UNIVERSIDAD Đ CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

Título

Estudio para el diseño de un rodillo aireador simple para el mejoramiento del suelo en zonas agrícolas.

TESIS PRESENTADA A TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Autor

Isnardo del Sol Ocampo

Tutor

Dr. C. Luis Jacinto López de la Teja

Ing. Luis Daniel Valle Díaz

Cienfuegos

Año 61 de la Revolución

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

Sistema de Documentación y Proyecto

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

_____

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

_____

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

_____ _____

Vice Decano. Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos. Firma. Nombre y Apellidos. Firma.

_____

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

UNIVERSIDAD
Đ CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

“.. La libertad de la invención y el placer de crear por sí estimulan el ingenio propio y la fuerza del carácter.”

José Martí

UNIVERSIDAD
Đ CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

Dedicatoria

Hay personas que solo con existir hacen de nuestras vidas un sendero feliz. Dedico este trabajo en especial a mi hijo que es mi mayor inspiración y a mi madre por la educación que recibí de ella, por su amor incondicional y por todo su esfuerzo en mi vida como estudiante.

UNIVERSIDAD Đ CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

Agradecimiento

Agradecer es el placer de reconocer en los demás lo que constituye una ayuda incondicional para el que la sabe valorar en todo momento.

A la Universidad "Carlos Rafael Rodríguez "y al claustro de profesores por formarme como profesional.
Al Dr. C. Luis Jacinto López de la Teja y al Ingeniero Luis Daniel Valle Díaz por su esfuerzo y por poner a mi disposición sus conocimientos.
A todos mis amigos de la Universidad como Reinaldo Valladares, Enrique Salazar, Yoany Pedraja, Gabriel Hernández y Ronaldo Ceballo porque de una forma u otra me apoyaron y supieron darme el aliento en los momentos que más lo necesitaba.
A mi madre por toda su dedicación y esfuerzo para que yo triunfe en cada etapa de la vida.
A mi hermano Alejandro por el respaldo y la confianza.

A mi jefe de curso de los camilitos Yoelvis George González por ser una gran persona de la cual aprendí muchas cosas.
A la profesora Cecilia por su preocupación, apoyo, esfuerzo y carreras que dio en función de mi graduación.
A Leticia Rodríguez, René Arceluz y a Arlety Arceluz porque me ayudaron muchísimo en el transcurso de mi tiempo de estudios universitarios.
A mi novia Sandra Sellés por sus consejos porque siempre se preocupa, por la motivación que me transmite y por su esfuerzo, dedicación y apoyo en función de la realización de este proyecto.

Resumen

En condiciones de baja precipitación, resulta de gran importancia contar con estrategias para el manejo del agua de lluvia, favoreciendo su captación, almacenamiento e infiltración en los pastizales además del constante pisoteo en el pastizal por parte de los animales y el uso de maquinaria agrícola producen que los suelos se compacten, disminuyendo la producción del pasto y generando pérdidas económicas a los productores y problemas de degradación de los suelos. En Cuba, es predominante el aprovechamiento de los recursos naturales; sin embargo, por los cambios en el ecosistema es necesario el uso de técnicas de manejo mecánicas, en los que se encuentra el rodillo aireador, que estimula el crecimiento de vegetación herbácea y gramíneas, deseables para la dieta del ganado además de otras especies de fauna silvestre de importancia cinegética por lo que en este trabajo se procede a realizar el diseño de un aireador cuya construcción sea viable, en función de la tecnología existente en nuestra región, construir el aireador de pastos, diseñado y evaluar el desempeño del aireador de pastos en profundidad de labor, velocidad de trabajo, resistencia del rodillo.

Palabras claves: rodillo aireador, pastizales.

.

Abstract

Under conditions of low precipitation, it is of great importance to have strategies for the handling of the rain water, favoring their reception, storage and infiltration in the pastizalesThe constant trampling on pasture by animals and the use of agricultural machinery produced soils are compacted, reducing the production of grass and causing economic losses to producers and problems of land degradation.. In Cuba, it is predominant the use of the natural resources; however, for the changes in the ecosystem is necessary the use of technical of mechanical handling, in those that he/she is the roller aereador that stimulates the herbaceous and gramineous growth of vegetation, desirable for the diet of the livestock besides other species of wild fauna of cynegetic importance.

Key words: roller aereador, pastizales

UNIVERSIDAD Đ CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

Índice

Introducción 2

Objetivo General: 3

Objetivos Específicos: 3

Capítulo 1 Los suelos y tecnología para su mejoramiento en la agricultura 4

1.1 Características generales del suelo y sus propiedades físicas e hidrofísicas 4

1.2 Mejoramiento del suelo. Técnicas de mejoramiento de suelos 15

1.3 Maquinarias utilizadas para el mejoramiento del suelo en las condiciones actuales y perspectivas 17

1.4 Generalidades sobre los rodillos aireadores 19

1.4.1 Definición 19

1.4.2 Condiciones fundamentales de su empleo 20

1.4.3 Tipos 21

1.4.4 Usos 22

1.4.5 Rendimiento y costos 23

1.4.6 Ejemplo de aplicación 23

1.4.7 Principales ventajas y desventajas 25

Conclusión del capítulo 27

Capítulo 2 Cálculos de diseño del rodillo aireador 28

Introducción al Capítulo 2 28

2.1 Determinacion de la cantidad de dientes en el tambor 29

2.2 Cálculo de la masa total de equipo 30
2.2.1 Cálculo del peso total de la estructura. 31
2.2.2 Calculo de la masa del agua contenida en el tanque 31
2.2.3 Cálculo de la masa total de los dientes 32
2.3 Fuerza de Resistencia a la Rodadura 33
2.4 Velocidad real de avance: 34
2.5 Capacidad de tiro del tractor escogido 36
2.6 Cálculos de Resistencia del equipo 38
2.6.1 Análisis de resistencia del rodillo 38
2.6.2 Determinación de la reacción en el semieje causado por la estructura. 39
2.7 Cálculo de Resistencia a la soldadura del diente 40
2.7.1 Cálculo de la fuerza actuante en el diente causada por la penetracion de este en el suelo 40
2.7.2 Cálculo de la tension al sizallamiento en el cordon de soldadura. 41
2.7.3 Cálculo de la tension a la traccion en el cordon de soldadura 42
2.7.4 Comprobacion de Resistencia en el cordon de soldadura 43
2.8 Determinacion del diametro total de los tornillos de union entre el semieje y el tambor. 43
2.8.1 Determinacion del diametro de los tornillos de union entre el semieje y el tambor 44
Capítulo 3: Análisis preliminar del costo del rodillo aireador 44

3.1 Análisis económico 44
3.2 Costo de materiales 45
3.2.1 Costos de materiales auxiliares 46
3.3 Gasto en salario 47
3.4 Costo por el consumo de energía eléctrica 48
3.6 Total de gastos directos 49
3.7 Total de gastos indirectos 49
3.8 Costo total de fabricación del rodillo aireador 50
Conclusiones del capítulo 50
Conclusiones generales 50
Recomendaciones 51
Bibliografía 52
Anexo 55

Introducción

El hombre a través de la historia ha utilizado y modificado los diferentes ecosistemas en los que se ha desarrollado para asegurar su supervivencia, logrando en muchos casos el deterioro y pérdida de funcionalidad de los mismos. Algunos de estos ecosistemas jamás se recuperarán debido a la pérdida del componente más importante, el suelo.

