.00719891	0.013539158	752.1754178
30	3.1415928	0.00049	2.36E-07	0.70711	0.53171	4.00993E-05	0.0000339	0.0000743	0.00861926	0.016210451	900.5806345
40	4.1887904	0.00087	7.48E-07	0.70711	0.53171	7.12876E-05	0.0000339	0.0001060	0.01029522	0.019362468	1075.692672
50	5.235988	0.00135	1.82E-06	0.70711	0.53171	0.000111387	0.0000339	0.0001472	0.01213134	0.022815709	1267.539416
60	6.2831856	0.00195	3.78E-06	0.70711	0.53171	0.000160397	0.0000339	0.0001984	0.01407626	0.026473566	1470.753642

En la tabla 23 presenta los valores de la fuerza total y la presión necesaria para adherir la semilla considerándola como una partícula.

Tabla 23. Valores de la fuerza total.

Velocidad, ω (rpm)	Velocidad (rad/s)	ω^2	Radio, r (metros)	Aceleración de la gravedad, g, (m/s ²)	Masa de una semillas, m (kg)	ω^2	$(\omega^2 r) + g$	Fuerza total en Newton (N) $F_T = ((\omega^2 r) + g) \cdot m$	Fuerza parásita (N)	Fuerza total (N)	Presión por celdas en Pascales (P)
10	1.0472	1.0966	0.0830	9.8100	0.00059	0.0910	9.9010	0.0059	0.0046	0.010468546	581.5858968
20	2.0944	4.3865	0.0830	9.8100	0.00059	0.3641	10.1741	0.0060	0.0047	0.010757257	597.6253872
30	3.1416	9.8696	0.0830	9.8100	0.00059	0.8192	10.6292	0.0063	0.0049	0.011238442	624.3578712
40	4.1888	17.5460	0.0830	9.8100	0.00059	1.4563	11.2663	0.0067	0.0052	0.011912100	661.7833488
50	5.2360	27.4156	0.0830	9.8100	0.00059	2.2755	12.0855	0.0072	0.0056	0.012778233	709.9018199
60	6.2832	39.4784	0.0830	9.8100	0.00059	3.2767	13.0867	0.0078	0.0061	0.013836839	768.7132847

Régimen de trabajo y elementos de construcción.

Diámetro de los orificios (celdas).

$$d = 0.7 * 0.006817 = 0.0047719 \text{ m}$$

Con una superficie de la celda de $S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0.0047719)^2}{4} = 0.000018 \text{ m}^2$.

Distancia entre celdas:

Es igual a $d+L = la$. Donde la es dos veces el largo máximo de la semillas, el cual corresponde a 32mm. O sea $la = 0.032 \text{ m}$.

El flujo de semillas sin considerar fallos:

Mencionando que para que las semillas no interactúen entre ellas el paso debe ser al menos dos veces el largo máximo o sea: $la \geq 2l_{max}$. En donde l_{max} es la dimensión máxima de la semillas (largo).para ello se calcula d_1 .

$$d_1 = 165.4 + (2)16.3 = 198 \text{ mm}$$

Para los valores de del flujo de semillas q a distintas revoluciones con relación a las velocidades de 3 km/h a 6 km/h, se presentan en la tabla 24.

Tabla 24. Valores del flujo de semillas a distintas velocidades.

							Dosis a diferentes velocidades (Semillas/ha)			
ω (rpm)	ω (rad/s)	radio r (m)	$\omega * r$	$d+L$	q (semillas/s)	Sem/h	a 3 km/h	a 4 km/h	a 5 km/h	a 6 km/h
10	1.0472	0.0990	0.1036	0.0320	3.2398	11663	55539	41654	33323	27769
20	2.0944	0.0990	0.2073	0.0320	6.4795	23326	111078	83308	66646	55539
30	3.1416	0.0990	0.3110	0.0320	9.7193	34989	166617	124962	99970	83308
40	4.1888	0.0990	0.4146	0.0320	12.9591	46652	222155	166616	133293	111078

El número total de orificios $Z_d = \frac{3.141593*0.1654}{0.032} = 17.92 \approx 18 \text{ celdas}$

El gasto total del aire del ventilador Q se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = 0.6 * 0.504 * 0.000018 * 18 * 1 = 1.13 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para $k_p = 0.6$, $V_{\beta p} = 0.504 \text{ m/s}$ y $S = 0.000018$ y $Z_b = 1$.

En valor de $V_{\beta p}$ (velocidad de aire en el orificio sin semillas), se calculó de la siguiente manera:

$$V_{\beta p} = 0.9 * \sqrt{\frac{2 * 0.188}{1.2}} = 0.504 \frac{m}{s}$$

Para $\alpha = 0.9$, la densidad del aire $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ y $\Delta p = 32.5 \text{ *m*g}$.

Considerando los parámetros calculados se procedió a dibujar las partes importantes del dosificador de semillas. En la figura 41 se muestra el plato dosificador con los parámetros previamente obtenidos en los cálculos.

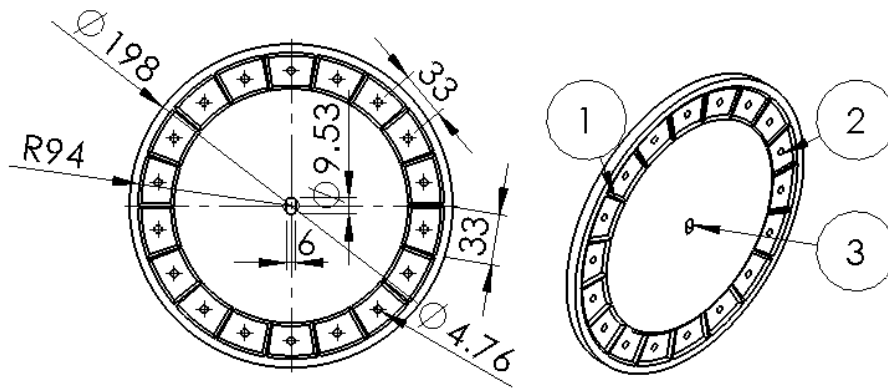


Figura 41. a) Dimensiones de palto dosificador. b) Parte de Plato Dosificador: 1 – Estrías agitadores, 2 – Alveolos u orificio y 3 – Entrada de flecha motriz.

Para realizar la succión de las semillas debe contar con una cámara de vacío (figura 42), en cual es donde va empotrado el plato dosificador para que la única entrada del aire sea en los alveolos o celdas, en donde se pegan las semillas.

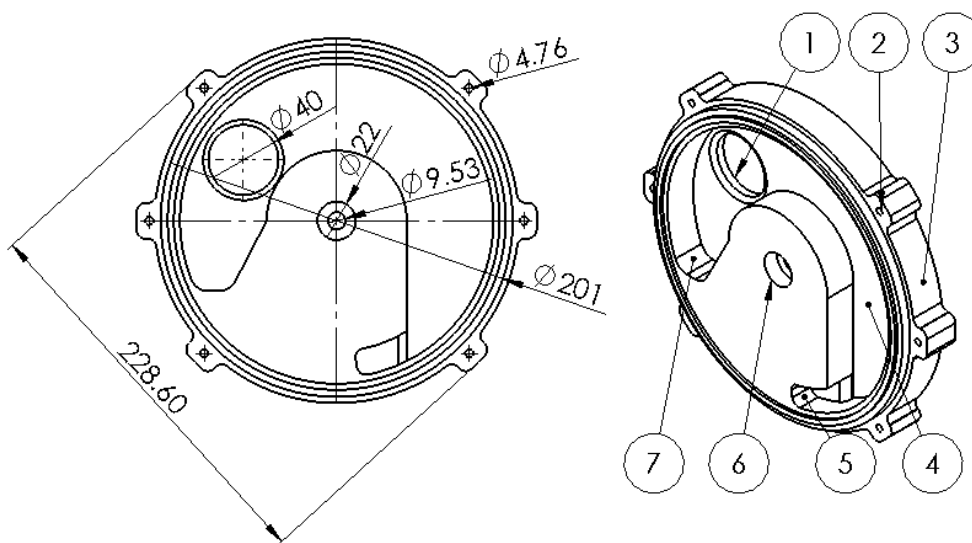


Figura 42. a) Dimensiones de la Carcasa de Succión. b) Partes de la carcasa de succión: 1 – Entrada de aire de succión, 2 – Barreno para tornillo de sujeción entre carcasas, 3 – carcasa de Succión, 4 – Cámara de succión, 5 – Fin de succión, 6 – Orificio para rodamiento y 7 – Inicio de succión.

Para garantizar que las semillas se alojen en los alveolos del plato dosificador es necesario conducirla, de la tolva hasta la zona donde sea succionado por la fuerza del vacío, esta función la realiza la tapa (Figura 43), que las semillas sea lo más cercano posible al plato dosificador.

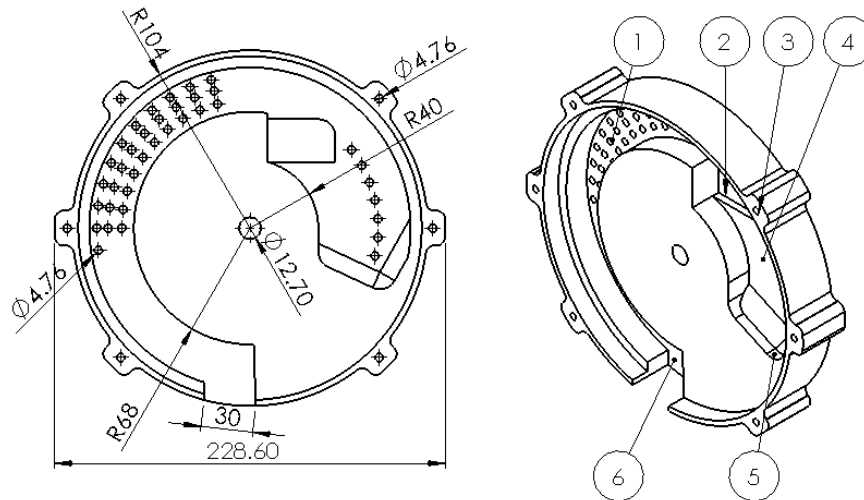


Figura 43. a) Dimensiones de la tapa (Carcasa). b) Partes de la Tapa: 1 – Entrada de aire, 2 – Entrada de Semillas, 3 – Barreno para tornillo de sujeción entre carcasas, 4 – Cámara de alojamiento de semillas, 5 – Inicio de succión y 6 – Zona de descarga de semillas.

En la figura 44, del ensamblaje General, muestra los componentes principales del dosificador de semillas, en el 6 de la figura 44 muestra en donde se ensambla el motor eléctrico de corriente directa para mover el plato dosificador.

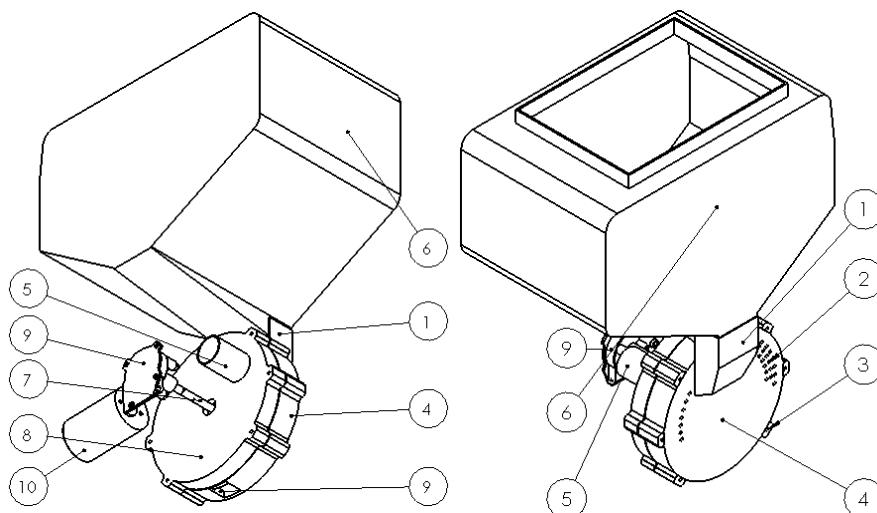


Figura 44. Componentes y Partes del dosificador de Semillas: 1-Salida de Semillas de la tolva a la dosificador, 2-Entrada del aire, 3-Barreno para los tornillos de sujeción, 4-Tapa (carcasa), 5-Tubo de succión, 6-Tolva, 7-Carcasa de succión, 8-Zona de descarga de semillas, 9-Reductor del motor y 10 motor de corriente directa.

3.3.2.- Dosificador de Fertilizantes.

Para el dimensionamiento del sin fin se partió de la dosis requerida, 60 gramos por revolución, por ser de descarga central indica que cada lado debe dosificar 30 gramo, el paso se fijó de acuerdo al espacio considerando la dimensión que puede ocupar el dosificador y el motor montado en una unidad tomando en cuenta que al menos debe haber 2t en cada lados, el cual existe un espacio de 32 centímetros, el detalle de éste se muestra en la figura 45, para el diámetro de la ecuación (30) se despejó D para el diámetro del sin fin.

$$D = \sqrt{\frac{240Q}{3600*\pi*\lambda*t*n*\gamma}} = \sqrt{\frac{0.019}{15*\pi*0.4*0.047*10*1.04*1}} = 0.044199 \text{ m} = 44.20\text{mm}$$

Dónde: $\lambda = 0.4$; $D=?$; $t = 0.047 \text{ m}$; $n = 10 \text{ rpm}$; $\gamma = 1040 \text{ kg/m}^3$ o 1.04 t/m^3 ; $k = 1$.

En donde éste se tomó el diámetro total del sin fin $D = 45 \text{ mm}$.

Potencia necesaria en el funcionamiento del sinfín.

La potencia se determina de dos formas, para el presente trabajo se considera el de mayor valor, para contrarrestar potencias que no son posibles calcular.

Para ésta determinación se utilizó la ecuación 31, método 1, en donde se consideró dos de las fuerzas que actúan en un sinfín ya que la potencia necesaria para elevar el material $P_{st} = 0$ por la posición del sin, por la posición horizontal.

Datos del sin fin:

$Q = 0.019 \text{ t/h}$.

$L = 0.095 \text{ m}$.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

$n = 10 \text{ rpm}$

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

$$P_H(kW) = 4 * \frac{\left(0.019 \frac{t}{h}\right) * (0.095m) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}{3600} * 2 = 0.000046 = 0.046W$$

$$P_N(kW) = \frac{(0.045m) * (0.095m)}{20} = 0.000495 \text{ kW} = 0.495W$$

$$P_{St}(kW) = 0 \text{ kW}$$

$$P = 0.046W + 0.495W + 0W = 0.541W$$

Con un factor de potencia de 1.8, entonces se tiene la potencia total de:

$$P = 0.98 W$$

Otra forma de calcular la potencia, presentado como método 2 en la tabla 18, se presentan a continuación:

$$F_a = \frac{0.019 * 1.04 * 0.095 \left(\frac{4}{1 * 1 * 1.1} + 0 \right)}{48 * \pi * 0.01125 * 10 * \tan(17.7 + 26)} + 0 = 0.0004875 \text{ kN}$$

Esta fuerza se coloca en el extremo respecto al radio del sin para calcular el torque el cual resulta:

Para $r = 0.0225 \text{ m}$; $F_a * r = 0.01097 \text{ Nm} = T$, y la potencia es $P = T * \omega = 0.01097 * 1.0472 = 0.0115 \text{ W}$. con un factor de potencia de 1.8; $P = 0.021 \text{ W}$.

Considerando: d_h – la mitad del radio de la hélice en m 0.01125m ; $L = 0.095\text{m}$; $V=Q = 0.019 \text{ t/h}$; $\gamma = 1.04$; $k_m = 4$; $k_p = 1.1$; $k_h = 1$; $k_i = 1$; ángulo $\beta = 0$; ángulo $\rho_d = 26$. El ángulo $\alpha = \arctan(1/\pi) = 17.67$

A continuación se dan los cálculos completos (tabla 25) para el rango de 10 a 60 rpm, régimen de trabajo establecido para el sin fin.

Tabla 25. Cuadro de cálculo de potencia por los dos método.

Primer método								Segundo método				
rpm	rad/s	Capacida d t/h	PH	PN	Potencia Tot (kW)	Potencia Total (W)	con FS de 1.8	Fa (kN)	Fa (N)	Torque (N.m)	Potenci a (W)	Con Fs de 1.8 (W)
10	1.05	0.0193	0.00004	0.0004	0.000467	0.4674	0.8414	0.00049	0.4875	0.0110	0.01149	0.0207
20	2.09	0.0386	0.00008	0.0004	0.000507	0.5074	0.9133	0.00024	0.2438	0.0055	0.01149	0.0207
30	3.14	0.0579	0.00012	0.0004	0.000547	0.5473	0.9852	0.00016	0.1625	0.0037	0.01149	0.0207
40	4.19	0.0772	0.00016	0.0004	0.000587	0.5873	1.0571	0.00012	0.1219	0.0027	0.01149	0.0207
50	5.24	0.0965	0.00020	0.0004	0.000627	0.6272	1.1290	0.00010	0.0975	0.0022	0.01149	0.0207
60	6.28	0.1157	0.00024	0.0004	0.000667	0.6672	1.2010	0.00008	0.0813	0.0018	0.01149	0.0207

Considerando los cálculos anteriores se dimensionó el sin fin, en la figura 45 a) y b) se presentan estas dimensiones del transportador sin fin:

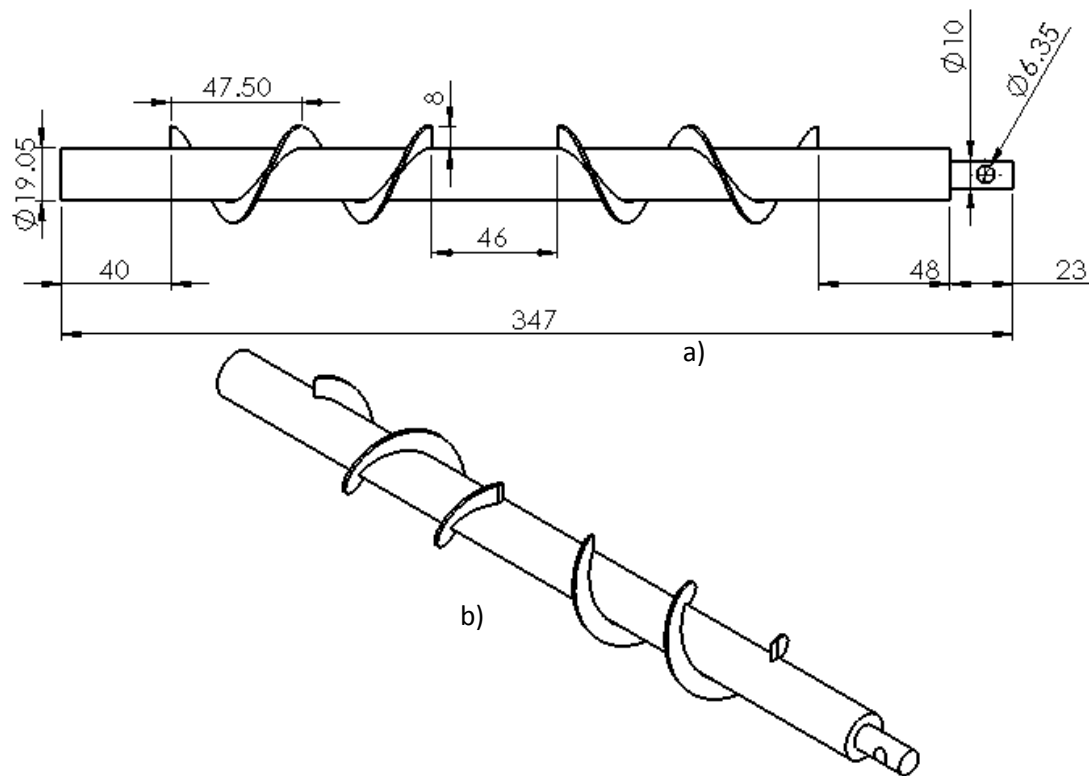


Figura 45. Tornillo sin fin con descarga central.

Los componentes de las figuras 46 a), vista superior de la carcasa, 46 b) vista lateral de la carcasa y 46 c) vista tridimensional de la carcasa, es donde va montado el sin fin, en donde desliza el fertilizantes.

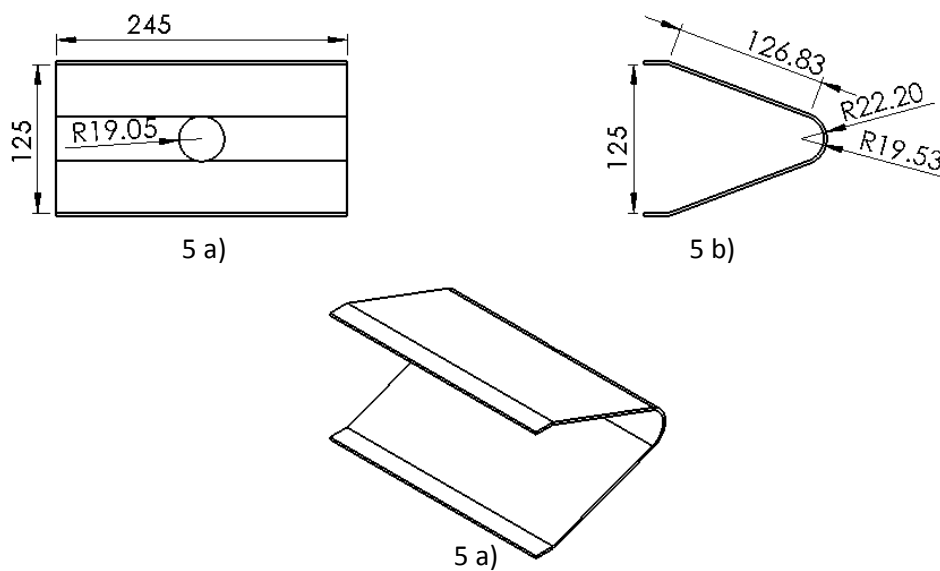


Figura 46. Carcas del tonillo sin fin.

Tapa lateral: la Figura 47 a) muestra una vista lateral de la tapa, 47 b) vista frontal y 47 c) una vista tridimensional del mismo.

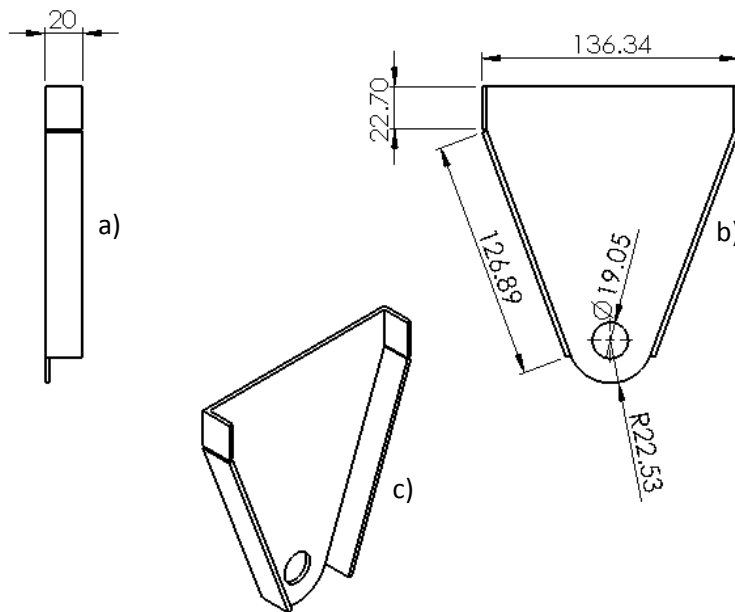


Figura 47. Carcasa del dosificador.

En la figura 48 muestra la tapa limitador fertilizante, el cual asegura que no se estanque fertilizantes y sea dirigido hacia el transportador sin fin.

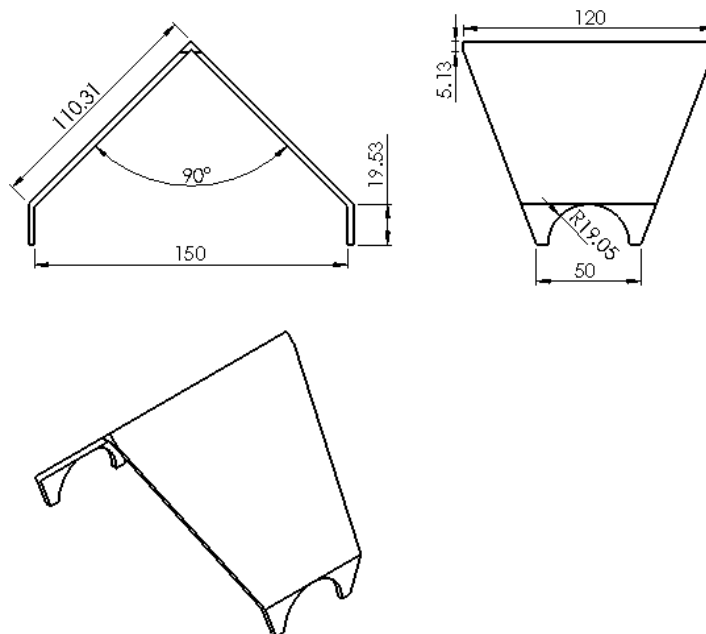


Figura 48. Tapa Limitador se Fertilizantes.

Dimensiones de la tolva. En la figura 49 a) muestra la vista frontal, 49 b) la vista lateral y 49 c) la vista frontal.

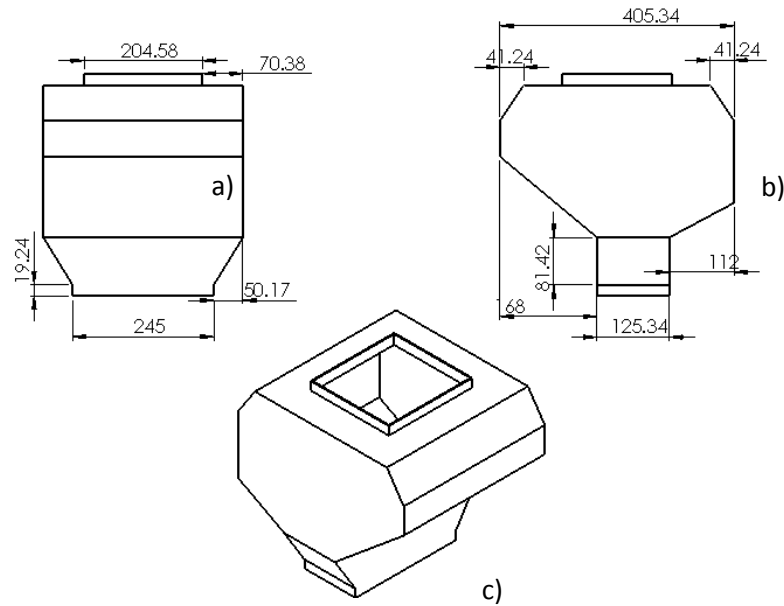


Figura 49. Tolvas de fertilizantes.

Vista general del ensamblaje del dosificador de fertilizante. (Figura 50).

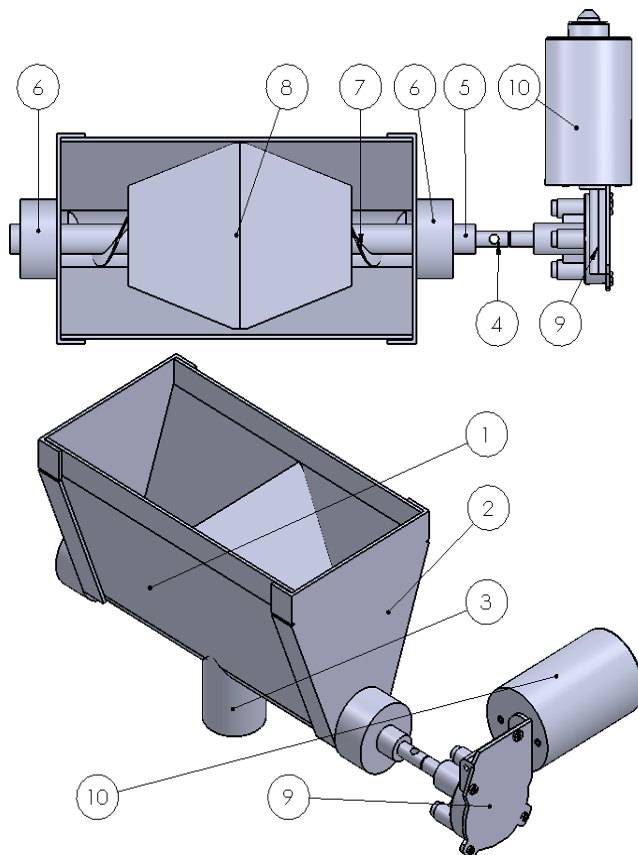


Figura 50. Partes del dosificador: 1 – Carcasa principal; 2 – Tapa Lateral; 3 – Tubo de descarga; 4 – Barreno de cople del motor; 5 – Flecha del sin fin; 6 – Rodamiento soporte de la flecha y 7 – Tapa Limitador de fertilizante, 9 – Reductor del motor y 10 – Motor de corriente directa.

3.3.3.- Sistema eléctrico.

Sistema eléctrico de los dosificadores.

El diagrama de construcción del sistema eléctrico se muestra en la figura 51, en donde se indican los componentes, mientras en la tabla 26 se dan las especificaciones y características de los componentes.

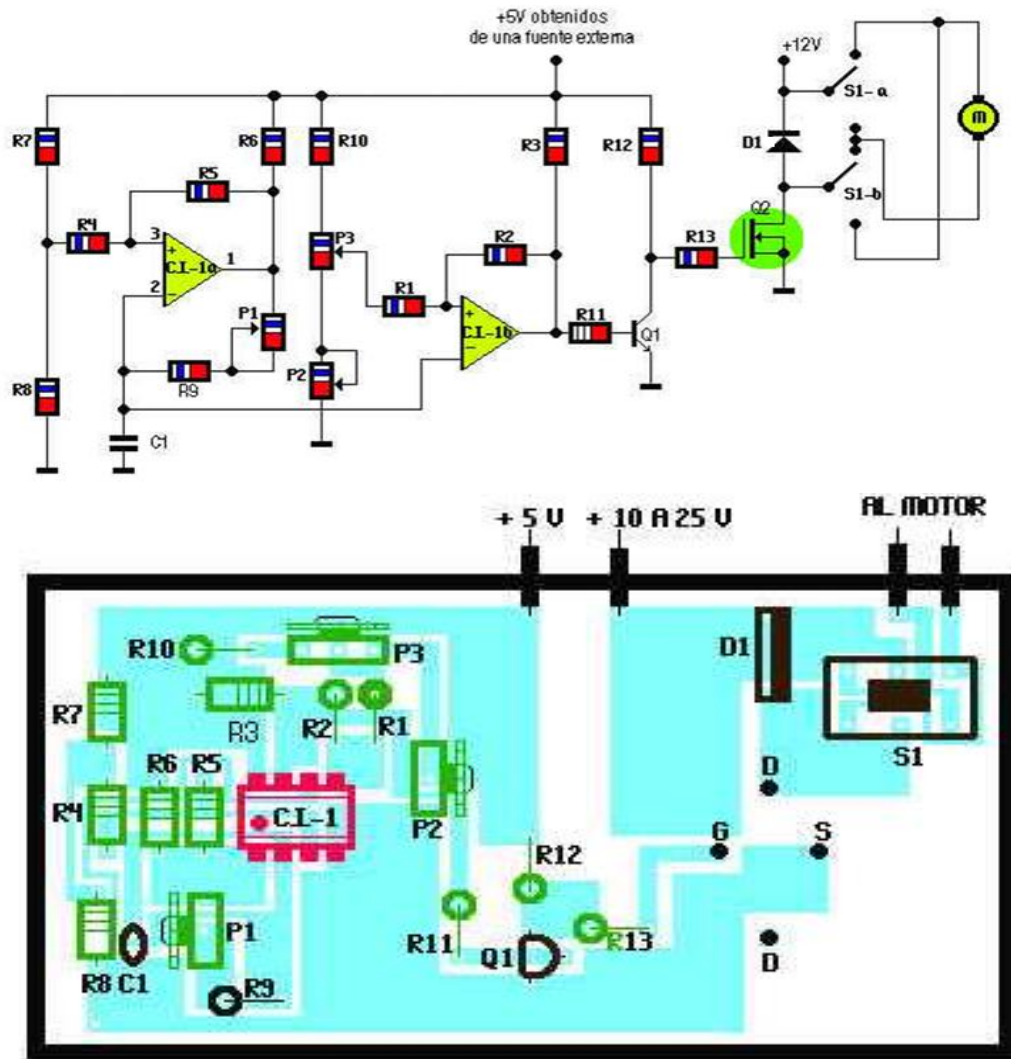


Figura 51. Diagrama eléctrico del controlador de velocidad.

En la figura 51, es el diagrama del circuito que realiza la variación de la velocidad del motor, el cual consta de varias etapas, la primera es la creación de pulsos con un amplificador operacional (CI-1), esos pulsos son comparados por el operacional (CI-2) cuando el valor de la resistencia (por P3) se varía y al mismo tiempo amplificado por el mismo, ésta termina con un valor de 0-12V pero con un valor muy bajo en cuanto a la corriente, entra en una segunda etapa, etapa de potencia, con los transistores (Q1 y Q2) en donde la corriente tiene un valor máximo de hasta 6 A; en la tercera y última etapa en la conexión al motor en donde se observa un diodo (D1) cuya función es hacer que el flujo de energía sea en una sola dirección y que no haya un regreso que pudiera quemar el circuito. Los valores y las características de los componentes se muestran en la tabla 26, en el cual se indica la descripción y la función que desempeña este componente.

Tabla 26. Componentes de sistema electrónico.

Componentes	Función
Amplificador operacional. (CI-1 y CI-2:TLC272).	El CI operacionales funciona como generador de pulso y como comparador-amplificador. Por lo tanto existe una doble operacional que cumplen la función de un preamplificador. La doble operacional, el primero cumple la función de generación de pulsos, mientras el otro el de comparador, en el primero solo se obtiene 3V, en el segundo la amplifica hasta los 12V que se manda a los transistores. Este dispositivo no es capaz de entregar la corriente requerida, aunque la ganancia de potencial es buena pero no es capaz de entregar la corriente alta demandada, por lo tanto se debe usar transistores los cuales son para aumentar la corriente.
Transistor de unión bipolar NPN. Q1-TIP29 y Q2	Actúa como amplificador y regulador de corriente.
Transistores de potencia 2N3055	Los transistores de potencia se usan para manejar grandes corrientes, mayor de 1 A y/o grandes voltajes, en casi todas las aplicaciones, la lengüeta metálica o el estuche metálico es común al colector y suele estar conectada al disipador de calor. En momento de funcionamiento se genera calor, por ello se montó en una placa disipador de calor.
Diodo rectificador	Este diodo permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección, se denominan rectificadores porque son capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal. Como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua. Por lo tanto cumple la función de protección para que no haya contracorriente y queme el circuito.
Potenciómetro.	El potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. Es el que se encarga de mandar la señal de cuanto voltaje se le suministra el motor.
Cerámico. (Valor de 0.1 μ F)	Un condensador (capacitor), es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. En este caso cuando en el primer operacional crea pulsos esta almacena y descarga la energía, cuya energía fluye en el segundo operacional para su comparación y amplificación.
Resistencias de diversos valores.	R1 = 1 k Ω ; R2= 82 k Ω ; R3=39 k Ω ; R4=390 Ω ; R5=12 k Ω ; R6= 22 k Ω R7= 4 k Ω ; R8=470 Ω ; R9=25 k Ω ; P1= 25 k Ω es fijo para mandar toda la corriente; P2= Pre-set 2 Ω ; P3=potenciómetro de 1k Ω .
Placa para el circuito	Para imprimir.
Disipador de calor.	Placa de aluminio

La construcción del circuito se puede observar en la figura 52, y están indicados los componentes correspondientes.