La búsqueda de la felicidad es un común denominador en los seres humanos. Guiados por este deseo y la situación problémica existente del deterioro de las condiciones del suelo y la pérdida de cobertura vegetal de los pastizales; se presta atención a la manipulación física de la superficie del suelo y a la aplicación de tecnología de manejo de pastizales, por lo que se decide en este trabajo proponer una solución al problema que consiste en diseñar un rodillo aireador sencillo para el mejoramiento de las condiciones del suelo y alcanzar grados extraordinarios en la cobertura vegetal de los pastizales.

En la figura1 se muestra una zona agrícola, donde se puede apreciar la reducción de especies vegetales a consecuencia de los cambios climáticos.

Figura 1 Vista de la reducción de especies vegetales

El **Objeto de Estudio** del presente trabajo es por lo tanto diseñar un rodillo aireador sencillo para el mejoramiento de las condiciones del suelo y alcanzar grados extraordinarios en la cobertura vegetal de los pastizales.

La Hipótesis formulada es la siguiente:

“Es posible con la aplicación de un rodillo aireador sencillo el mejoramiento de las condiciones del suelo, que asegure la cobertura vegetal de pastizales.

Objetivo General:

Diseñar un rodillo aireador sencillo capaz del mejoramiento de las condiciones del suelo en zonas agrícolas de Cuba.

Objetivos Específicos:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica referente a la teoría general del suelo, técnicas y maquinarias para el mejoramiento del suelo.
2. Diseñar un rodillo aireador sencillo para el mejoramiento del suelo en zonas agrícolas de Cuba, particular en la empresa AgroFAR de la provincia de Cienfuegos.
3. Determinar el costo preliminar del rodillo aireador sencillo.

Capítulo 1. Los suelos y tecnología para su mejoramiento en la agricultura

1.1 Características generales del suelo y sus propiedades físicas e hidrofísicas

El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos.

El suelo es un sistema abierto, dinámico y constituido por tres fases. La fase sólida está formada por compuestos inorgánicos (fracción mineral) y orgánicos (materia orgánica) que dejan un espacio de huecos donde se encuentran las fases líquida y gaseosa.

La fase sólida representa lo que podría denominarse el esqueleto mineral del suelo y entre estos, componentes sólidos, del suelo se destacan: Cabrera (2014)[1]

- Silicatos, tanto residuales o no completamente meteorizados, (micas, feldespatos, y fundamentalmente cuarzo).
- Como productos no plenamente formados, singularmente los minerales de arcilla, (caolinita, illita, etc.).
- Óxidos e hidróxidos de Fe (hematites, limonita, goetita) y de Al (gibsita, bohemita), liberados por el mismo procedimiento que las arcillas.

[1] Cabrera Dávila, G. de la C. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba. Proyecto: "Impacto de la intensidad de uso de la tierra sobre la macrofauna del suelo en el Occidente de Cuba. La macrofauna como bioindicador de la fertilidad del suelo".*

- Clastos y granos poliminerales como materiales residuales de la alteración mecánica y química incompleta de la roca originaria.
- Otros diversos compuestos minerales cuya presencia o ausencia y abundancia condicionan el tipo de suelo y su evolución.
- Carbonatos (calcita, dolomita).
- Sulfatos (aljez).
- Cloruros y nitratos.
- Sólidos de naturaleza orgánica o complejos órgano-minerales, la materia orgánica muerta existente sobre la superficie, el humus o mantillo.
- Humus joven o bruto formado por restos distinguibles de hojas, ramas y restos de animales.
- Humus elaborado formado por sustancias orgánicas resultantes de la total descomposición del humus bruto, de un color negro, con mezcla de derivados nitrogenados (amoníaco, nitratos), hidrocarburos, celulosa, etc. Según el tipo de reacción ácido-base que predomine en el suelo, éste puede ser ácido, neutro o alcalino, lo que viene determinado también por la roca madre y condiciona estrechamente las especies vegetales que pueden vivir sobre el mismo.

La fase líquida está formada por una disolución acuosa de las sales y los iones más comunes como Na+, K+, Ca2+, Cl-, NO3-,… así como por una amplia serie de sustancias orgánicas. La importancia de esta fase líquida en el suelo estriba en que éste es el vehículo de las sustancias químicas en el seno del sistema.

El agua en el suelo puede estar relacionada en tres formas diferentes con el esqueleto sólido:

Tipos de líquido en el suelo: Pérez (2007)[2].

- La primera: Está constituida por una película muy delgada, en la que la fuerza dominante que une el agua a la partícula sólida es de carácter molecular, y tan sólida que esta agua solamente puede eliminarse del suelo en hornos de alta temperatura. Esta parte del agua no es aprovechable por el sistema radicular de las plantas.
- La segunda: Es retenida entre las partículas por las fuerzas capilares, las cuales, en función de la textura pueden ser mayores que la fuerza de la gravedad. Esta porción del agua no percola, pero puede ser utilizada por las plantas.
- Finalmente: El agua que excede al agua capilar, que en ocasiones puede llenar todos los espacios intersticiales en las capas superiores del suelo, con el tiempo percola y va a alimentar los acuíferos más profundos. Cuando todos los espacios intersticiales están llenos de agua, el suelo se dice saturado.

La fase gaseosa está constituida fundamentalmente por los gases atmosféricos y tiene gran variabilidad en su composición, por el consumo de O2, y la producción de CO2 dióxido de carbono. El primero siempre menos abundante que en el aire libre y el segundo más, como consecuencia del metabolismo respiratorio de los seres vivos del suelo, incluidas las raíces. Otros gases comunes en suelos con mal drenaje son el metano (CH4) y el óxido nitroso (N2O).

Las interacciones entre las fases sólida y líquida adquieren especial relevancia al existir en la fase sólida partículas con una elevada superficie específica que están cargadas eléctricamente, lo cual contribuye a los procesos de absorción e intercambio iónico. Estos fenómenos son esenciales para la actuación del suelo

[2] Pérez Noriega, R. (2007*). Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos. Agronomía III. Ciencias agrarias.* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Cienfuegos. Cuba.

como depurador natural, para la vida en el mismo (micro, meso y macroorganismos) y, fundamentalmente, para la nutrición de las plantas. Las fases líquidas y gaseosas se hallan en constante cambio, tanto en cantidad como en composición, siendo las lluvias y el riego los que incorporan agua al sistema y la evapotranspiración y la percolación las principales salidas.