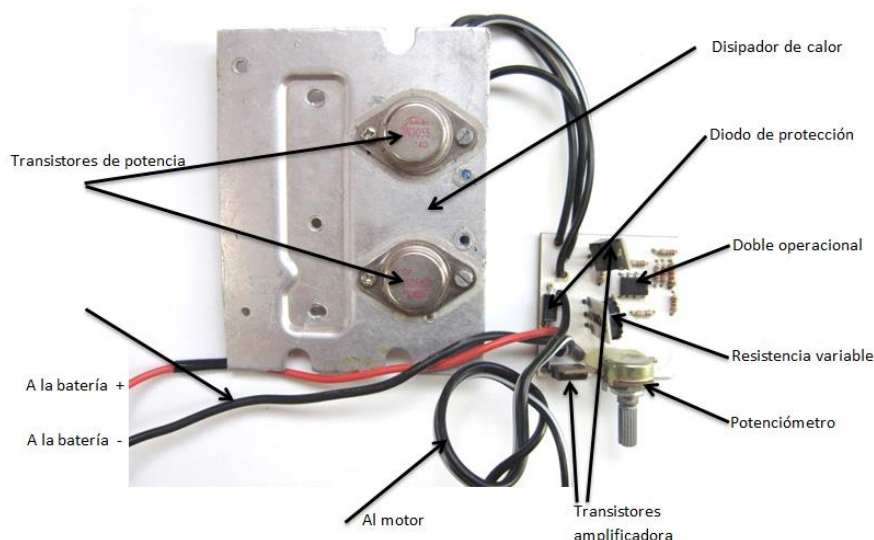


Figura 52. Circuito construcción del circuito variador de velocidad del motor de corriente directa.

La relación del giro del potenciómetro que varía la velocidad del motor respecto a la dosis o la descarga del fertilizante y de las semillas se indica en una carátula, en la figura 53 se muestra dicha carátula del dosificador de fertilizante

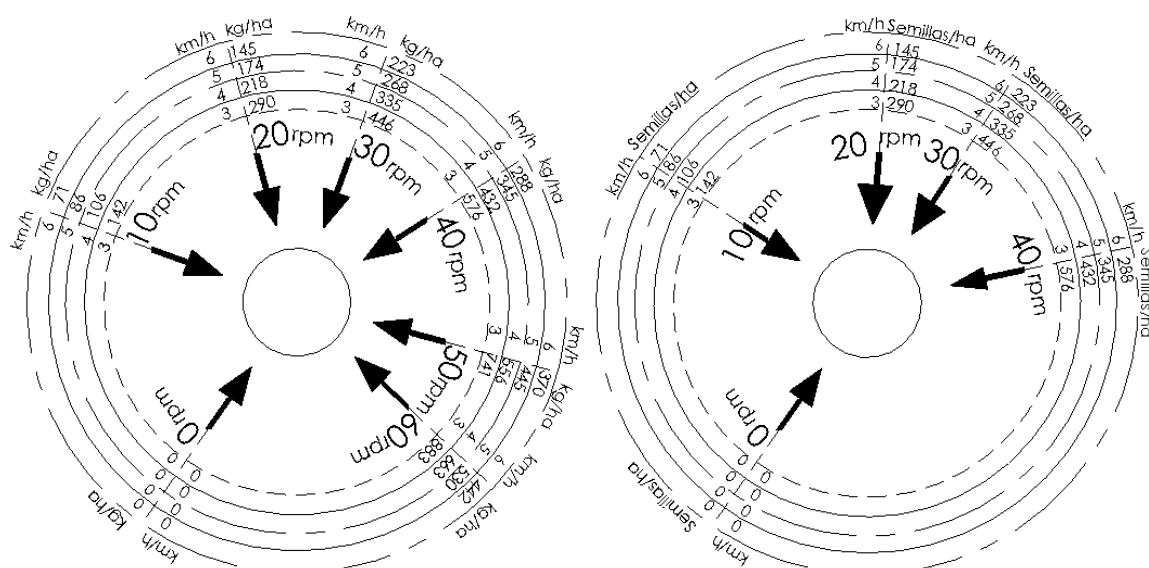


Figura 53. Carátula del dosificador de fertilizantes y de Semillas.

En la figura 55, la carátula del dosificador de fertilizantes, está indicado la dosis en kg/ha para las velocidades de 3 a 6 km/h. Las posiciones que se indican, de 10 a 60 rpm, está en función del voltaje demandado.

3.4.- Construcción del prototipo.

3.4.1.- Ruta de trabajo.

La duración de la construcción consta de las horas de trabajo para realizar las diversas actividades que tuvieron que ver con la fabricación, el cuadro 27 se presenta el tipo de actividad y la duración de cada una de ellas

Tabla 27. Duración de la construcción.

Actividad	Duración	Observación
Adquisición del material.	8 horas	
Corte y doblez.	16 horas	
Soldadura y Maquinado.	16 horas	
Ensamblaje	32 horas	
Correcciones.	32 horas	
Prueba de funcionamiento.	48 horas	
Total	152 Horas	

3.4.2.- Proceso de manufactura.

Dosificador de Fertilizantes

El proceso de construcción se presenta en las figuras 54-59, en ellas se muestran los detalles de la construcción y ensamblaje del dosificador sin fin.



Figura 55. Sin fin de descarga central.



Figura 54. Ensamble de la carcasa del sin fin con la tapa lateral.



Figura 57. Vista lateral de la tapa lateral de la carcasa.



Figura 56. Posición del sin fin en la carcasa.

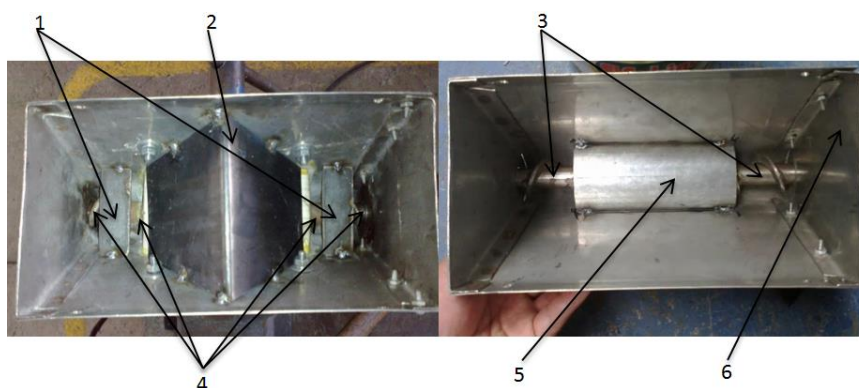


Figura 58. Montaje de los componentes del dosificador sin fin: 1- reten de fertilizantes; 2- Rampa de descarga hacia el sin fin; 3- área de entrada de fertilizantes en el sin fin; 4 – Entrada de fertilizantes; 5 – reten para la descarga central y 6 – Tapa lateral movable para desensamblaje del sin fin.



Figura 59. Ensamblaje General del dosificador de fertilizantes.

Los dosificadores se montaron en un cuerpo de siembra, los cuales se ven ensamblados en la figura 60 con el nombre de las partes que compone un cuerpo de siembra.



Figura 60. Ensamblaje General de los dosificadores.

Dosificador de Semillas.

El maquinado de las piezas que compone el dosificador de semillas se realizó con la máquina CNC, elaborados en Nylon de alta densidad conocido comúnmente como Nylamid.

El maquinado del plato dosificador en el máquina CNC se aprecia en la figura 61.

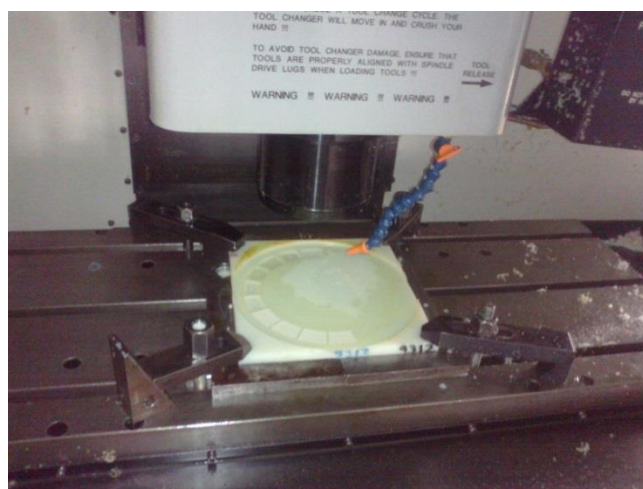


Figura 61. Maquinado de las piezas en CNC.

El plato dosificador maquinado se muestra en la figura 62, con las partes más importantes, como las estrías que mueve las semillas, que ayuda a acomodar en los alveolos, los propios alveolos o celdas y la entrada de la flecha que acciona el plato dosificador.

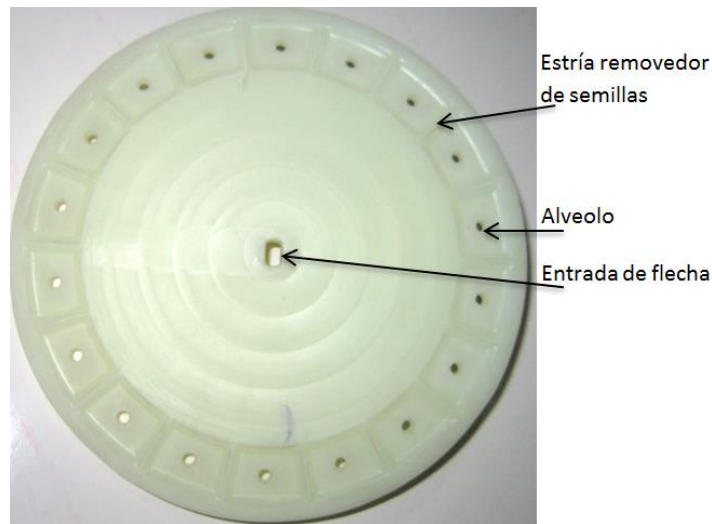


Figura 62. Partes del plato dosificador.

En la figura 63 muestra las partes de la carcasa cuya función es introducir las semillas, después como un pequeño contenedor para alojar las que son acomodados en los alveolos, y finalmente las estrías mueve la semillas para evitar que se atasquen y ayuda así a acomodar en los orificios.

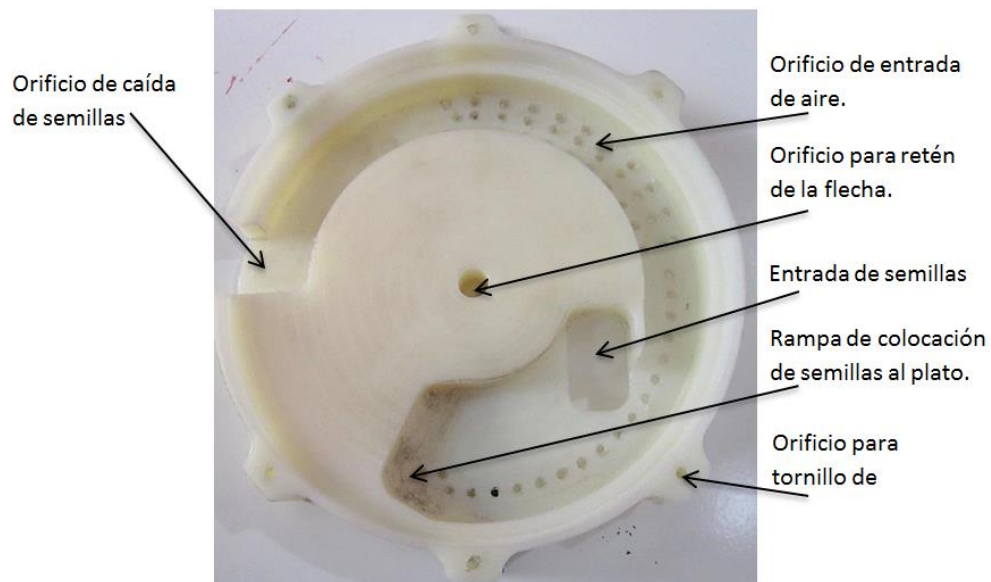


Figura 63. Partes de la tapa de la carcasa del dosificador.

La carcasa de succión es parte medular en la dosificación de las semillas, ya que ésta la que distribuye la fuerza de vacío para la adhesión y transporte de la semillas hasta la zona de descarga, en la figura 64 muestra las partes de la misma.

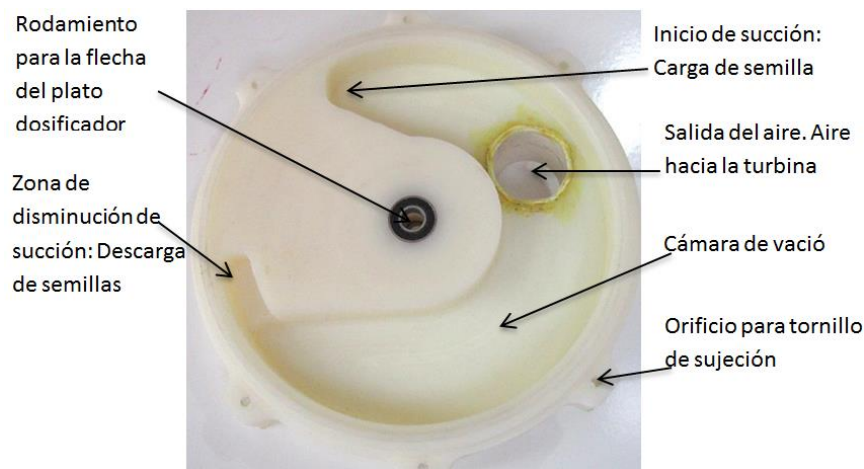


Figura 64. Carcasa de succión.

3.5.- Prueba y evaluación

Para la prueba de los dosificadores se conectaron dos multímetros, uno para detectar la tensión y el otro para la corriente que circula, la fijación de las revoluciones se realizaron por contacto con un tacómetro digital con una presión de ± 0.5 rpm, al igual se tomaron datos sobre la descarga, cuya conexión de los multímetros es la que se presenta en la figura 65.

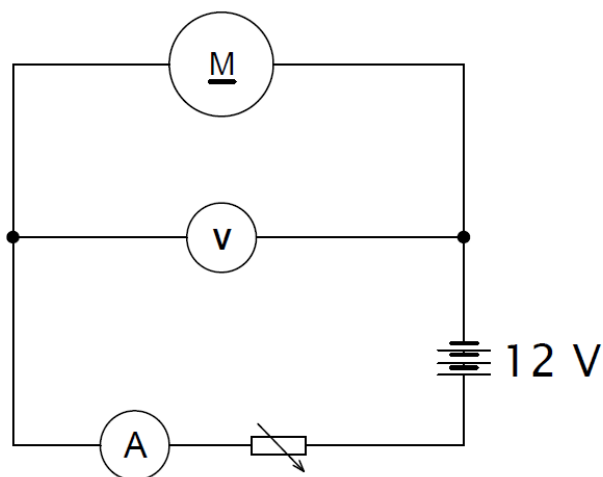


Figura 65. Conexión de los multímetros para la obtención de datos donde V del multímetro y A del amperímetro.

3.5.1.- Prueba del dosificador de semillas en el laboratorio.

En la tabla 28 se muestra la estadística básica de los datos obtenidos en la pruebas a 10, 20, 30 y 40 rpm del plato dosificador para la variables tensión (voltaje), corriente, descarga en semillas/minuto, potencia y torque.

Tabla 28. Estadística básica de las variables observadas para el dosificador de semillas

Velocidad del plato dosificador (rpm)	Variable	Media	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo	CV
10 rpm	Tensión	2.9452 V	0.2425	3.35	2.13	
	Corriente	2.5680 A	0.1315	2.8	2.08	
	Descarga	187.8000 sem/min	24.5730	227	114	
	Potencia	7.5712 W	0.7709	8.2150	4.8880	
	Torque	7.2299 Nm	0.7361	7.8447	4.6677	
20 rpm	Tensión	5.0668 V	0.0859	5.2000	4.8900	
	Corriente	4.6588 A	0.4901	5.0700	3.7800	
	Descarga	284.200 se/min	14.9805	313 semillas	254 semillas	
	Potencia	23.6034 V	2.4965	26.0051	19.1268	
	Torque	11.2698 Nm	1.1919	12.4165	9.1324	
30 rpm	Tensión	6.0652 V	0.2147	6.3200	5.1300	
	Corriente	4.6992 A	0.1473	5.0000	4.5000	
	Descarga	450.1600 sem/min	34.5636	490 semillas	390 semillas	
	Potencia	28.5034 W	1.3960	30.7500	24.3675	
	Torque	9.0729 Nm	0.4444	9.7880	7.7564	
40 rpm	Tensión	7.6028 V	0.1188	7.8600	7.3000	
	Corriente	4.9420 A	0.0684	5.0200	4.7800	
	Descarga	582.8000 sem/min	50.5231	689 semillas	503 semillas	
	Potencia	37.5735 W	0.8078	39.1428	36.1325	
	Torque	8.9699 Nm	0.1929	9.3446	8.6259	

Voltaje.

El voltaje para las velocidades de 10, 20, 30 y 40 rpm del plato dosificador existen una variación de 2.9452 a 7.6028 V cuyo comportamiento se muestra en la figura 66 en donde se aprecia el aumento de la tensión al aumentar las rpm, con ello la dosis (descarga).

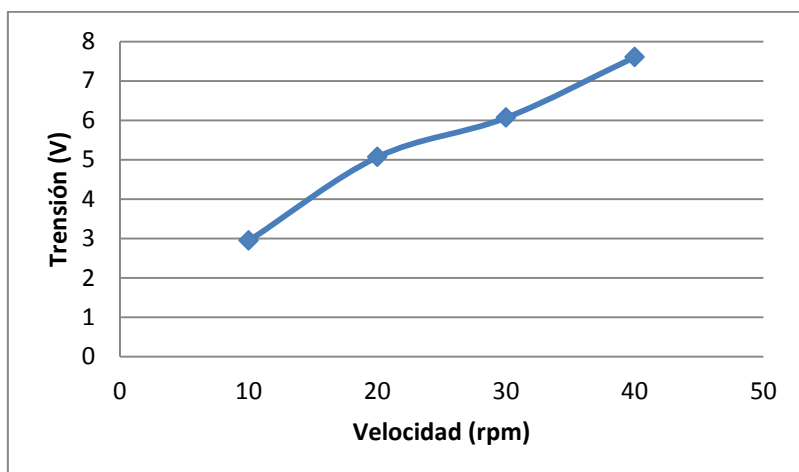


Figura 66. Gráfica de la tensión a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.

Corriente.