La tierra fina es la fracción activa del suelo, tanto desde el punto de vista físico, como fisicoquímico y biológico. Las arenas y el limo forman el llamado esqueleto del suelo. Las partículas de este esqueleto se unen entre sí por los coloides, constituidos por arcillas y materia orgánica.

Los componentes orgánicos del suelo constituyen una proporción muy pequeña en relación con los componentes inorgánicos, aunque ejercen una notable influencia sobre las propiedades, tanto físicas como químicas del suelo y sobre las alteraciones debido a las labranzas.

Tradicionalmente, en los suelos agrícolas no se presta la atención suficiente al papel que cumple la materia orgánica, al suponer que los fertilizantes pueden desempeñar su rol, lo cual solo es cierto en cuanto al suministro de nutrientes.

En suelos degradados o con muy bajos contenidos de materia orgánica, los sistemas de manejo deben dirigirse a incrementar los contenidos en materia orgánica. Los sistemas conservacionistas de labranza del suelo tienden a incrementar los contenidos de materia orgánica del suelo.

Los suelos y las tierras son un componente de los sistemas naturales, que ofrecen soporte y sustento a las plantas. Son el resultado de factores físicos, naturales y ambientales, los cuales regulan los procesos geodinámicos, biogeoquímicos y ecológicos responsables de la estabilidad y oferta biológica, ligados en conjunto a la sostenibilidad. Cumplen funciones hidrodinámicas y ecológicas de gran significado en la captación y regulación de las aguas de lluvia y de escorrentía en los sistemas cordilleranos, así como en la conservación de la biodiversidad.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

Textura

Se llama textura a la composición mineral de una muestra de suelo, definida por las proporciones relativas de sus separados individuales en base a masa (arena, limo, arcilla). Es precisamente esta proporción de cada elemento del suelo lo que se llama la textura, o dicho de otra manera, la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

Clases Texturales

- Arenosa. El suelo permanece suelto y los separados se advierten individualmente y sólo puede ser amontonado en la forma de una pirámide.
- Franco arenosa. El suelo es algo cohesivo y solo puede ser moldeado en la forma de una esfera.
- Franco limosa. El suelo puede ser enrollado formando un cilindro grueso y corto.

Estructura

Se llama estructura del suelo a la forma en que se agrupan las partículas de suelo (arena, limo y arcilla) en agregados. La estructura del suelo se define por forma, tamaño y grado de manifestación de los agregados.

Formas de Estructura:

- Granular. Son esferas porosas, imperfectas, de tamaño pequeño de caras redondeadas y de superficies irregulares. Son suelos bien aireados, que no ofrecen problemas al paso de maquinaria.
- Bloques. Los ejes horizontales y verticales son de dimensiones similares de tal manera que los agregados son equidimensionales. El agua penetra sin problemas. No presenta problemas desde el punto de vista agrícola.
- Prismática. Los agregados tienen el eje vertical de mayor tamaño que el eje horizontal. Estructura común de zonas áridas y semiáridas, de suelos maduros. Existe un elevado nivel de arcilla. No es la mejor estructura desde el punto de vista agrícola.
- Columnar. Los agregados tienen el eje vertical de mayor tamaño que el eje horizontal y la cara superior redondeada, debido a altas concentraciones de Na, lo que provoca el desmoronamiento de la parte superior del agregado. Estructura nefasta para la agricultura.
- Laminar. Los agregados son unidades de diferente espesor, con el eje horizontal más desarrollado. Típica de suelos arenosos. Estructura quepresentan problemas de drenaje.

Color

El color de los suelos responde a aspectos como: cantidad y tipo de humus, cantidad y tipo de arcilla, el contenido y formas del hierro, cantidad y tipo de minerales primarios, la humedad, etc. Esto indica que sólo a partir del conocimiento del color predominante en un suelo, se pueden hacer deducciones generales sobre, la composición mineral, el contenido de humus, régimen hídrico y la fertilidad de un suelo.

No obstante, como la palabra lo indica son generalizaciones, es conocido que los suelos Oscuros Plásticos de Cuba en ocasiones exhiben un color negro a pesar de tener bajos contenidos de materia orgánica, en este caso debido a la formación de complejos órgano-minerales, otro caso son los suelos amarillos de montaña, en los que la coloración amarilla se debe a la presencia predominante del aluminio producto de un lavado intenso del hierro.

El color es un carácter del suelo, fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo dentro del cuadro regional o local. Generalmente está en relación con los procesos de pedogénesis o con uno de los factores de formación. Pero, por una parte, el proceso que colorea el suelo no es siempre fundamental, y por otra parte, la misma coloración o matices vecinos, bien pueden resultar de causas diferentes. Es así que ese carácter debe ser utilizado con circunspección y sabiendo que raramente tiene valor como criterio de clasificación al nivel de los grandes tipos de suelos.

Tabla 1. Colores del suelo

Colores	Origen	Característica agroproductiva
Negro y gris	Alto contenido de humus, depósitos montmorilloníticos.	Alta fertilidad química, baja fertilidad física.
Rojo	Predominio de óxidos de hierro (Fe_2O_3, hematita).	Buen drenaje.
Amarillo	Predominio de óxidos de hierro hidratado (goethita) y de aluminio.	Drenaje deficiente, acidez.
Gris, azul y verde	Formas del hierro reducido (FeO).	Drenaje impedido
Blanco	Predominio de cuarzo o caolín y bajos contenidos de humus.	Empobrecimiento, baja fertilidad química.

Manchas

Junto al color de la matriz del suelo comúnmente se reseña el color de las manchas, de estar estas presentes. Las cuales son uno de los rasgos que más información brinda sobre el pasado, presente y futuro de un suelo, principalmente con respecto al drenaje, regímenes de aireación e hídrico.

La descripción de las manchas se puede hacer en función de:

- Cantidad, entendiendo esta como el porcentaje que ocupan las manchas con respecto a la superficie expuesta.
- Tamaño, extensión o diámetro medio de las manchas en mm.
- Contraste, nitidez de la diferenciación con respecto a la matriz del suelo.

- Límite, naturaleza de la transición entre la mancha y la matriz del suelo.

Las manchas son frecuentemente un índice de variaciones de las condiciones de oxidación-reducción en un suelo y tonalidades grises, azules y verdes son señales de deficiencias de oxígeno que permiten el paso de las formas oxidadas de Fe y Mn a formas reducidas, en este proceso tiene una activa participación la microflora edáfica y en este caso se reconocen como síntomas de hidromorfía, en este sentido, la presencia de manchas puede ser utilizada como indicador del drenaje interno de los suelos.

Consistencia

La consistencia se refiere al grado de cohesión y adhesión entre las partículas del suelo y determina su resistencia a la deformación o ruptura. Esta característica se relaciona estrechamente con la estructura y varía en los diferentes tipos de suelos y entre otras características está determinada por la estabilidad y los factores de estructuración:

- Contenido y naturaleza de los minerales: los suelos arcillosos son más cohesionados que los arenosos.
- Contenido de materia orgánica y tipo de humus: altos contenidos de materia orgánica que en suelos arenosos aumentan la plasticidad, mientras que en suelos arcillosos ocurre lo contrario.
- Cantidad y tipo de iones presentes en el suelo: el calcio y el hierro tienen propiedades aglutinantes, mientras que el sodio es dispersante, la dispersión de los coloides puede dar lugar a horizontes lluviales muy compactos e incluso cementados.
- Grado de humedad: a medida que un suelo se satura con agua cambian sus propiedades mecánicas, es por eso que la consistencia se diagnostica en función de la humedad del suelo (seco, húmedo y mojado). Un suelo en estado seco se describe en función de su dureza (resistencia a la ruptura), un suelo en

estado húmedo en función de su firmeza y un suelo mojado se describe por grados de adhesividad y plasticidad.

- Tipo y actividad de la fauna edáfica: importante acción de las lombrices y vertebrados como los roedores.

Compactación

La compactación puede ser un proceso natural o inducido. En algunos suelos ocurre de manera natural con la colmatación o relleno de los espacios porosos por elementos finos (arcilla, sesquióxidos y humus).Esta propiedad provoca baja capacidad de infiltración. Se utilizan los siguientes grados: no cementado, débilmente cementado, cementado y endurecido.

Propiedades Hidrofísicas.

Porosidad

La porosidad del suelo es la decisiva en la movilidad y/o almacenamiento del agua en el suelo. Del volumen total, es el espacio ocupado por agua y aire. Ella está tremendamente influenciada por propiedades físicas analizadas con anterioridad.

El agua se almacena en los micros poros del suelo también conocidos como poros de agua. Estos micros poros son capilares que permiten que el agua se mueva en todas direcciones, cargadas de los alimentos para las plantas.

No toda el agua de los micros poros puede ser tomada por las plantas ya que parte de ella puede estar retenida a más de 10 mil atmósferas.

Los macro poros están, fundamentalmente, llenos de aire y por eso se conocen como poros de aire. Estos poros son los responsables del drenaje del agua que superflua o sobrante de las lluvias intensas o el riego.

La máxima cantidad de agua que puede retenerse en el suelo, teniendo un drenaje libre se conoce como Capacidad de Campo.

El peso volumétrico

Es también conocido como densidad aparente y no es más que la relación entre el peso o masa de una porción de suelo con su estructura natural y el volumen que ocupa dicha porción, o sea, comprende el espacio poroso total del volumen que se pesa.

Un suelo con buenas condiciones de laboreo debe tener una densidad menor a 1,50 g/cm^3, de lo contrario es señal de compactación.

El peso específico o densidad real

Es la relación que existe entre el peso de los sólidos del suelo y su volumen, o sea, no comprende el espacio poroso, por lo que su valor es siempre superior a la densidad. Este valor, a diferencia de la densidad es bastante constante y está alrededor de los 2,75 g/cm^3. Se utiliza fundamentalmente para los estudios de la porosidad del suelo.

Potencial hídrico del suelo

Cantidad de trabajo que es necesario aplicar para transportar reversible o isotérmicamente la unidad de cantidad de agua desde una situación estándar de referencia hasta el punto de suelo considerado.

Permeabilidad

La permeabilidad del suelo tiene una importante incidencia en los estudios hidráulicos para estudios de erosión y para mineralogía, entre otras aplicaciones. La permeabilidad del suelo suele aumentar por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales.

Infiltración

Se denomina capacidad de infiltración a la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto.

Si una gran parte de los poros del suelo ya se encuentran saturados, la capacidad de infiltración será menor que si la humedad del suelo es relativamente baja.

Una precipitación intensa podrá provocar la colmatación de los poros superficiales, con partículas finas del suelo, reduciendo la infiltración.

La interpretación de las características de los suelos y de sus propiedades físicas e hidrofísicas resulta de primordial importancia para su mejoramiento y la utilización de técnicas para enmendar las limitantes productivas que presentan.

1.2 Mejoramiento del suelo. Técnicas de mejoramiento de suelos

De manera análoga a las personas, los suelos pueden presentar debilidades estructurales e incluso enfermedades. Al igual que hace el médico, que selecciona medicaciones para el tratamiento del enfermo, el ingeniero geotécnico al tratar un suelo debe prescribir un tratamiento apropiado para la debilidad o enfermedad en cuestión. Solamente después de una evaluación de los diversos factores puede realizarse con buena probabilidad de éxito la selección del mejor método, con el propósito de determinar el nivel de mejora requerido en términos de resistencia, rigidez, compresibilidad, permeabilidad y estabilidad.

Basándose en el mecanismo para mejorar las propiedades de un suelo, las técnicas de mejoramiento de suelos se pueden dividir grosso modo en cuatro categorías o técnicas: ***densificación, refuerzo, inyección y drenaje***. Estas técnicas pueden ser combinadas para resolver uno o varios problemas simultáneamente.

I. Densificación

Remover un espesor y volumen pequeño de suelo para luego colocar gravao arena. Esta técnica puede ser por:

- **Compactación dinámica o de impacto:** Densificación del terreno por medio de golpes repetitivos dado por una masa en caída libre desde una altura que varía de 10 a 40m de 6 a 40 toneladas de tres hasta ocho veces. La profundidad a densificar es función de la energía o la magnitud de impacto. Finalmente, se compacta el estrato superficial dejando caer el peso desde una altura más baja.
- **Explosiones:** Método de densificación muy económico, su uso se ve limitado porque produce fuertes vibraciones que pueden dañar estructuras aledañas o producir grandes movimientos del terreno. Se requiere el uso de explosivos potencialmente peligrosos, cuyo uso y almacenamiento requiere de la aplicación de estrictas normas y regulaciones. Su eficacia es difícil de predecir.
- **Vibrocompactación de columnas de grava:** Consiste en el llenado de una perforación (columna) con grava bajo vibración en seco. Lo mismo se puede hacer, pero bajo agua y con la grava también bajo el agua sobre lacolumna.

II Técnicas de refuerzo del suelo: El uso de geosintéticos o cualquier elemento introducido en el suelo para mejorar la resistencia da nombre a lo que se conoce como suelo reforzado.

III Técnicas de inyecciones: Esta técnica mejora las características mecánicas y el comportamiento hidráulico del suelo (impermeabiliza). Consiste en la inyección de un material consolidante, a muy alta velocidad (chorro) a través de una o más boquillas de diámetro muy pequeño, lo cual permite obtener un tratamiento

homogéneo y continuo del suelo, destruyendo su estructura original y creando un verdadero elemento estructural con características determinadas en función del suelo de origen. El método es utilizable para tratar una
amplia gama de suelos desde gravas hasta arcillas.

IV Técnica de drenaje: Técnica que baja o deprime el nivel freático para la consolidación del suelo y por ende al aumento de su resistencia al corte y rigidez. Contar con esta técnica ayuda a disipar el nivel freático por eventos de lluvia o eventos sísmicos fuertes.