Para la corriente a las velocidades de 10, 20, 30 y 40 rpm del plato dosificador se encontró una variación de 2.5680 A a 4.9420 A como se aprecia en la figura 67 mostrando un comportamiento de estabilidad al aumentar las rpm, cabe mencionar que la demanda máxima del motor es de 5.9 A.

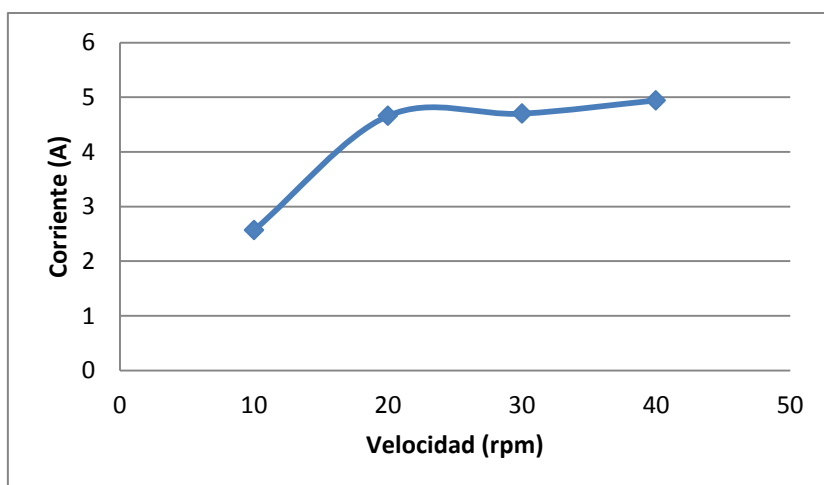


Figura 67. Gráfica de la corriente a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.

Potencia.

El comportamiento de la potencia aumenta al aumentar las revoluciones, en la figura 68 muestra la variación obtenida cuando el plato dosificador funcionó a las velocidades de 10, 20, 30 y 40 rpm del plato dosificador, encontrando que la variación en la demanda de potencia es del 7.5712 W a 37.5735 W.

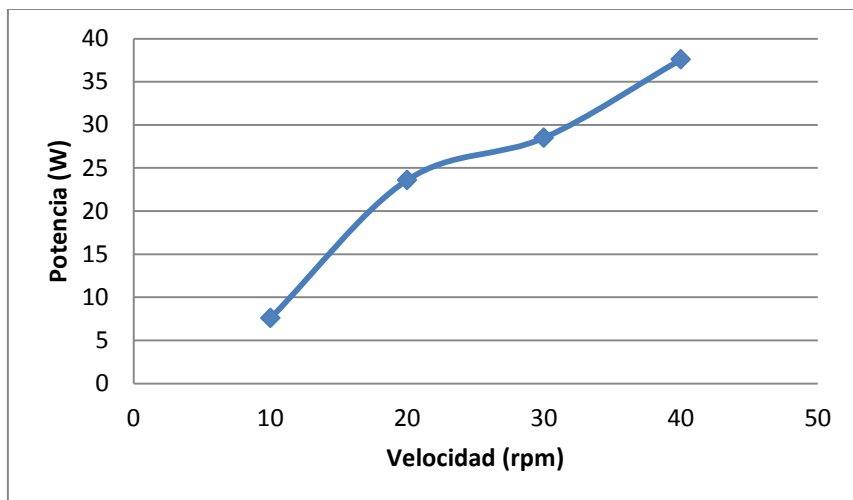


Figura 68. Gráfica de la potencia a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.

Torque.

En la figura 69, muestra el comportamiento del torque a diferentes revoluciones, aunque solo en los dos últimos puntos muestran la tendencia de disminución del torque se puede concluir que efectivamente disminuye al aumenta las revoluciones, en la pruebas del 10 a 40 rpm del plato dosificador existe la demanda de torque del 7.2299 Nm a 8.9699 Nm como se muestra en la figura antes mencionada.

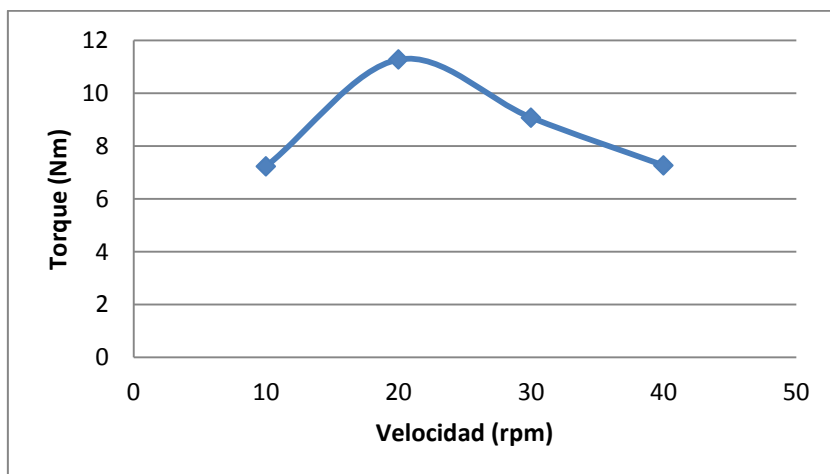


Figura 69. Gráfica del torque a diferentes revoluciones para el dosificador de semillas.

Dosis.

La dosificación de acuerdo a las revoluciones fueron en promedio 187, 284, 450 y 583 para 10, 20, 30 y 40 rpm respectivamente, en general por debajo de la descarga teórica con los valores de 180, 360, 540, 720 las revoluciones de prueba. En la figura 70 se muestra la diferencia de la descarga teórica y la descarga real con el dosificador desarrollado.

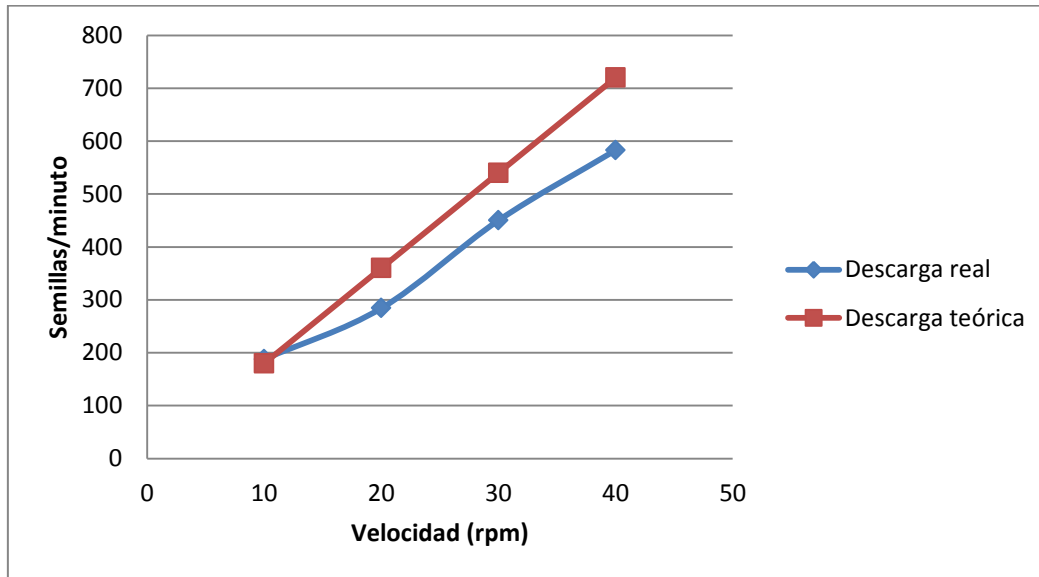


Figura 70. Diferencia de la descarga real a la teórica de semillas

Durante el funcionamiento del dosificador se observaron fallo, como el atasco de semillas principalmente, para su mejor entendimiento se debe presentar en porcentaje, en la figura 71 muestra el comportamiento de este fallo.

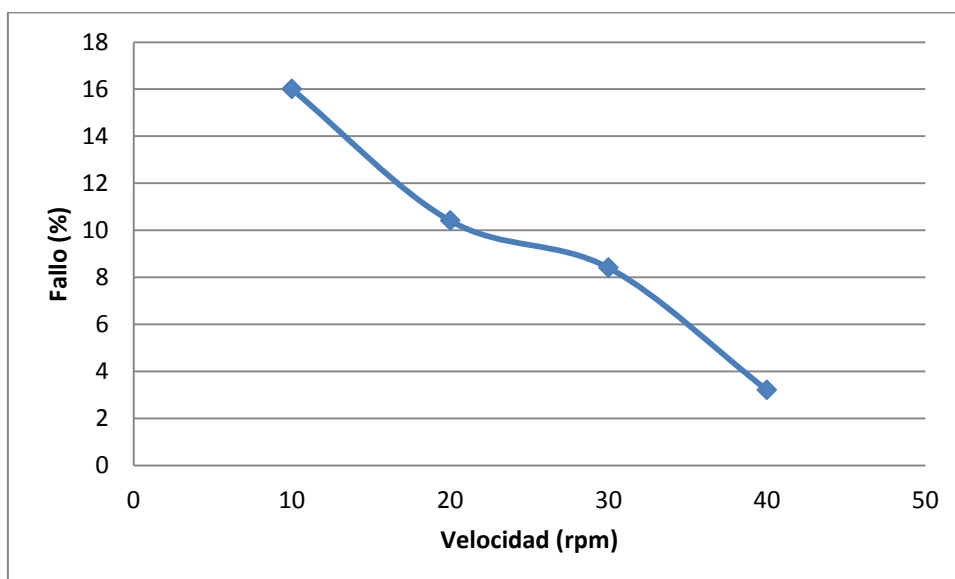


Figura 71. Comportamiento del fallo con relación al aumento de la velocidad para el dosificador de semillas.

Con relación a la velocidad de avanza de la máquina, la figura 72, muestra el rendimiento de la máquina en base a la dosis (semillas/ha). Para una velocidad de avance de 3km/h, 4km/h, 5km/h y 6 km/h y el plato dosificador a 10 rpm entrega una dosis de 11268, 53657, 40243, 32194 y 26828 semillas/ha respectivamente; a 20 rpm del plato dosificador entrega una dosis 17052, 81200, 60900, 48720 y 40600 semillas/ha respectivamente, a 30 rpm del plato dosificador descarga 27009, 128617, 96463, 77170 y 64309 semillas/ha respectivamente y a 40 rpm del plato dosificador libera de 34968, 166514, 124885, 99908 y 83257 respectivamente. Este comportamiento es la que se muestra en la figura 72.

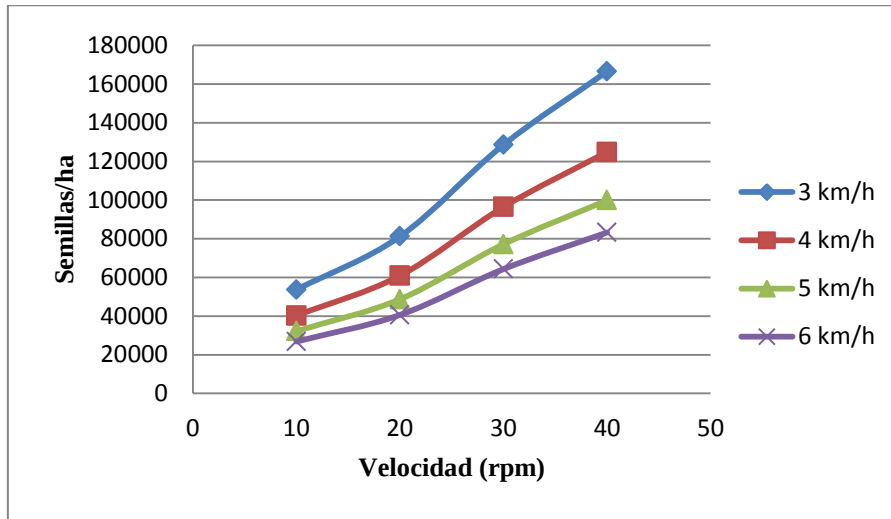


Figura 72. Gráfica de la dosis de semillas a diferentes revoluciones

3.5.2.- Prueba del dosificador de fertilizantes en el laboratorio.

Resultados de las pruebas del dosificador de fertilizantes.

A partir de los datos se calcularon la potencia y el torque para cada dosis, los cuales se analizaron con el programa SAS System 9.2 para obtener las estadísticas básicas para el conjunto de datos, tales como el análisis de varianza y la prueba de tukey que se presenta a continuación.

Análisis de varianza para las pruebas de fertilizantes en el taller.

En las tablas 29, 30, 31, 32 y 33 se dan el análisis de varianza para las fuentes de variación sobre el voltaje, la corriente, la potencia, el torque y la descarga (dosis) respectivamente.

Tabla 29. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre el Voltaje.

Fuente	Df	SS	CM	F - valor	Pr > F
F	2	216.002917	108.00	2981.88	<.0001
V	5	1559.75	311.95	8612.83	<.0001
F*V	10	1045.23	104.52	2885.85	<.0001
R ²	0.994484				
CV	3.838515				

Tabla 30. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la corriente.

Fuente	Df	SS	CM	F - valor	Pr > F
F	2	25.4805364	12.7402682	101.56	<.0001
V	5	255.0080864	51.0016173	406.55	<.0001
F*V	10	398.5409089	39.8540909	317.69	<.0001
R ²	0.926087				
CV	11.18881				

Tabla 31. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la potencia.

Fuente	Df	SS	CM	F - valor	Pr > F
F	2	269.32343	134.66171	49.00	<.0001
V	5	27456.74149	5491.34830	1997.96	<.0001
F*V	10	20764.59170	2076.45917	755.49	<.0001
R ²	0.976099				
CV	9.104572				

Tabla 32. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre el torque.

Fuente	Df	SS	CM	F - valor	Pr > F
F	2	127.339941	63.669971	518.95	<.0001
V	5	536.567021	107.313404	874.68	<.0001
F*V	10	1614.029349	161.402935	1315.54	<.0001
R ²	0.977262				
CV	6.750851				

Tabla 33. Análisis de varianza para fuentes de variación sobre la dosis.

Fuente	Df	SS	CM	F - valor	Pr > F
F	2	56864198.1	28432099.1	12114.7	<.0001
V	5	331273702.3	66254740.5	28230.6	<.0001
F*V	10	167144673.1	16714467.3	7121.91	<.0001
R ²	0.998177				
CV	2.660875				

Dónde: f- tipo de fertilizante; v – velocidad angular; R²- coeficiente de correlación; CV – coeficiente de variación; Df – Grados de libertad; SS - suma de cuadrados; CM – cuadrados medios.

Con una probabilidad del 99.99%, para cualquier nivel de significancia existe diferencia significativa en la variable voltaje, corriente, potencia, torque y la descarga (dosis) debido a las fuentes de variación del tipo de fertilizante (F), la velocidad angular (V) y por la interacción fertilizante- velocidad angular (F*V). Las variaciones existentes se pueden atribuirle al tamaño de las partículas de los fertilizantes, al existir partículas mayores de 5 mm como se presenta en la figura 34.

Pruebas de tukey.

En la tabla 34 se presentan las pruebas de tukey para las fuentes de variación sobre el voltaje, corriente, potencia, torque y la dosis (descarga).

Tabla 34. Pruebas de tukey para las fuentes de variación.

Voltaje			Corriente			Potencia		
F de V	Nivel	Media	F de V	Nivel	Media	F de V	Nivel	Media
F	1	5.59 a	F	1	3.469 a	F	1	19.30 a
	2	5.29 b		2	3.139 b		2	17.62 b
	3	3.99 c		3	2.888 c		3	17.71 b
DMS _{0.05}		0.05	DMS _{0.05}		0.0962	DMS _{0.05}		0.4502
V	1	1.62 f	V	1	1.949 e	V	1	4.67 e
	2	3.77 e		2	3.460 c		2	13.11 d
	3	5.12 d		3	3.620 bc		3	18.74 c
	4	6.32 b		4	3.771 ba		4	24.12 b
	5	7.42 a		5	3.887 a		5	29.21 a
	6	5.49 c		6	2.306 d		6	19.38 c
DMS _{0.05}		0.089	DMS _{0.05}		0.1656	DMS _{0.05}		0.775
Torque			Dosis					
F de V	Nivel	Media	F de V	Nivel	Media			
F	1	5.94 a	F	1	2267.773 a			
	2	4.81 b		2	1796.067 b			
	3	4.82 b		3	1398.073 c			
DMS _{0.05}		0.10	DMS _{0.05}		13.156			
V	1	4.49 e	V	1	379.800 f			
	2	6.26 a		2	1123.480 e			
	3	5.97 b		3	1787.000 d			
	4	5.76 c		4	2361.240 b			
	5	5.58 d		5	2976.320 a			
	6	3.08 f		6	2295.987 c			
DMS _{0.05}		0.1637	DMS _{0.05}		22.646			

Dónde: DMS_{0.05} – diferente mínima significativa honesta; medias con la misma letra no presentan diferencias significativas al nivel de significancia de 0.05%.

Voltaje.

Presentó una media general de 4.958 Volts. Fue mayor en fertilizante 1 en 5.27% y 28.53% que en los fertilizantes 2 y 3 respectivamente presentando una diferencia entre estos dos últimos de 24.56%. Fue mayor en la velocidad angular 5 en 78.17% respecto al último con valor de 1.62 Volts.

Corriente.

Presenta una media general de 3.165 Amperios. Fue mayor en Fertilizante 1 en 9.513% y 16.748% que en los fertilizantes 2 y 3 respectivamente presentando una diferencia entre estos dos últimos de 7.996%. En cuanto a la velocidad angular fue mayor en 5 de 49.858% respecto al último con valor de 1.949 amperios.

Potencia.

Presenta una media general de 18.20902 Watts. Fue mayor en Fertilizante 1 en 8.705 % respecto a los dos restante, entre estos dos último estadísticamente no presentan una diferencia significativa. En cuanto a la velocidad angular fue mayor en 5 de 84.012% respecto al último con valor de 4.670 Watts.

Torque.

Presenta una media general de 5.188533 Nm. Fue mayor en Fertilizante 1 en 18.855% respecto a los dos restante, entre estos dos último estadísticamente no presentan una diferencia significativa. En cuanto a la velocidad angular fue mayor en 2 de 50.798% respecto al último con valor de 3.08 Nm.

Dosis.