Las técnicas de mejoramiento de suelo requieren de una correcta evaluación para su aplicación eficaz. Se debe evitar realizar un empeoramiento del suelo(situación que a veces ocurre).

1.3 Maquinarias utilizadas para el mejoramiento del suelo en las condiciones actuales y perspectivas

Se conoce como máquinas para el mejoramiento del suelo a una gran cantidad de aperos encargados de realizar una serie de operaciones y tratamientos al terreno, encaminados a conseguir condiciones ideales para la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas. Con el laboreo del terreno se pretenden varios objetivos tales como el esponjamiento del terreno, con el fin de que queden “huecos” donde se pueda almacenar el aire y la humedad. En otros casos se persigue el volteo de la tierra, con el fin de enterrar los restos de cosecha, malas hierbas, parásitos, abonos, etc. En ocasiones con el laboreo se pretende la mezcla de diferentes capas de terreno para conseguir una uniformidad en la distribución de los elementos y de la humedad. Además con determinados aperos, se consigue la formación de caballones para la implantación de cultivos en líneas, o bien, con la finalidad de reducir la erosión en terrenos con pendiente. Entre los aperos de laboreo más frecuentemente utilizados se destacan los siguientes:

subsoladores, arado de vertedera, arado de discos, cultivador, arado chisel, grada de discos, grada de púas, fresadora, rastrillos, rodillo, etc.

Mucho han cambiado las técnicas de labranza del suelo en los últimos años, en gran parte como consecuencia de la aparición de productos herbicidas eficaces, pero no hay que olvidar que el laboreo del suelo ha sido, por siglos, la base de la agricultura.

El equilibrio producción-ambiente, con la presencia de erosión generada por el empleo inapropiado de determinados sistemas de labranza, marca un nuevo camino para diseñar y escoger los aperos más apropiados para cada circunstancia.

Si tenemos en cuenta que más del 50% de los costes de producción de la agricultura extensiva corresponden a las operaciones de preparación y manejo del suelo, queda clara la importancia que tiene contar con aperos que ayuden a su simplificación. Esta simplificación puede hacerse, bien mediante la integración de operaciones, bien recurriendo a aperos sencillos, de gran anchura de trabajo, que permitan aumentar la productividad.

El manejo del recurso suelo es la práctica de su uso por parte de la población humana, el cual de hecho debería ser sostenible y constituye un imperativo debido a las afectaciones que ocasiona el cambio climático y su inmediata consecuencia: la desertificación. En el mundo este proceso afecta al 70% de las tierras secas (3 600 millones de hectáreas)

En Cuba, actualmente existe una superficie agrícola que representa el 62,7 % del total de tierras firmes del archipiélago, y de ellas están cultivadas el 55,4 %. En el Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos se tiene en cuenta la afectación de las tierras por procesos de carácter natural o antrópico acumulados en el transcurso de los años, con una marcada preponderancia de este último. Ello condujo a que: los procesos erosivos afecten más de 2,5 millones de ha, la salinidad y la sodicidad alrededor de un millón de ha, la compactación 2,5

ha y los problemas de drenaje 2,7 millones de ha; además el alto grado de acidez alcanza 2,3 millones de ha y el 60% de la superficie agrícola del país se encuentra afectada por estos y otros factores que pueden inducir a procesos de desertificación, la cual ha alcanzado el 14% del territorio nacional.

Los aperos, dotados de elementos descompactadores de acción con cuchillas, se presentan como una alternativa para la preparación rápida de los suelos, sin olvidar las posibilidades de la siembra directa. Este tipo de apero mejora la productividad del trabajo, reduciendo los tiempos de maniobra y la calidad de la labor, mantiene unos costos y una fiabilidad entables, de ahí la necesidad de la acción de aireación en Cuba con el uso de rodillos aireadores sencillos.

1.4 Generalidades sobre los rodillos aireadores

1.4.1 Definición

El rodillo aireador de suelos es un cilindro metálico pesado con dientes o cuchillas soldadas helicoidalmente a lo largo del mismo para lograr una mayor penetración en el suelo y una mayor eficiencia en el rodado, ya que este diseño permite que todo el peso del cilindro se concentre solamente en una o dos cuchillas a la vez.

El implemento se engancha en la parte posterior de un buldózer o tractor y es rodado sobre la superficie del terreno que se desea rehabilitar; este puede ser utilizado sin carga pero es preferible llenarlo con agua y/o acondicionarlo usando piedras o sacos de arena para brindar mayor peso y lograr mayor penetración de las cuchillas en el suelo. Los rodillos cuentan generalmente con una sembradora la cual está adaptada en la parte posterior del cilindro, que puede ser utilizada en la siembra de especies en el caso de requerirse. Este implemento puede descompactar, preparar cama de siembra mediante el trazo de pozas para captar

humedad y sembrar simultáneamente en un solo paso de maquinaria (figura 2). Medina y otros (2012)[3].

Figura2. Rodillo aireador doble utilizado en mejoramiento de suelos y sembradora

1.4.2 Condiciones fundamentales de su empleo

El rodillo es un implemento ideal para el mejoramiento de suelos que presentan áreas desnudas, donde el agua de lluvia se pierde por escurrimiento debido a la escasa cubierta vegetal y a la compactación del suelo.

Su mejor área de acción es en terrenos preferentemente planos con pocos arroyos, en todo tipo de suelos excepto en los de texturas arcillosas o pesados y los demasiado pedregosos o rocosos.

Aunque se adapta a casi todo tipo de condiciones, es ideal para usarse en áreas con más del 40% de suelo desnudo que presentan menos del 50% del suelo cubierto por especies importantes de árboles.

[3] Medina Guillé R., y otros. (2012). *Efectos del rodillo aireador y el fuego en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo en matorrales de Coahuila.* (Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Forestales). Universidad autónoma de Nuevo León, México.

El rodillo trabaja bien cuando se aplica durante los meses secos previos al inicio de las lluvias, pero la calidad de las pozas es mejor cuando se trabaja en suelos húmedos que han recibido recientemente por lo menos una pulgada de lluvia.

1.4.3 Tipos

Existen diversos tipos de rodillos diseñado con diferentes fines para utilizarse bajo condiciones muy variadas de suelo y vegetación, aunque para la rehabilitación de pastizales o agostaderos, generalmente, los rodillos grandes y pesados son los que han dado mejor resultado. Ramírez, Flores y Jiménez (2013)[4].

Los rodillos varían en cuanto a su diseño, dimensión y peso. Generalmente cada rodillo es de 3.0 metros de longitud, 75 a 120 cm de diámetro y consta de 80 a 120 cuchillas, pesa de 3 a 6 toneladas llenos de agua y requiere entre 50 y 100 caballos de fuerza para ser halado. Existen rodillos con múltiples cuchillas chicas, las cuales están distribuidas en forma helicoidal a lo largo del cilindro su principal función es la de descompactar el suelo y hacer pequeñas fosas para retener agua. Otros rodillos tienen una serie de cuchillas largas y paralelas que corren longitudinalmente de lado a lado del cilindro y su principal función es la de cortar o triturar el follaje de las plantas y los residuos vegetales en la superficie del suelo. Ramírez, Flores y Jiménez (2013)[5].