Presenta una media general de 1820.638 Nm. Fue mayor en Fertilizante 1 en 20.800% y 38.350% que en los fertilizantes 2 y 3 respectivamente presentando una diferencia entre estos dos últimos de 22.159%. Con la fuente de variación velocidad angular fue mayor en 5 de 50.798% respecto al último con valor de 379.800 gramos.

En la tabla 35 se dan los valores de las variables para la interacción F*V

Tabla 35. Interacción de la variable Fertilizante y velocidad angular (FV).

Voltaje		Corriente		Potencia		Torque		Dosis	
FV	Media	FV	Media	FV	Media	FV	Media	FV	Media
16	8.37800 a	34	4.6720 a	35	35.091 a	11	8.631 a	16	3796.00 a
26	8.09920 b	33	4.5140 a	34	32.447 b	33	8.026 b	15	3323.16 b
35	7.61200 c	35	4.4280 a	26	29.240 c	34	7.745 cb	26	3091.96 c
15	7.38400 d	12	3.9300 b	16	28.890 c	12	7.510 c	35	3012.60 d
25	7.27400 d	25	3.7660 b	25	26.916 d	35	6.701 d	14	2616.96 e
34	6.92400 e	32	3.5760 cd	15	25.612 e	32	6.437 d	25	2593.20 e
14	6.12800 f	26	3.4700 cd	33	25.223 e	13	5.163 e	34	2451.48 f
24	5.89400 g	15	3.4680 cd	14	20.320 f	25	5.141 e	24	2015.28 g
33	5.60680 h	16	3.4480 cd	24	19.595 f	15	4.891 fe	13	1989.96 g
13	4.96800 i	11	3.3896 ed	13	16.220 g	14	4.852 fe	33	1808.52 h
23	4.79400 i	24	3.3244 ed	12	15.729 g	22	4.830 fe	23	1562.52 i
12	4.00200 j	14	3.3152 ed	23	14.782 hg	21	4.826 fe	12	1237.56 j
32	3.81560 j	13	3.2640 ed	32	13.482 h	23	4.707 f	32	1115.84 k

22	3.51800 k	23	3.0832 ef	22	10.118 i	24	4.679 f	22	1017.04 l
11	2.66640 l	22	2.8752 f	11	9.039 i	26	4.653 f	11	643.00 m
21	2.18000 m	21	2.3188 g	21	5.054 j	16	4.596 f	21	496.40 n
31	0.00000 n	31	0.0000 h	31	0.000 k	31	0.000 g	0	0.00 o
36	0.00000 n	36	0.0000 h	36	0.000 k	36	0.000 g	0	0.00 o

Dónde: FV indica la interacción fertilizante-velocidad angular; medias con la misma letra no presentan diferencias significativas al nivel de significancia de 0.05%.

De la tabla 35, datos de la interacción F*V, se obtuvieron las gráficas de las variables, los cuales son las que se presentan a continuación.

En la figura 73 muestra la descarga promedio de tres tipos de fertilizantes a diferentes revoluciones y a distintas velocidades.

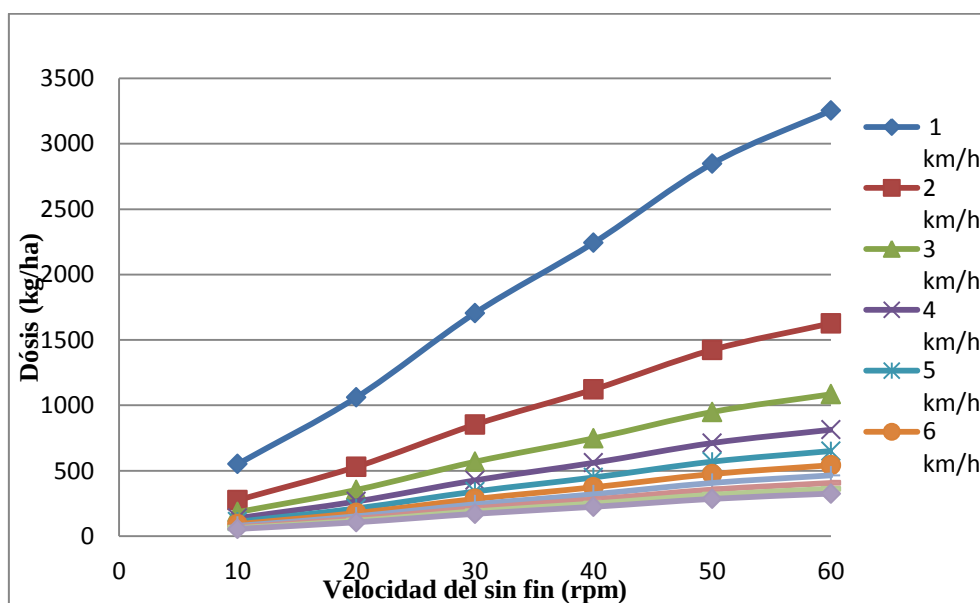


Figura 73. Gráfica de la dosis a diferentes revoluciones y velocidades de avance.

En la gráfica 74 muestra la tensión (voltaje) para descargar a diferentes revoluciones de tres distintos tipos de fertilizantes.

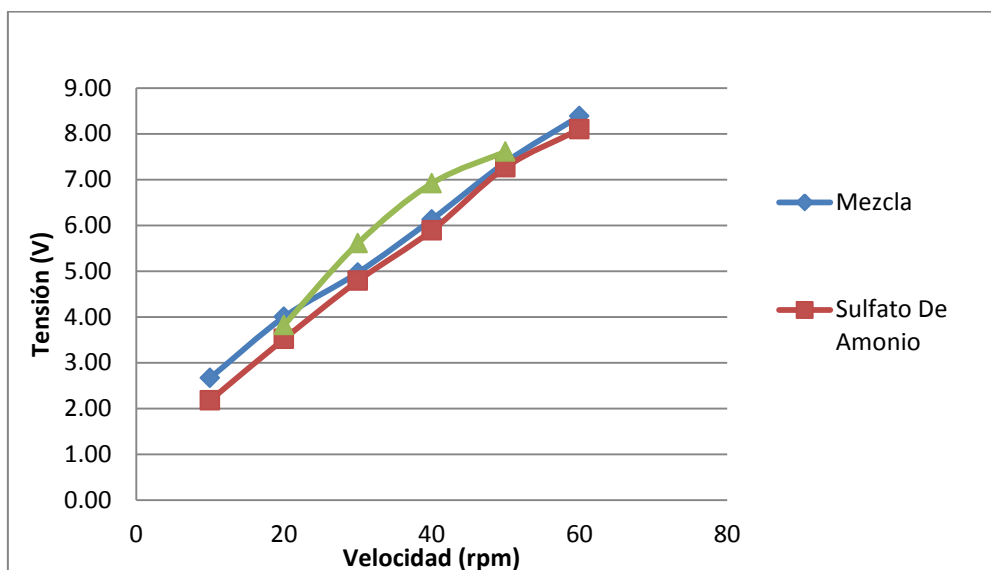


Figura 74. Potencias a diferentes revoluciones.

En la gráfica 75 muestra el consumo de corriente necesario para descargar a diferentes revoluciones de tres distintos tipos de fertilizantes.

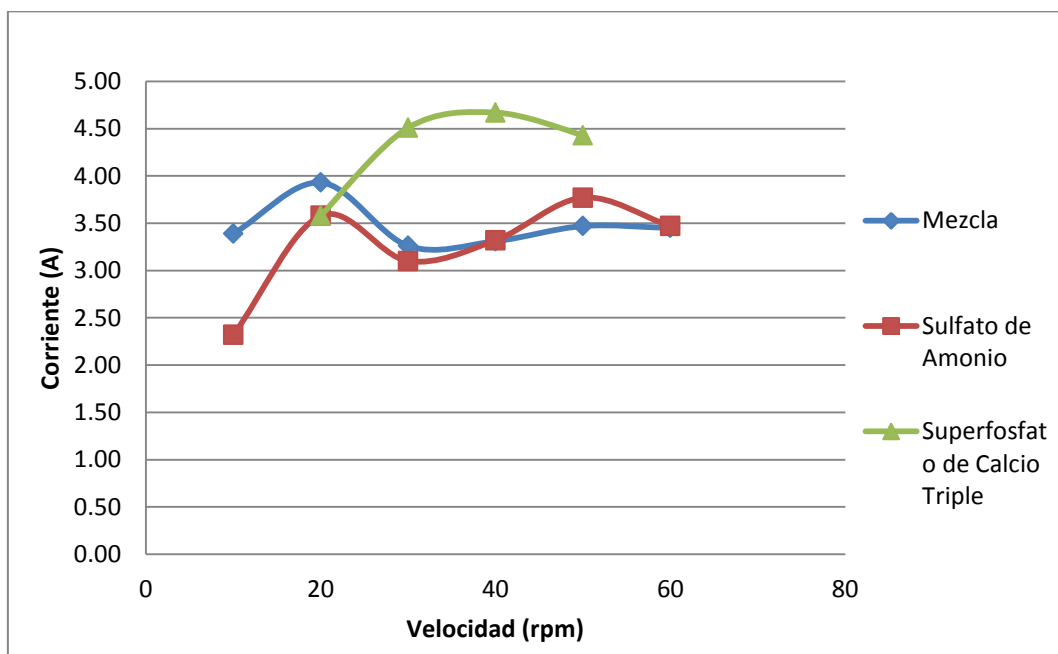


Figura 75. Corriente a diferentes revoluciones.

En la gráfica 76 se muestra la demanda de potencia para descargar los tres tipos de fertilizantes a diferentes revoluciones.

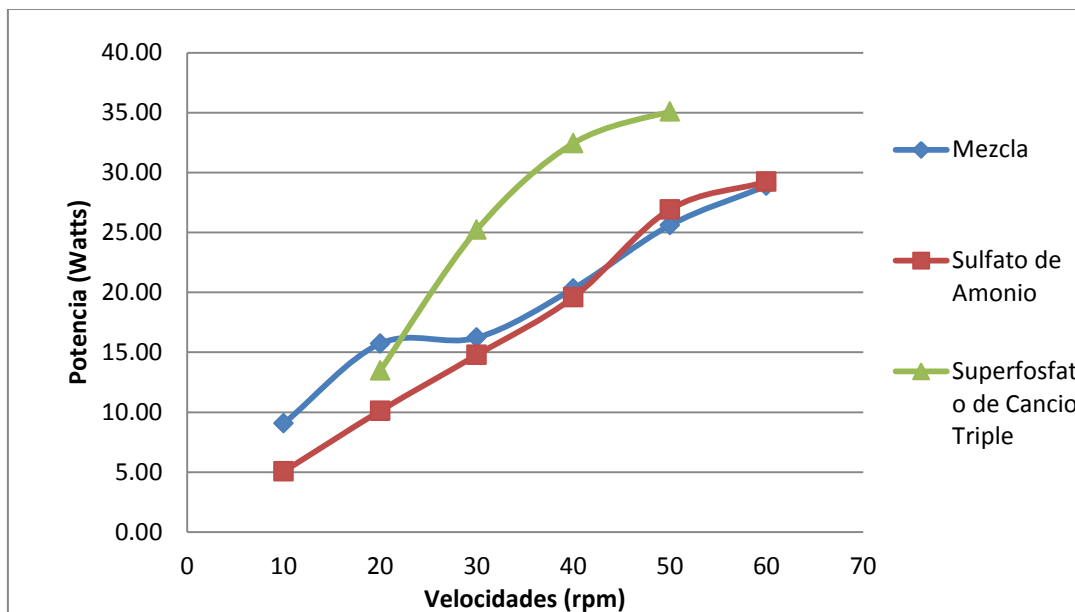


Figura 76. Demanda de potencia a diferentes revoluciones.

En la gráfica 77 muestra el torque necesario para mover el sin fin para dosificar tres tipos diferentes tipos de fertilizantes.

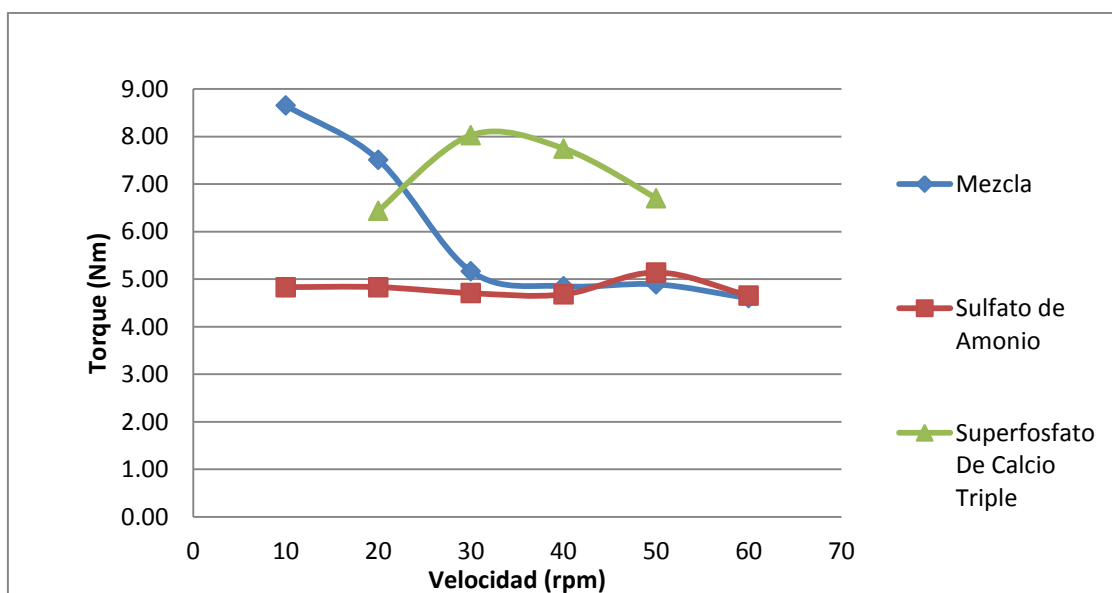


Figura 77. Torque a diferentes revoluciones.

Un modelo de tendencia para estimar la potencia en función de las fuentes de variación de velocidad angular y el tipo de fertilizante es la que se presenta en la gráfica 78.

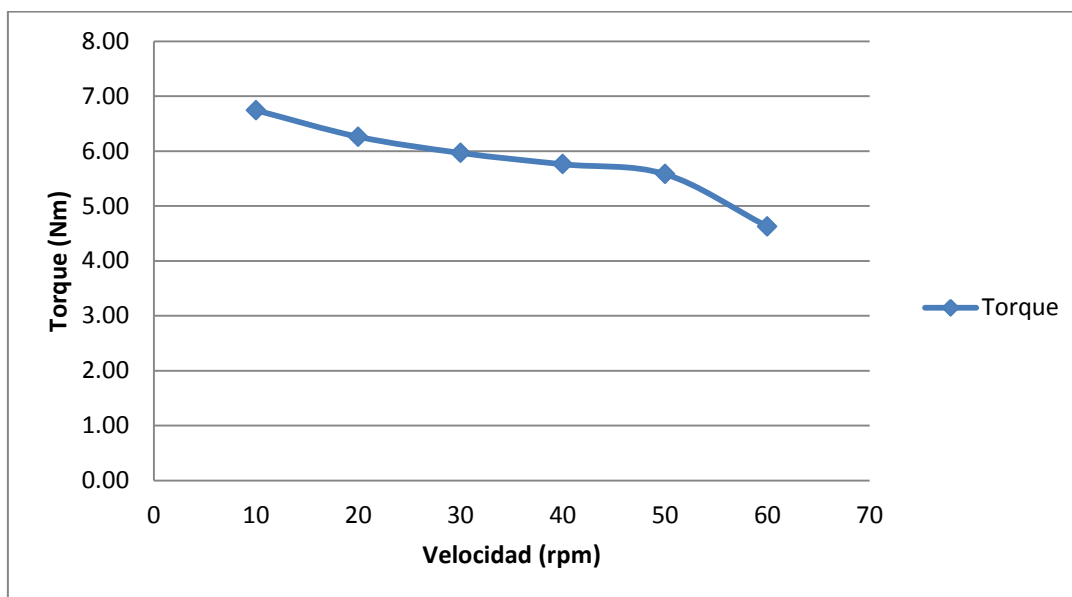


Figura 78. Modelo de tendencia.

3.6.- Análisis de costos del prototipo.

3.6.1.- Cotización de partes.

En el tabla 36 se muestran los materiales, para la construcción del prototipo.

Tabla 36. Lista de materiales usados en la construcción de los dosificadores.

Especificación del material	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Importe
Nylon de alta densidad (Nylacero) barra redondo de 10" x 2".	Piezas	2	2300.00	4600.00
Nylon de alta densidad (Nylacero) placa de 10" x 22"x 1/4".	Pieza	1	490.00	490.00
Barra redonda sólida de 3/8"	Metros	1	150.00	150.00
Rodamientos de 3/8"	Piezas	2	85.00	160.00
Lámina de acero inoxidable	Pieza	1	2390.00	2390.00
Tornillos y accesorios	-----	-----	450.00	450.00
Motor de 12 V. de 90 Watts	Pieza	2	500.00	1000.00
Barra redondo de 3/4"	Metros	1	180.00	180.00
Materiales electrónicos	-----	-----	1500.00	1500.00
Soleras 3/16" x 3/4"	Pieza	1	180.00	180.00
Solera 3/16" x 3"	Pieza	1	210.00	210.00
Rodamiento 3/4"	Piezas	2	90.00	180.00
Pasadores (Chavetas)	Piezas	8	15.00	120.00
Pilas de 12 V a 7 Ah	Piezas	2	500.00	1000.00
Manguera 1/2"	Metros	5	15.00	75.00
Abrazaderas para 1/2"	Piezas	4	12.00	48.00
Tubo de PVC 1 1/2"	Metros	1	45.00	45.00
Válvula de bola para tubo de PVC	Pieza	1	120.00	120.00
Total	12898.00			

El costo total de los materiales suma un monto de \$ 12898.00

El iva del 15% corresponde a \$ 1934.70

Con un total de \$ 14832.70

3.6.2.- costo de mano de obra.

El costo de la mano de obra equivale al 100 % del valor total de los materiales el cual es igual es de \$ 14832.70

Costo por el uso de la instalación.