---

[4] Ramírez, G., Flores, H. G., Jiménez R. O. (2013). *Beneficios del uso del rodillo aireador en la retención de humedad del suelo y aumento en la productividad del pastizal.* Desplegable para productores INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México

[5] Ramírez, G., Flores, H. G., Jiménez R. O. (2013). *Beneficios del uso del rodillo aireador en la retención de humedad del suelo y aumento en la productividad del pastizal.* Desplegable para productores INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México

1.4.4 Usos

El rodillo aireador se utiliza para rehabilitar pastizales o agostaderos y praderas deterioradas mediante la descompactación de suelo y la captación de agua que se crea en las pequeñas pozas que resultan después de rodar el cilindro sobre la superficie del suelo.

El implemento abre el suelo sellado y rompe capas impermeables 30 cm debajo de la superficie del suelo y es capaz de crear pozas de aproximadamente 20 cm. de diámetro y de 15 a25 cm de profundidad.

La descompactación permite la aireación del suelo e incrementa la infiltración de agua con lo que se reduce la pérdida por escurrimiento. Esto es muy importante en zonas áridas considerando que además de que la lluvia es escasa e incierta, se pierde entre un 40 a 60% de la misma por escurrimiento.

El rodillo promueve el rejuvenecimiento de pastizales o agostaderos y praderas viejas y deterioradas mediante el mayor crecimiento de plantas viejas que aparentemente se aprecian muertas y del establecimiento de plantas nuevas como resultado de la descompactación y de una mayor disponibilidad de agua en el suelo

Además, los rodillos se pueden usar en forma individual (un solo rodillo que corte o que descompacte) o combinados (dos o más rodillos en serie para cortar y/o descompactar simultáneamente en un solo paso). Los rodillos dobles combinados con un cilindro de cuchillas al frente y un cilindro con picos en la parte posterior pueden tener la ventaja sobre los rodillos con un solo cilindro de picos de que controlan temporalmente vegetación arbustiva indeseable y a la vez descompactan. Tal es el caso de agostaderos y praderas deterioradas y compactadas que presentan altas poblaciones de plantas invasoras con poco o nulo valor nutritivo para el ganado.

El tipo de rodillo a utilizar en una determinada área, estará dado en función de las características del suelo, la vegetación y de los objetivos específicos de cada productor.

En el uso del rodillo aireador la forma más común para evaluar el grado de recuperación de un pastizal o agostadero es mediante la medición de la cobertura y producción de materia seca. La cobertura vegetal es la cantidad de suelo cubierto por la proyección vertical de las plantas de pasto. Ramírez, Flores y Jiménez (2013)[6].

1.4.5. Rendimiento y costos

El rendimiento del rodillo es variable y está en función de la topografía del terreno, el tipo de vegetación, la maquinaria disponible para el tipo de trabajo que requiere cada caso específico. Los resultados actuales indican que el rendimiento de un paso del doble rodillo halado por un buldózer D-5 varían de 1 hora con veinte minutos a 1 hora con cuarenta minutos por hectárea; por lo que el rendimiento por máquina fluctúa aproximadamente de 5 a6 hectáreas por turno de 8 horas.

El costo estimado de la operación del paso del doble rodillo, para cortar rama y descompactar simultáneamente incluyendo el establecimiento de otras especies (no la semilla) es de 625 a 785 pesos por hectárea.

1.4.6 Ejemplo de aplicación

En la región central de Sonora, México se utilizó el rodillo aireador para rehabilitar praderas viejas y deterioradas de zacate buffel en suelos compactados de textura

[6] Ramírez, G., Flores, H. G., Jiménez R. O. (2013). *Beneficios del uso del rodillo aireador en la retención de humedad del suelo y aumento en la productividad del pastizal.* Desplegable para productores INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México

franco arenosa en zonas con 320 mm de precipitación anual con los siguientes resultados: Medina y otros (2012)[7].

- Se evaluaron cambios en el suelo y vegetación durante 5 años en áreas tratadas y no tratadas con un solo paso de rodillo, utilizando un rodillo aireador de 3 metros de longitud, 1 m de diámetro y 5 toneladas de peso.
- La cantidad de agua retenida en el suelo de las praderas descompactadas con rodillo fue superior durante todos los años en comparación con la de los suelos de praderas adyacentes no trabajadas.
- Durante el año de aplicación del rodillo, la cantidad de agua en el suelo fue 49% superior en comparación con las áreas no trabajadas y aunque esta diferencia tiende a reducirse con el tiempo, los suelos de las praderas descompactadas con el rodillo continúan mostrando 27% más agua en comparación con los suelos de las praderas no trabajadas.
- La producción de forraje del zacate (base materia seca) también fue superior durante todos los años en las praderas rehabilitadas con el rodillo en comparación con las praderas no trabajadas.
- Las praderas rehabilitadas con rodillo produjeron anualmente un promedio de 1,87 toneladas de forraje adicional por hectárea en comparación con las praderas no trabajadas.

[7] Medina Guillé R., y otros. (2012). *Efectos del rodillo aireador y el fuego en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo en matorrales de Coahuila.* (Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Forestales). Universidad autónoma de Nuevo León, México.

1.4.7. Principales ventajas y desventajas

Ventajas

• El rodillo es un método rápido para descompactar, airear el suelo, controlar temporalmente la invasión de especies indeseables en el pastizal o agostadero, crear pequeñas microcuencas en el suelo donde se retiene agua, favorecer la infiltración de la misma en el perfil del suelo, retener sedimentos, reducir la velocidad de escurrimiento y en consecuencia reducir la erosión hídrica, y crear condiciones adecuadas para la regeneración natural de la vegetación y/o preparar el suelo para el establecimiento de especies inducidas.

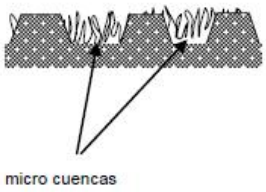


Figura 3 Paso del rodillo aireador microcuencas en el suelo donde se retiene agua.

• Esta práctica no voltea ni pulveriza el suelo por lo que se reducen los riesgos de erosión e incorpora el material vegetativo de las plantas sobre la superficie del mismo, por lo que se protege el suelo con mantillo, el cual a través del tiempo, se convierte en alimento plantas en desarrollo.

En la figura 4 se muestra vistas antes y después del uso del rodillo aireador

Figura 4 Antes y después del uso de rodillo aireador

- El mantillo depositado superficialmente protege al suelo de los rayos del sol, reduce la oscilación de la temperatura del suelo, protege contra la acción desecante del viento y especialmente del efecto de arrastre de partículas de suelo por este factor, del impacto de las gotas de la lluvia y reduce la pérdida de agua por evaporación y escurrimiento.
- El rodillo no voltea la capa superficial del suelo, que es la más fértil porque es donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de materia orgánica y nutrimentos, por lo que no se estimula la pérdida de fertilidad del suelo. El implemento permite dar vueltas rápidas en el terreno con relativa facilidad, lo que permite que se pueda seleccionar la vegetación y proteger especies deseables de árboles y manchones importantes de plantas en el terreno

Una vez aplicado el rodillo aireador es posible la distribución de semillas de cultivos o favorecer condiciones adecuadas para la regeneración natural.

Figura 5 Siembra de semillas de un cultivo y regeneración natural.

Principales desventajas

• No es efectivo en suelos pesados o arcillosos debido a que los dientes o cuchillas no rompen la superficie del suelo, por lo que el suelo no se descompacta y no se forman buenas pozas para retener el agua.

• La eficiencia del rodillo se reduce en terrenos muy quebrados y con pendiente muy pronunciada y en suelos con mucha piedra y roca ya que estas características limitan la penetración de cuchillas y reduce la vida útil de las mismas.

• Las áreas tratadas requieren de por lo menos un año completo de protección del pastoreo, para ayudar a las plantas nuevas a que desarrollen buena raíz y aseguren su establecimiento.

Conclusión del capítulo

Para realizar el mejoramiento del suelo existen básicamente dos vías: una vía es la manipulación de las propiedades físicas del suelo con diversas técnicas y la segunda es a través de maquinarias en las condiciones actuales y perspectivas. El uso de rodillos aireadores es una alternativa que se puede adaptar a cualquier tipo de cultivo, capaz de mejorar el suelo y aumentar la infiltración.

Capítulo 2 Cálculos para el diseño del rodillo aireador

Introducción al Capítulo 2

El diseño de cualquier máquina requiere del análisis de diferentes factores que obligatoriamente deben ser tomado en consideración para asegurar, por un lado las exigencias de la producción y por otros la fiabilidad, economía en la explotación y costos de inversión. Los factores que satisfacen las exigencias de la producción están vinculados a la calidad de la resistencia mecánica y a la capacidad de producción por unidad de tiempo, por lo que resulta indispensable un estudio para su caracterización.

Desde hace la comunidad primitiva, se viene trabajando en el diseño y construcción de máquinas para el laboreo agrícola. En todas ellas se centró el análisis en factores como diseño, funcionabilidad, etc. en esta investigación se diseña un rodillo aireador sencillo para el mejoramiento de las condiciones del suelo y alcanzar grados extraordinarios en la cobertura vegetal de los pastizales.

La compactación que se produce en los suelos agrícolas es el resultado inevitable del aumento de su densidad por disminución del espacio poroso y se origina principalmente en los procesos de humedecimiento-desecación y en el tráfico vehicular o animal.

2.1 Determinación de la cantidad de dientes en el tambor

Ancho del tambor= 1.7m

Diámetro = 1.54m

Según la bibliografía la separación entre los dientes esta entre los diez y quince centímetros para evitar incrustaciones de porciones del suelo entre estos. Se escogió para este trabajo una distancia entre los dientes de quince centímetros.

Para poder calcular la cantidad de filas existentes en el tambor, es necesario dividir la longitud de la circunferencia del tambor entre la suma de la longitud de la base del diente más la separación entre las filas.

$$longitud\ tambor = \pi \cdot d_{tambor} = 3.14 \cdot 1.54\ m = 4.84m$$

$$cantidad\ filas = \frac{longitud\ tambor}{(longitud\ base + separacion\ entre\ filas)}$$

$$cantidad\ filas = \frac{484\ cm}{(8\ cm + 15\ cm)}$$

$$cantidad\ filas = 21$$

Para poder calcular la cantidad de dientes existentes en una fila, es necesario dividir la longitud del ancho del tambor entre la suma de la longitud de la base del diente más la separación entre los dientes.

$$ancho\ tambor = 1.7m$$

$$cantidad\ dientes = \frac{ancho\ tambor}{(longitud\ base + separacion\ entre\ dientes)}$$

$$cantidad\ dientes\ por\ fila = \frac{170\ cm}{(3\ cm + 15\ cm)}$$

$$Cantidad\ dientes\ por\ fila = 9$$

La cantidad de dientes totales en el tambor se determina mediante el producto de la cantidad de dientes en una fila por la cantidad de filas existentes en el tambor.

Por lo tanto la cantidad de dientes totales en el tambor es 189 dientes.

2.2 Cálculo de la masa total de equipo

Tenemos que:

$\rho = 7850kg/m^3$del acero seleccionado

$$\emptyset Cilindro\ garnde = 1.54m$$

$$\emptyset Cilindro\ menor = 1.5m$$

$$longitud(l) = 1.7m$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \cdot V_t$$

$$V_t = V_{cil\ grand} - V_{cil\ men}$$

$$V_{cil\ grand=}A_{base} \cdot l = \pi \frac{D^2}{4} = 3.17\ m^3$$

$$V_{cil\ men=}A_{base} \cdot l = \pi \frac{D^2}{4} = 3\ m^3$$

$$V_t = 3.17 - 3 = 0.17 m^3$$

$$m = \frac{7850 kg}{m^3} \cdot 0{,}17 m^3 = 1334.5 kg$$

2.2.1Cálculo del peso total de la estructura.

Para la masa de la estructura se tomó el valor del catálogo de perfil estructural rectangular (PER) ISO 9002 A3956 donde: $m = 6.81\ {}^{kg}/_{m}$

En la estructura se utilizó un total de 10.35 m del perfil mencionado anteriormente.

Por lo tanto:

$$masa\ total = masa\ especifica\ estructura * cant\ metros\ utilizados$$

$$masa\ total = 6.81\ {}^{kg}/_{m} * 10.35\ m$$

$$masa\ total = 70.5\ kg$$

2.2.2 Cálculo de la masa del agua contenida en el tanque

Se tomó el valor de la masa de agua que contiene el tanque se llena por la mitad donde: $m = 1500 kg$

2.2.3 Cálculo de la masa total de los dientes

Se procede a calcular el volumen del diente

$$V = \frac{Ab \cdot h}{3}$$

$$V = \frac{0.08 \cdot 0.03 \cdot 0.17}{3}$$

$$V = 0.000136m^3$$

Luego:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = V \cdot \rho$$

$$m = 0.000136m^3 \cdot 7850kg/m^3$$

$$m = 1.07kg$$

Esta masa de cada diente se multiplica por la cantidad de dientes y obtenemos la masa total de la estructura

$$mt = 1.07 \cdot 189 = 201kg$$

2.3 Fuerza de Resistencia a la Rodadura

En la siguiente tabla se muestran algunos valores característicos de este coeficiente de resistencia a la rodadura:

Tabla 2. Valores para el coeficiente de rodadura (μ_r)