Este costo corresponde al 20% del costo total de los materiales el cual corresponde a \$ 2966.54

Costo por consumo de energía eléctrica

Se considera que los equipos se usaron al 50% por lo tanto se estima que existe un costo de energía de \$25.00 diarios multiplicando por 90 días por lo que existe un total de \$2250.00.

Por tanto el costo total de fabricación es de **\$34881.94**

3.6.3.- Costo horario del prototipo.

Se consideraron los siguientes como datos iniciales.

Va -Valor de adquisición: \$34881.94

Vr -Valor de rescate: \$3488.19 (10% del valor de adquisición)

Ha - Horas anuales de uso: 400 h/año

.n - Vida útil: 10 años

i - Tasa de interés anual: 20%

s - Prima anual de seguro: 2%

k- Factor de almacenaje: 0.01

Q - Factor de mantenimiento: 40% del costo de adquisición equivalente a \$13952.776

Costo fijo.

Para calcularlo, se determinaron los coeficientes siguientes:

La depreciación del prototipo, sustituyendo en la ecuación 82 resulta:

$$D = \frac{34881.94 - 3488.19}{10 * 400} = 7.85 \frac{\$}{h}$$

Intereses de capital invertido

El cargo de los intereses correspondientes al capital invertido, de acuerdo a la ecuación 83 es:

$$I = \frac{34881.94 + 3488.19}{2 * 400} * 0.2 = 7.85 \frac{\$}{h}$$

El cargo por seguros, para cubrir riesgos posibles de la maquina durante la vida útil, se tiene de acuerdo a la ecuación 84 de:

$$S = \frac{0.02 * (34881.94 + 3488.19)}{2 * 400} = 0.96 \frac{\$}{h}$$

Por la ecuación 85, el costo por almacenaje representa es:

$$A = 0.01 * 7.85 = 0.0785 \frac{\$}{h}$$

Al sustituir en 86 el costo fijo del prototipo fue:

$$CF = D7.85 + 7.85 + 0.96 + 0.0785 = 16.74 \frac{\$}{h}$$

Costo de consumo.

La máquina cuenta con 2 motores eléctricos de 1/4 hp, $N_n = 0.5\text{HP}$.

Sustituyendo valores en 87 se obtuvo el consumo de energía eléctrica:

$$C_E = 0.5 * 0.653 * 0.733 = 0.24 (\$/h)$$

El costo por mantenimiento y reparación fue de acuerdo a la ecuación 88 es:

$$M = 0.4 * 7.85 = 3.14 \frac{\$}{h}$$

El costo de consumo se obtuvo al sustituir en 89 el cual es:

$$CC = 0.24 + 3.14 = 3.38 \frac{\$}{h}$$

Costo de operación.

Para la operación de las sembradoras se considera un persona cuyo salario base es de \$120.00 con un factor de salario de 1.2. al sustituir en 90 se obtuvo:

$$O = \frac{150 * 1.2}{7.5} = 24.00 \frac{\$}{h}$$

El costo horario total por el uso del prototipo de acuerdo a la ecuación 91 fue.

$$CHT = 16.74 + 3.38 + 24 = 44.12 \frac{\$}{h}$$

3.6.4.- Ingreso por el uso de la máquina.

Para el ingreso horario se consideró un rendimiento de la máquinas de 14.26 kg/h y el costo de trabajo es de \$16/kg, este costo es de acuerdo a Unisem S. A. de C. V. el cual reporta que el costo promedio se siembra por hectárea para un promedio de 80000 semillas es de 500.00 pesos. Al sustituir en 93 se obtuvo:

$$IH = 14.26 * 16 = 76.03 \frac{\$}{h}$$

Utilidades

Las utilidades o ganancias teóricas se obtuvieron de acuerdo a la ecuación 94:

$$U = 76.03 - 44.12 = 31.91 \frac{\$}{h}$$

Relación Costo – Beneficio (Rc/b)

La relación beneficio-costos de cálculo de acuerdo a la ecuación 95 y el cual resultó:

$$R_{b/c} = \frac{76.03}{44.12} = 1.72$$

La fabricación del prototipo es factible al tener una relación beneficio –costo mayor a la unidad, el resultado del análisis son los que se presenta en la tabla 37.

Tabla 37. Resultado del análisis económico.

Concepto	Precio
Costo de la máquina (\$)	\$ 34881.94
Costo horario total por el uso de la máquina (\$/h)	44.12
Costo de la materia prima (\$/h)	0
Ingresos horarios (\$/h)	76.03
Utilidades (\$/h)	31.91
Relación beneficio-costeo.	1.72

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la determinación de las propiedades físico mecánicas de semillas y de fertilizantes resultaron que la longitud máxima de la semillas fue de 16.7 mm con un promedio de 10.4, ancho máximo de 9.7mm y un promedio de 6.8 y el espesor máximo de 9.4mm con un promedio de 2.9mm, además de un ángulo de reposo de 28 grados, mientras que los datos relevantes para fertilizantes se encontró que el ángulo de reposo promedio fue de 30 grados, y en el resultado del tamizado del fertilizante se observó que existen partículas de mayor de 5 mm en un porcentaje de 0.5%.

Se diseñó, construyó y se hizo la prueba estática de cada dosificador, considerando como relevante el cambio del sistema mecánico al sistema eléctrico en el accionamiento de ambos dosificadores. El cual permite la variación en la dosificación.

En el caso del dosificador de fertilizantes que consta de un transportador sin fin la capacidad de descarga fue de 60 g por revolución y del plato dosificador de semillas fue de 18 semillas por revolución. Cuando el motor trabajó de 10 a 60 rpm el voltaje varió de 2.18 a 8.4 V, y la corriente eléctrica varió de 2.32 a 4.70 A respectivamente. Cuando la demanda de potencia fue de 5.0 a 35.10 watts y del torque de 4.65 a 8.65 Nm, la descarga de fertilizante fue de 495 a 3796 gramos respectivamente.

El dosificador de semillas se probó a un nivel de succión de 10 pulgadas de columna de agua obtenido en una turbina movido por un motor hidráulico accionado por el hidráulico del tractor, cuando el motor trabajó de 10 a 40 rpm el voltaje varió de 2.95 a 7.61 V, y la corriente eléctrica varió de 2.57 a 4.94 A respectivamente. Cuando la demanda de potencia fue de 7.57 a 37.57 watts y del torque de 7.23 a 11.30 Nm, la descarga de semillas fue de 187 a 582 semillas por minuto respectivamente

En este sentido se concluye que ambos dosificadores son capaces de accionarse con un motor eléctrico, además que es posible la variación en la dosis para ambos, esto gracias al circuito controlador de velocidad por variación de ancho de pulso.

De acuerdo a las pruebas realizadas se recomienda:

1. Que el plato dosificador sea de acero inoxidable para mejorar el desprendimiento de las semillas en la descarga.
2. Los motores eléctricos sean de la misma capacidad que los motores probados pero sean de tipo industriales.
3. Diseñar y construir un circuito electrónico que con base a mapas de fertilizada de suelo haga variar la velocidad angular de los motores, consecuentemente a los dosificadores.
4. Realizar la prueba y evaluación en el campo de la unidad sembradora con los dosificadores variables instalados.

LITERATURA CITADA.

Aguilar F. 1999. Determinación de la fuerza axial en un transportador de sin fin. Ingeniería Mecánica, 1 (1999) 51-55.

Améndola. R.; Cach. I.; Álvarez. E.; López. I.; Burgueño. J.; Martínez. P.; Cristóbal. D.; 2011. Balance de nitrógeno en maíz forrajero con diferente fertilización y fase de rotación con praderas. Agrociencia. 45:2:177-193.

Bragachini. M.; Martini A.; Méndez A. 2011. Agricultura de precisión/Siembra Variable con Geoposicionamiento Satelital. INTA Manfredi. Córdoba, Argentina. Web: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Siembra-Variable.asp>

Breece H. E.; Hansen H. V.; Hoerner T.A. 1975. Fundamento de funcionamiento de Maquinaria: Siembra. Deere & Company. Moline Illinois.

Campos-Magaña S. G.; Cadena-Zapata M.; Reynolds-Chávez A.; Jácome S.; Cruz-Ballado J. A.; Bonilla-Bada J. J.; Esqueda-Esquivel V. A. 2007. Desarrollo de un sistema de siembra neumático de alta precisión para labranza de conservación para tractores de potencia media TERRA Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 1. pp. 85-91.

Colegio de Postgraduados. 2006. Producción de Maíz Amarillo para la Industria. Financiera Rural. Primera edición. 150 p.

Cortés Jiménez, J. (2003). *Validación de métodos y densidades de siembra en el cultivo de trigo, en el Valle del Yaqui, Sonora*. Cd. Obregón, Sonora: INIFAP.. [1589].

Cueto W., J. A., D. G. Reta S., J. L. Barrientos R., G. González C., y E. Salazar S. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. Rev. Fitotec. Mex. 29: 97-101.

Cortés J. M.; Contreras E.; Martínez J. de J. 2003. Validación de métodos y densidades de siembra en el cultivo de trigo, en el Valle del Yaqui, Sonora. Volumen 48 de Folleto técnico. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui.

Comité de Normalización. 1987. Sembradora de Granos: Metodología para la Realización de las Pruebas. 1ra. Edición. Habana Cuba. pp. 3-8.

Elizondo. J.; Boschini. C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. Agronomía Mesoamericana. 22(2): 181-187.

Figueroa. B; Morales. F. J. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.

Flores. M. A.; Figueroa. U. 2010. Producción y ensilaje de maíz forrajero de riego. Folleto técnico no. 30. INIFAP. Zacatecas, México.

- Fraile J. 2003. Máquinas Eléctricas. Mc Graw Hill. Quinta edición. pp 757
- Pahl; W. Beitz. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. Edit. Springer.
- Guerrero R. 2004. Propiedades generales de los fertilizantes sólidos. Manual técnico. 4a edición. Monómeros Colombo- Venezolanos, Bogotá. 46 p.
- García F.; Cano O.; Oliva R.; Garzón J.; Rodríguez R. 2004. Diseño de un Surcador-Cultivador Fertilizador para Cultivos Varios. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 13.
- International Fertilizer Development Center. 1979. Fertilizer manual. Muscle shoals, Alabama, IFDC. 353 p.
- Iglesias. C.; Paneque. P.; Shkiliova. L. 1999. Evaluación y prueba de tractores y máquinas agrícolas. UACH/UAH. Chapingo, México.
- Juan A. Remus Silveira. 2001. La Agricultura de precisión revolución en progreso. Revista Ciencia Técnicas Agropecuarias. 10: (3): pp 1-6.
- Kepner R., A.; Barger E., C.; 1978. Principles of farm machinery. Third edition, The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut, USA.
- Kimbrell J., T.; 1991. "Kinematics Analysis and Synthesis". McGraw Hill International Editions, Singapore.
- Laguna A. 1999. Maquinaria Agrícola: Constitución, funcionamiento, regulaciones y cuidados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Listopaul G. 1986. Máquinas Agrícolas y de Drenaje. Editorial Agropromizdat. Moscú.
- Leidy Zulys Leyva Rafful; Cristiano Márcio Alves de Souza; Roberto Carlos Orlando. 2001. Agricultura de precisión. Revista Ciencia Técnica Agropecuarias, 10:3:pp7-10.
- Maloney T. 2006. Electrónica industrial moderna. Pearson educación. 5ta edición. Pp963.
- Newman, G. D. 1985. Análisis Económico en Ingeniería. Ed. McGrawhill. México, D. F.
- NMX-O-168-SCFI-2002, tractores, implementos y maquinaria agrícola – sembradoras – sembradoras unitarias y/o fertilizadoras accionadas mecánicamente, con dosificador de semilla de disco – especificaciones y método de prueba. pp. 26.
- Ortiz-Cañavate J. Y Hernanz J. L. 1989. Técnica de la mecanización agraria. 3a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Peña. A.; González. F.; Robles. F. J. 2010. Manejo Agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbrido tardío de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1(1): 27-35.

Pereira j. F. 2007. Análisis de los Factores que Intervienen Sobre la Resistencia al Flujo de Aire en Granos y Semillas en Operaciones de Manejo Poscosecha. Ingeniería 17 (1): 113-124.

Pahl; W. Beitz. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. Third Edition. Edit. Springer.

Pablo M. Hernández Alfonso, Pedro L. Hernández Piedra, Jorge Díaz Suárez, Yasmani Zamora Hernández, Yaima Dopico Valdés. 2006. Obtención del mapa de rendimiento georreferenciado del cultivo de la papa mediante el empleo de técnicas de agricultura de precisión. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 15, núm. 2, 2006, pp. 37-41, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba

Pérez M. C.; H. L. A.; González C. F. V.; García S. G.; Carballo C. A.; Vásquez R. T. R.; Tovar G. M. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura Técnica en México. 32 (3): 341-352.

Peña R. A.; González C. F.; Robles E. F. Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(1): 27-35.

Pérez M. C.; H. L. A.; González C. F. V.; García S. G.; Carballo C. A.; Vásquez R. T. R.; Tovar G. M. R. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura Técnica en México. 32 (3): 341-352

Reynolds M. 2006. Diseño de un sistema inteligente de dosificación neumático de semilla. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Silveira J. Teoría y Cálculo de Máquinas Agrícolas. 1990. Segunda edición. Edit. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

Sánchez. M. A.; Aguilar. C. U.; Valenzuela. N.; Sánchez. C.; Jiménez. M. C.; Villanueva. C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. Agronomía Mesoamericana. 22(2): 281-295.

Salvador Barragán G., Orlando Ramos H., Gilberto Villalobos Ll., Sergio Llamas Z., César A. Ortega V., José M. Garibay C. Diseño mecánico de un prototipo de sembradora de maíz Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 14, núm. 2, mayo-agosto, 2006, pp. 130-134, Universidad de Tarapacá Chile.

Salazar, M. R. 1994. Análisis económico en el campo de la Ingeniería. Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniería Mecánica Agrícola. Chapingo México. 200 P.

Santos A. 2012. Construcciones maquinas cosecha mango por vibración tesis maestría IAUIA. Chapingo completal.

Vaganoff. N. P. 1975. Máquinas de transporte. Librería y Editorial Alsina. Argentina.

Wildi T. 2002. Electrical Machines, Drives, and Power Systems. Prentice Hall. Fifth Edition. Pp 879.

Citas de páginas Web

[www.kuhn.es/internet/webes.nsf/0/.../\\$File/Maxima%202.pdf](http://www.kuhn.es/internet/webes.nsf/0/.../$File/Maxima%202.pdf). Consultado en enero de 2012

www.unizar.es/centros/eps/doc/AbonadorasProyeccion.pdf 19/02/12

<http://www.masseyferguson.com.ar/info-lastrado-patinamiento.htm> 25/02/12

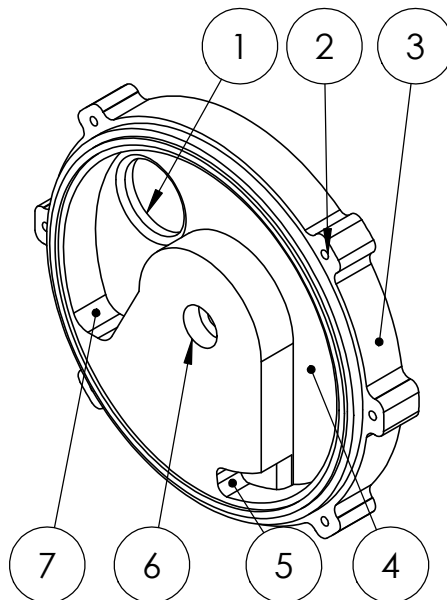
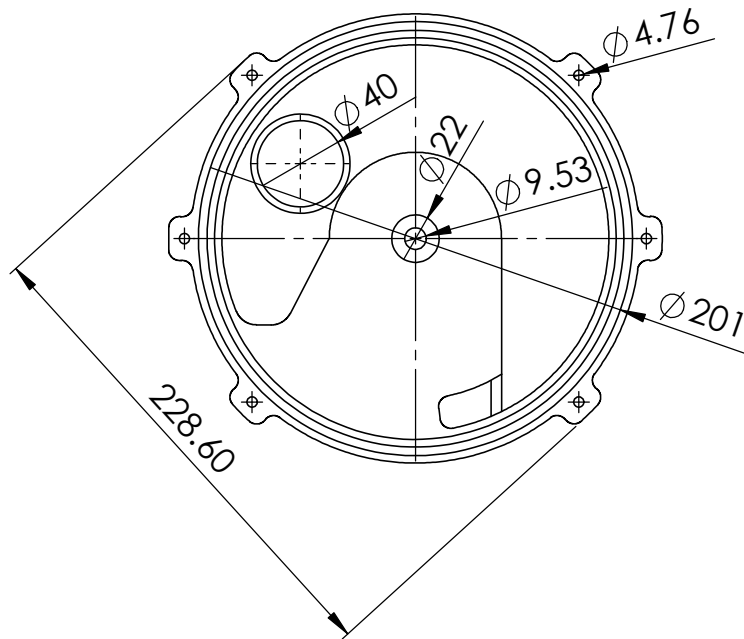
<http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/dosis-variable/Siembra-Variable.asp>

<http://inta.gob.ar> 02/02/2013

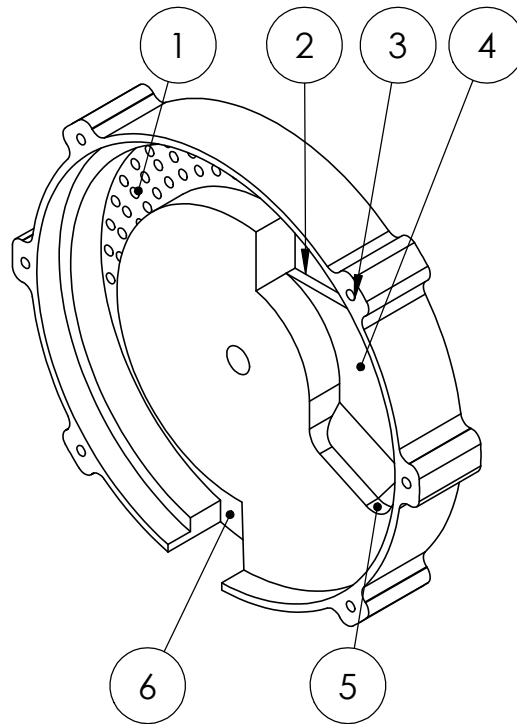
<http://www.schiarresa.com.ar/web/principal.html> 05/02/2013

<http://www.added-tech.com.ar/> 23/02/2013

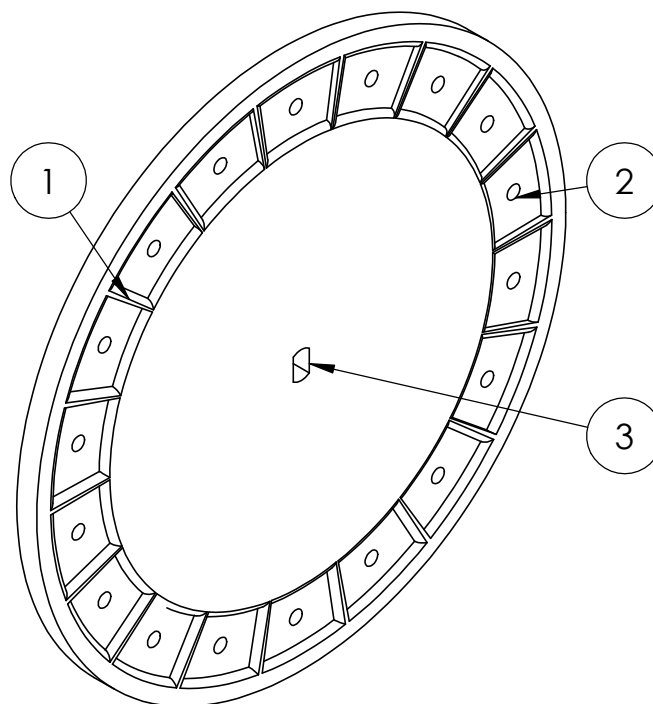
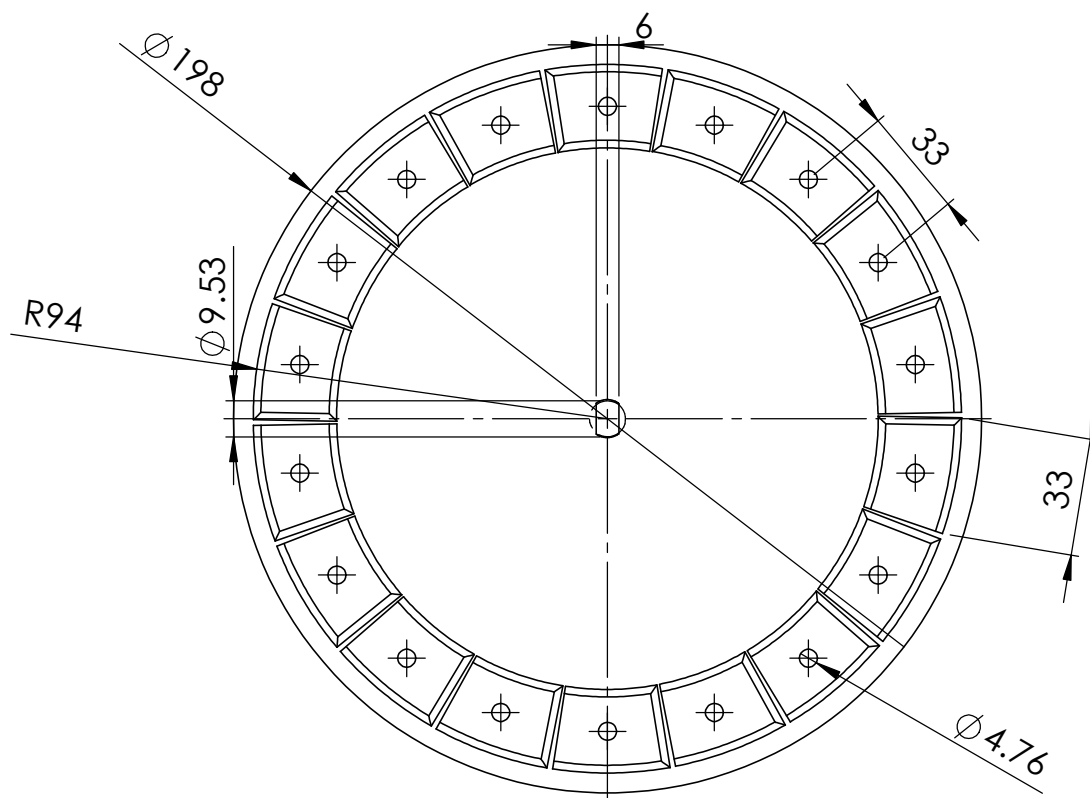
<http://semillastodoterreno.com/2013/05/inversion-o-coste-de-produccion-de-maiz-por-hectarea/> 07/10/2013.



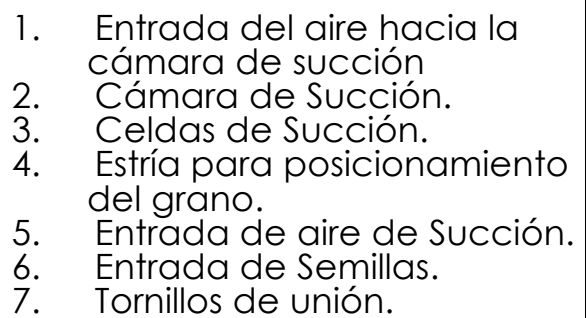
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.	Ing. Benito Díaz Ruiz					Carcasa de Succión			
VERIF.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
APROB.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
FABR.									
CALID.						MATERIAL:			
						Nylón de alta densidad (Nylamid)			
						PESO:			
						N.º DE DIBUJO		A4	
						Parte 1			
						ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1	



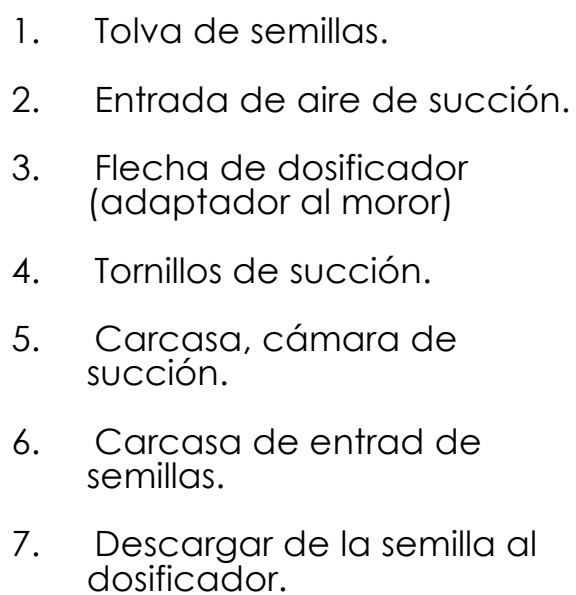
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: Carcasa de succión					
DIBUJ.	Ing. Benito Díaz Ruiz										
VERIF.	Dr. Noel Chávez Aguilera										
APROB.	Dr. Noel Chávez Aguilera										
FABR.											
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO Parte 3					A4
				Nylón de alta densidad (Nylamid)							
				PESO:		ESCALA:1:1				HOJA 1 DE 1	



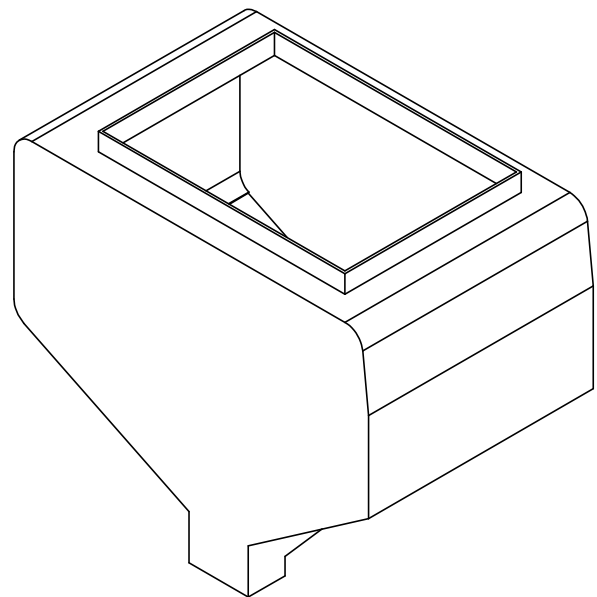
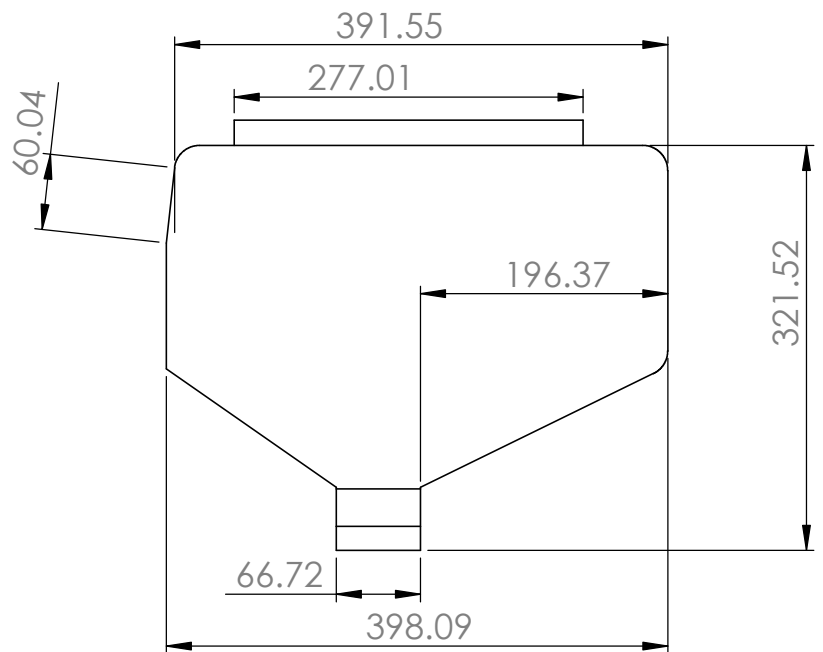
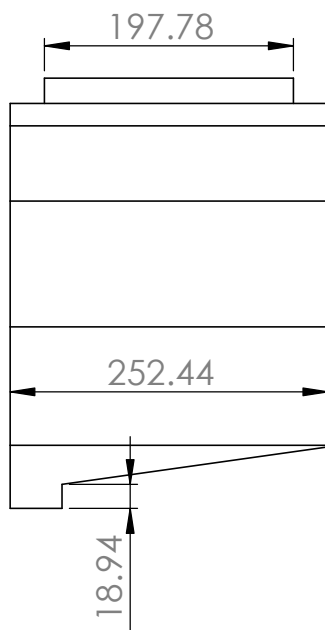
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: Plato dosificador				
DIBUJ.		Ing. Benito Díaz Ruiz								
VERIF.		Dr. Noel Chávez Aguilera								
APROB.		Dr. Noel Chávez Aguilera								
FABR.										
CALID.				MATERIAL: Nylón de alta densidad (Nylamid)		N.º DE DIBUJO Parte 2				A4
				PESO:		ESCALA: 1:1				HOJA 1 DE 1



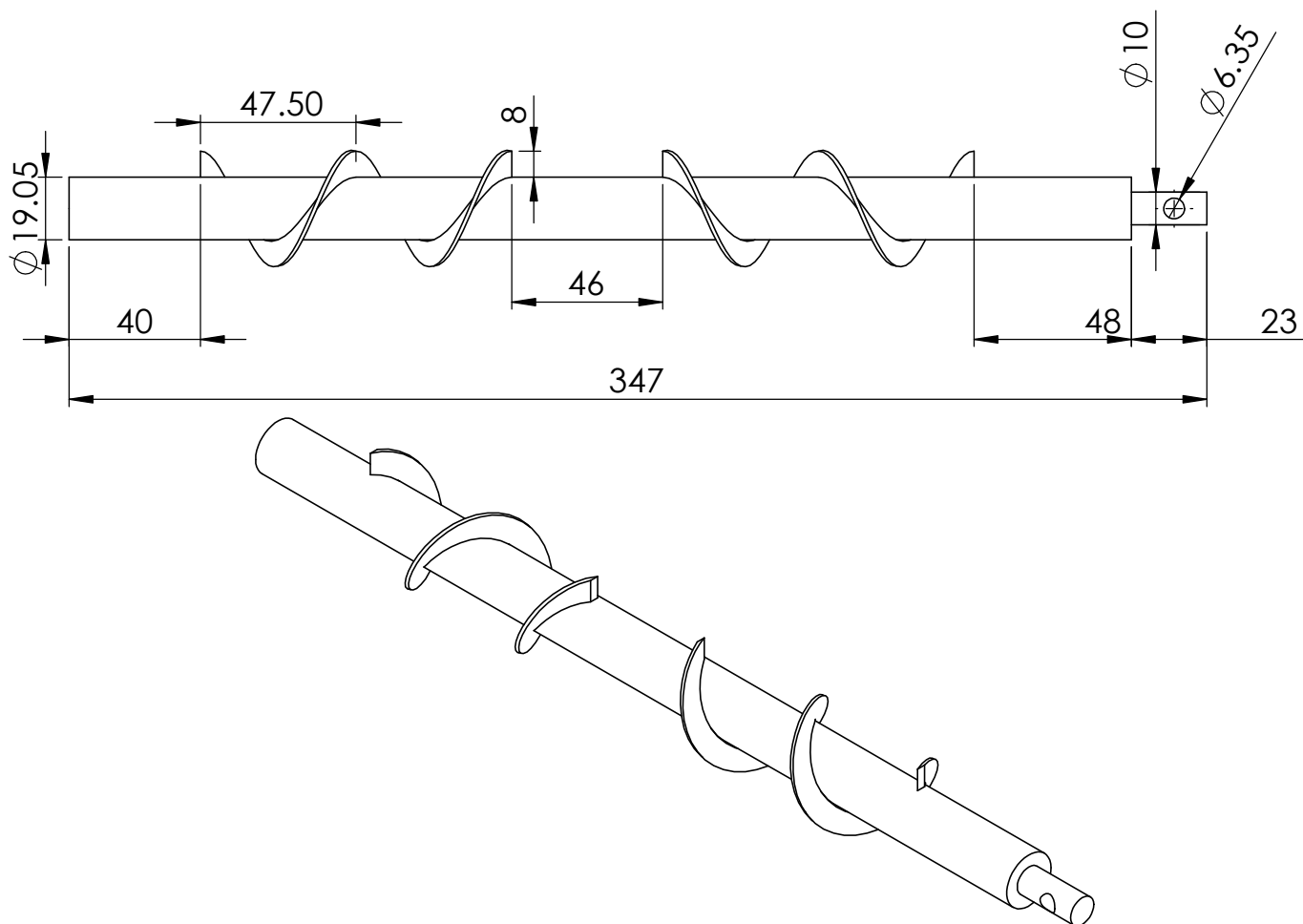
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						ACABADO:						REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS						NO CAMBIE LA ESCALA												REVISIÓN																																			
						NOMBRE						FIRMA						FECHA																		TÍTULO: Ensamblaje del plato dosificador																													
DIBUJ.						Ing. Benito Díaz Ruiz																																																											
VERIF.						Dr. Noel Chávez Aguilera																																																											
APROB.						Dr. Noel Chávez Aguilera																																																											
FABR.																																																																	
CALID.																								MATERIAL: Nylón de alta densidad (NYLAMID)												N.º DE DIBUJO Ensamblaje 1												A4																	
												PESO:												ESCALA:1:1												HOJA 1 DE 1																													



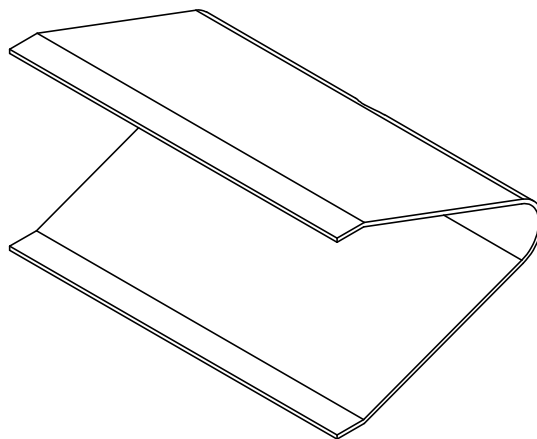
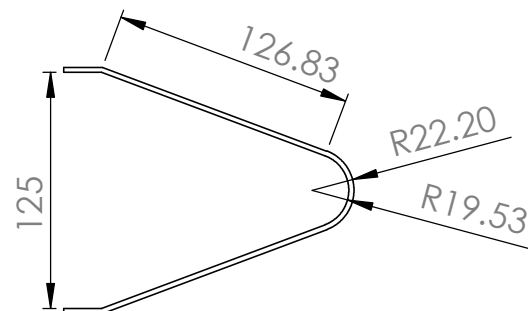
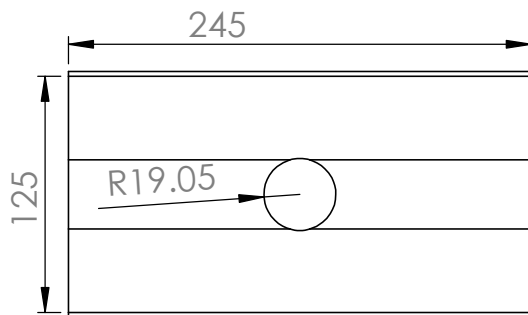
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA				REVISIÓN		
	NOMBRE		FIRMA		FECHA				TÍTULO: Ensamblaje General de dosificador de Semillas							
DIBUJ.	Ing. Benito Díaz Ruiz															
VERIF.	Dr. Noel Chávez Aguilera															
APROB.	Dr. Noel Chávez Aguilera															
FABR.																
CALID.					MATERIAL: Diversos: Lámina de acero inoxidable, Nylón, tubo PVC de 1 1/2".										N.º DE DIBUJO Ensamblaje	
					PESO:				ESCALA:1:1				HOJA 1 DE 1			



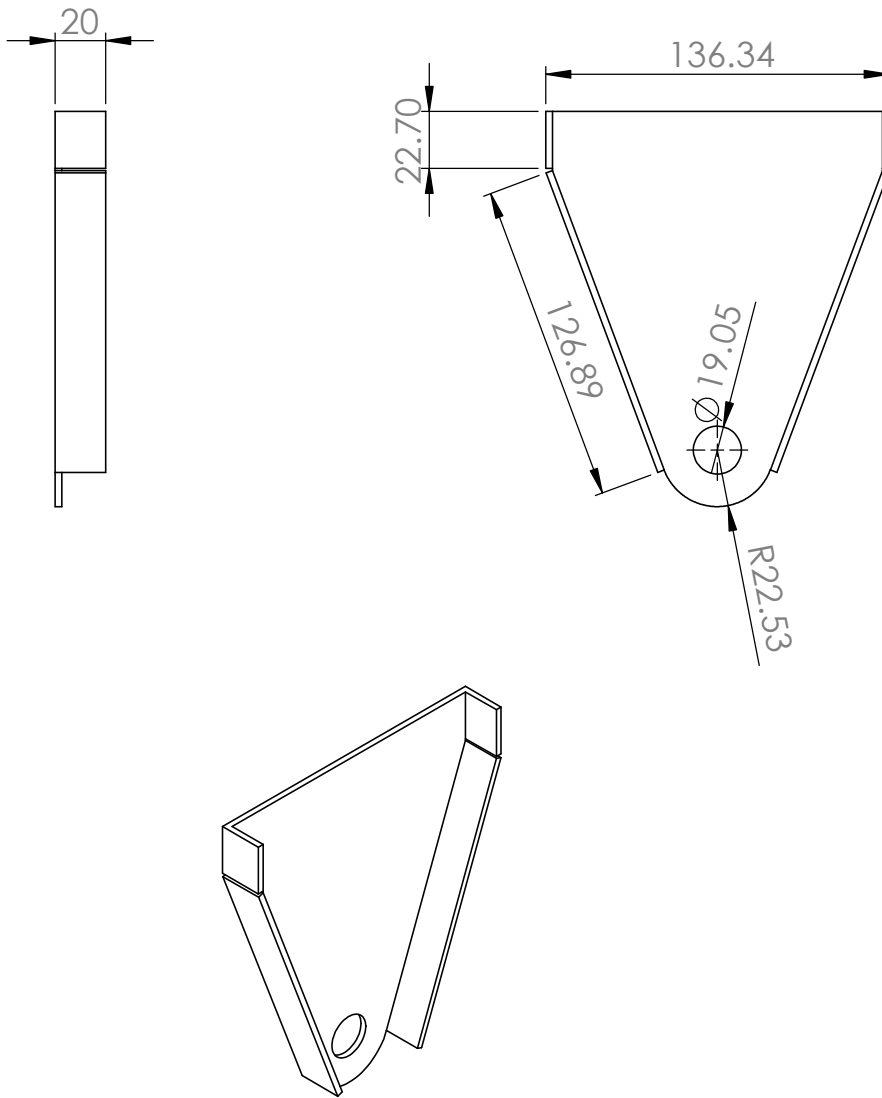
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
Ing. Benito Díaz Ruiz						Tolva de semillas			
Dr. Noel Chávez Aguilera									
Dr. Noel Chávez Aguilera									
MATERIAL:						N.º DE DIBUJO			
Acero inoxidable cal 18						Parte 6			
PESO:						A4			
						ESCALA: 1:1			
						HOJA 1 DE 1			



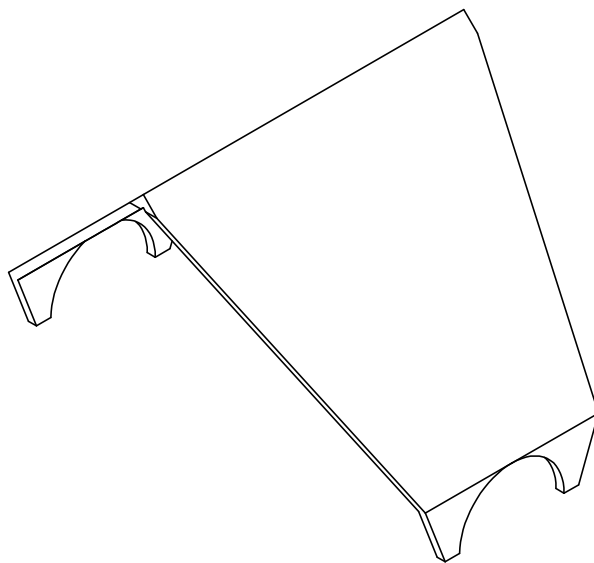
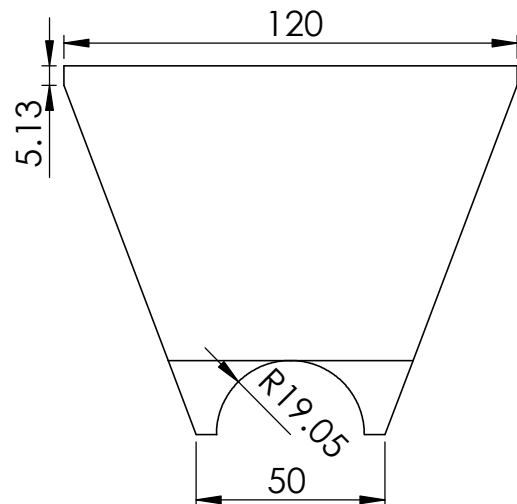
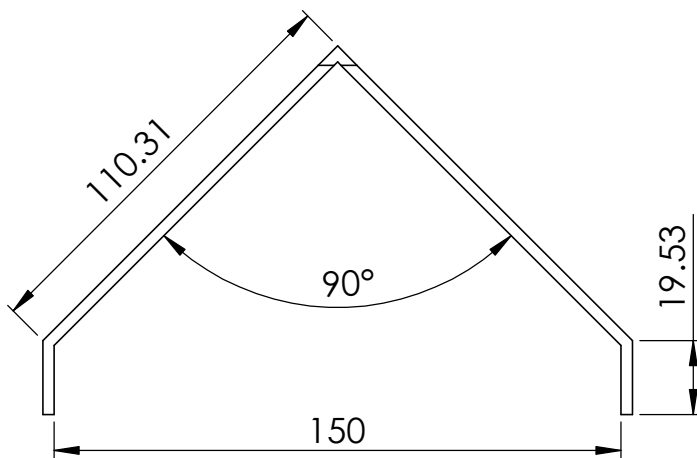
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		Transporte sin fin Parte 1	
DIBUJ.		Ing. Benito Díaz Ruiz							
VERIF.		Dr. Noel Chávez Aguilera							
APROB.		Dr. Noel Chávez Aguilera							
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Flecha de 3/4 1018, rondanas de 11/4		Parte 1			
				PESO:		ESCALA:1:1		HOJA 1 DE 1	



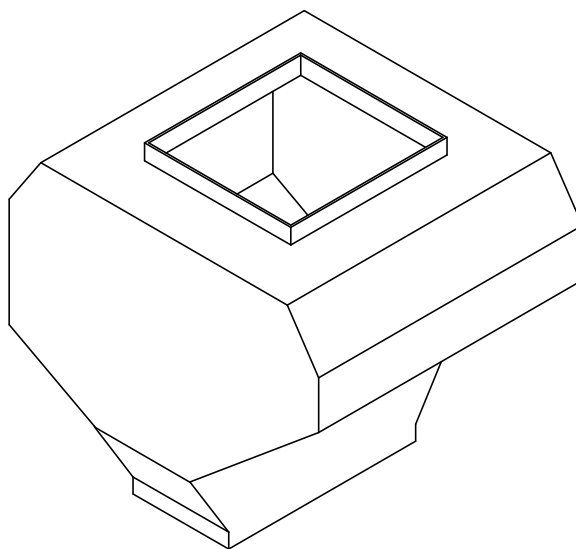
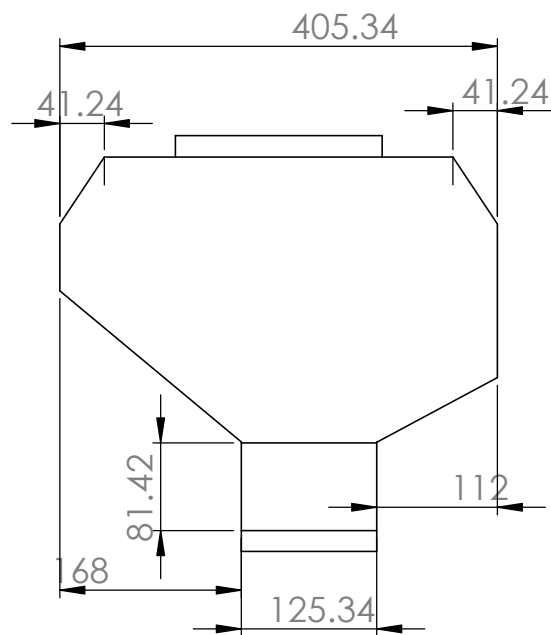
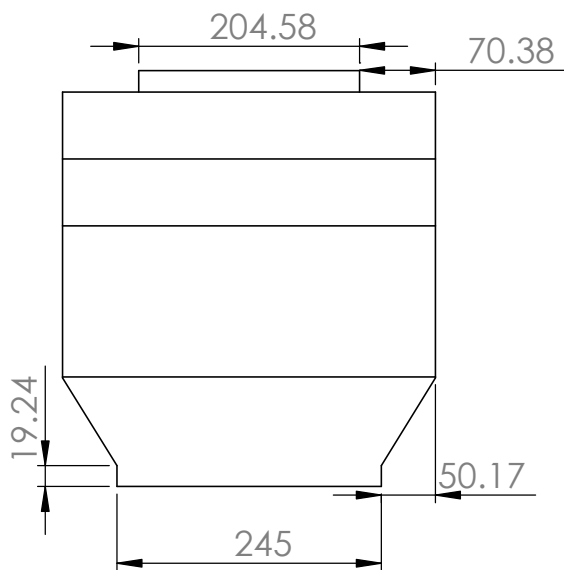
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: Carcasa del sin fin			
DIBUJ.		Ing. Benito Díaz Ruiz									
VERIF.		Dr. Noel Chávez Aguilera									
APROB.		Dr. Noel Chávez Aguilera									
FABR.											
CALID.						MATERIAL: Acero inoxidable		N.º DE DIBUJO Parte 2			
						PESO:		ESCALA: 1:1			
								HOJA 1 DE 1			



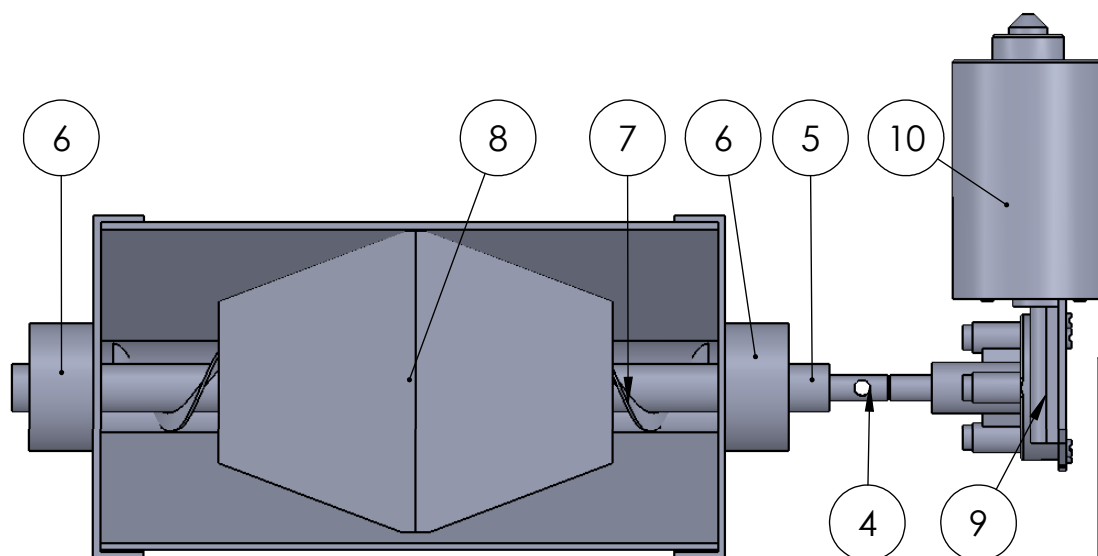
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.	Ing. Benito Díaz Ruiz					Tapa lateral del sin fin			
VERIF.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
APROB.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO			
				Acero inoxidable		Parte 4			
				PESO:		ESCALA: 1:1			
						HOJA 1 DE 1			



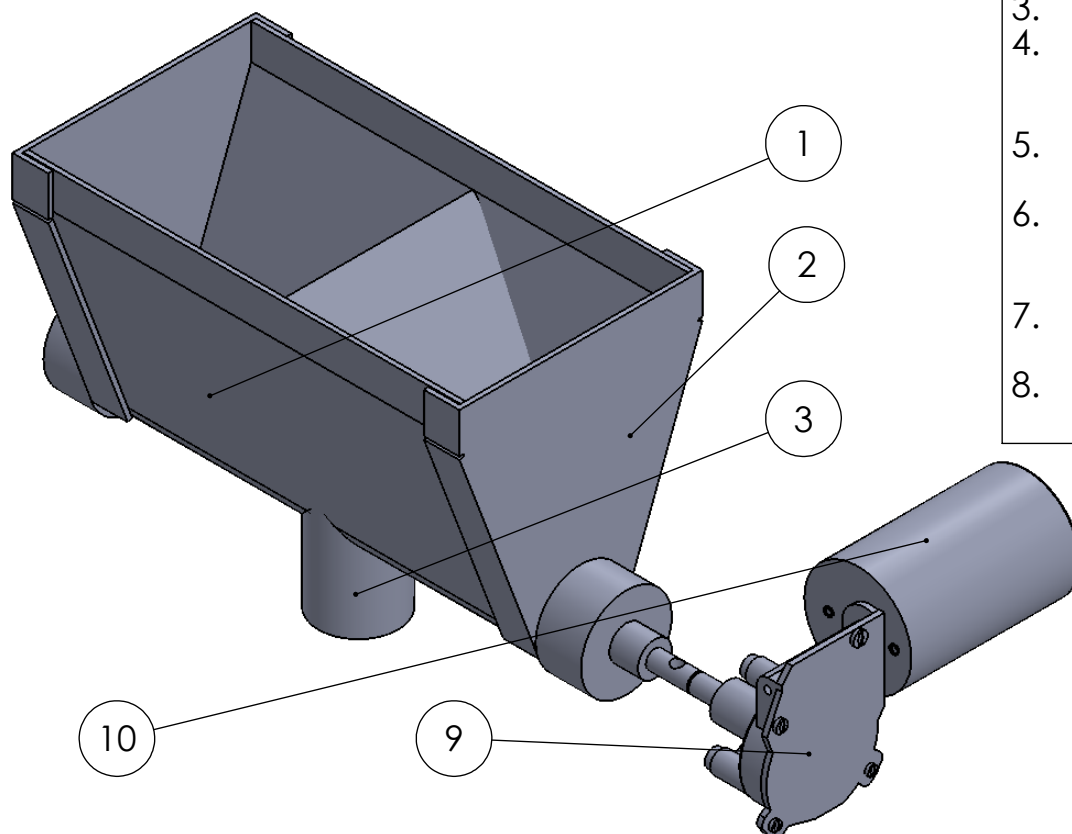
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		Ing. Benito Díaz Ruiz				Tapa superior del sin fin			
VERIF.		Dr. Noel Chávez Aguilera							
APROB.		Dr. Noel Chávez Aguilera							
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
						Acero inoxidable		Parte 3	
						PESO:		ESCALA: 1:1	
								HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO:			
								N.º DE DIBUJO			
								Tolva			
								A4			
								ESCALA:1:1			
								HOJA 1 DE 1			



1. Carcaga del sin fin.
2. Tapa de la carcaga del sin fin.
3. Descarga.
4. Barreno para conexi3n al motor.
5. Flecha de sin fin.
6. Rodamiento de carga para el sin fin.
7. Elicoide del sin fin.
8. Reten de fertilizantes.



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISI3N

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	Ing. Benito D3az Ruiz			
VERIF.	Dr. Noel Ch3vez Aguilera			
APROB.	Dr. Noel Ch3vez Aguilera			
FABR.				
CAUD.				
				MATERIAL:
				Diverso: Acero inoxidable flecha 1018 de 3/4, rondanas de 3/4
				PESO:

T3TULO:

Ensamblaje completo del dosificador

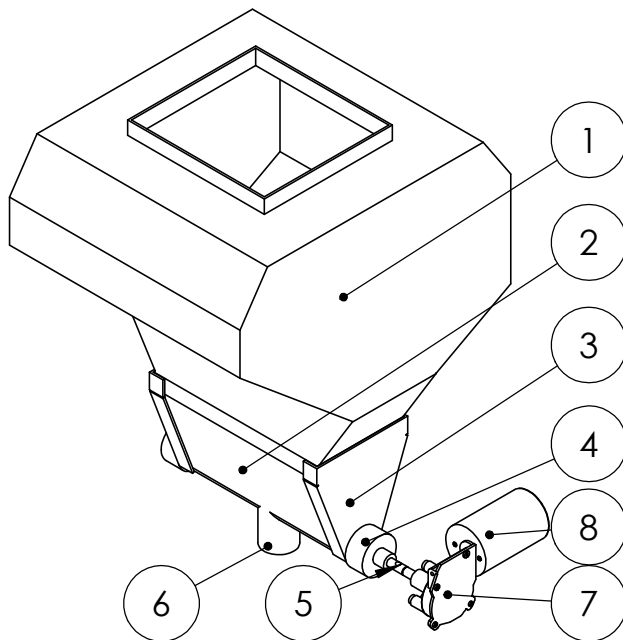
N.º DE DIBUJO

Ensamblaje

A4

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



1. Tolva de Fertilizantes.
2. Carcasa del sin fin.
3. Tapa de la Carcasa.
4. Rodamiento del sin fin.
5. Bareno de acople al motor.
6. Descarga de fertilizante.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.	Ing. Benito Díaz Ruiz					Ensamblaje General del dosificador de fertilizantes			
VERIF.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
APROB.	Dr. Noel Chávez Aguilera								
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
						Diversos:Acero inoxidable. 18, flecha 3/4, rondanas,		Ensamblaje	
						PESO:		ESCALA:1:1	
								HOJA 1 DE 1	