Naturaleza y tipo de suelo	Coeficiente de rodadura (μ_r)
Arena y suelo muy suelto	0,15 a 0,30
Tierra labrada	0,10 a 0,20
Rastrojo seco	0,08 a 0,10
Suelo baldío	0,06 a 0,10
Camino de tierra	0,04 a 0,06
Camino de tierra afirmado	0,03 a 0,05

Resistencia a la rodadura

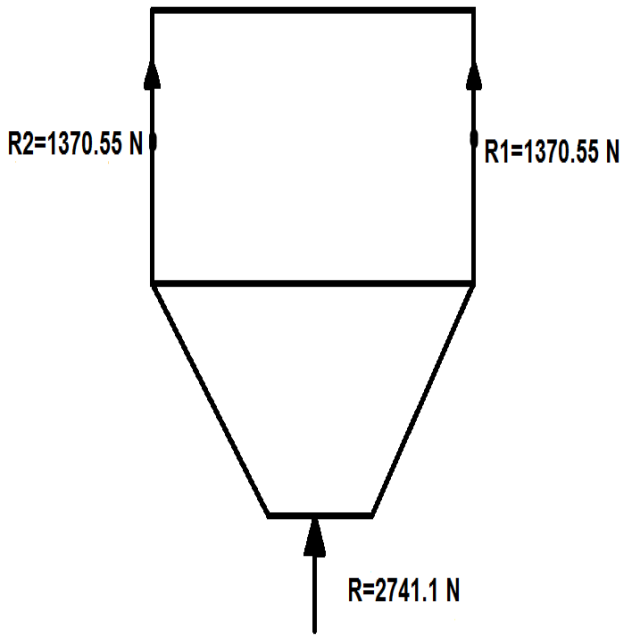
$F_r = \mu_r \cdot Q_T$ siendo,

- F_r la fuerza de resistencia a la rodadura
- Q_T es el peso total del equipo
- μ_r es el coeficiente de rodadura.

Para este caso práctico se tiene los siguientes valores:

$Q_T = 3106\ kg \cdot 9{,}81 m/s^2 = 30469{,}86N$ es el peso total del rodillo aireador

$\mu_r = 0{,}09$ es el valor del coeficiente de rodadura para rastrojo seco (ver Tabla 2 del apartado anterior).



Sustituyendo en la expresión se tiene:

$F_r = \mu_r \cdot Q_T = 0{,}09 \cdot 30469{,}86N = 2742{,}3N$

2.4 Velocidad real de avance:

Para calcular la velocidad de avance del tractor en su labor, se parte del régimen de giro de revoluciones del motor y de la relación de transmisión de la marcha de velocidades seleccionada. Para este caso se tiene que:

Tractor Belarus modelo MTZ-1221:

Ruedas traseras (mm) 1600-2400

Potencia efectiva kW (CV) 96 (130)

Par motor (T_m) :280 N·m .

- Revoluciones de giro del motor= *1600 r.p.m.*

- Relación de transmisión total, *r = 80:1*

En este cálculo se ha supuesto que el tractor trabaja empleando una marcha con una relación de transmisión final de 80:1, por lo que el régimen de giro de la rueda motriz del tractor es de:

Giro de la rueda motriz, $n_r = n_m / r = 1600 / 80 = 20$ *r.p.m.*

$$V = \frac{\pi * D * N_R}{60}$$

donde,

V es la velocidad de marcha del vehículo, en *m/s*

D es el diámetro exterior de la rueda motriz, en *m*

n_r es la velocidad de giro del palier o rueda, en revoluciones por minuto (*r.p.m.*)

Suponiendo que la rueda motriz del tractor de este ejemplo tiene un diámetro exterior *D = 1600 mm.*, la velocidad lineal sería de:

$$V = \frac{\pi * 1.6 * 20}{60}$$

Que operando, resulta finalmente un velocidad de avance del tractor de:

V = 1,68 m/s (6,05 km/h)

Esta sería la velocidad teórica, pero habría que aplicar unas pérdidas por deslizamiento ($\Delta V_{deslizamiento}$) de la rueda sobre el suelo que siempre se producen.

Para el caso de un suelo agrícola tipo como el que se está trabajando, se puede considerar unas pérdidas del 15% por este concepto:

$\Delta V_{deslizamiento} = V \cdot 15/100 = 0,25\ m/s$

Lugo, finalmente la velocidad real de avance del tractor será de:

$V_{real} = 1,68 - 0,25 = 1,43\ m/s \quad (5,15\ km/h)$

Luego, durante la labor de arado, el tractor avanzará a una velocidad de ***5,15 km/h.***

La velocidad de trabajo promedio del conjunto fue 5,15 km/h, es decir la velocidad se encontró dentro del rango de velocidades (2 y 8 km/h) recomendadas para la realización de las operaciones de labranza, (MINAGRI, 2001).

2.5 Capacidad de tiro del tractor escogido

$T_r = T_m \cdot r = 280\ Nm \cdot 80 = 22400\ N{\cdot}m$

Sin embargo, falta por considerar las pérdidas por rozamiento y otras causas originadas en el sistema de transmisión, desde el motor a los palieres de las ruedas, que hace disminuir el par de tiro real que llega finalmente a las ruedas motrices.

Resulta una buena aproximación considerar un rendimiento medio para una transmisión tipo del 85% ($\eta_t = 0,85$), por lo que finalmente, el par de tiro en las ruedas motrices del tractor es de:

$T_{r\,,\,real} = T_r \cdot \eta_t = 22400 \cdot 0,85 = 19040\ N{\cdot}m$

Suponiendo que la rueda motriz del tractor tiene un diámetro D = *1600 mm,* la fuerza de tiro que puede desarrollar el tractor se calculará como:

$$F = \frac{19040}{0.8}$$

Resultando una fuerza de tiro en barra de F = *23800 N = 2426 kgf.*

Por otro lado, las pérdidas por rodadura originadas en el desplazamiento del tractor también fueron calculadas, resultando ser:

$F_r = 2741.1\ Kgf.$

Por tanto, la fuerza de tiro real (F_T) obtenida que puede desarrollar el tractor será de:

$F_T = F + F_r = 2426 + 2741.1 = 5167.1\ Kgf = 50689\ N$

La velocidad real de avance del tractor (V) también fue calculada, resultando ser:

$V_{real} = 1,43\ m/s$

Por tanto, la potencia de tiro (P_T) máxima que el tractor podrá desarrollar en barra será de:

$P_T = F_T \cdot V = 50689 \cdot 1,43 = 72485\ W = 92\ CV.$

2.6Cálculos de Resistencia del equipo

2.6.1 Análisis de resistencia del rodillo

Donde (Wt) es el peso total del rodillo=*30469,86N*

$\sum Fy = 0$

$\sum M_{R2} = 0$

$0 = Wt \cdot \frac{l}{2} - R1 \cdot l$

$R1 = \frac{Wt \cdot \frac{l}{2}}{l}$

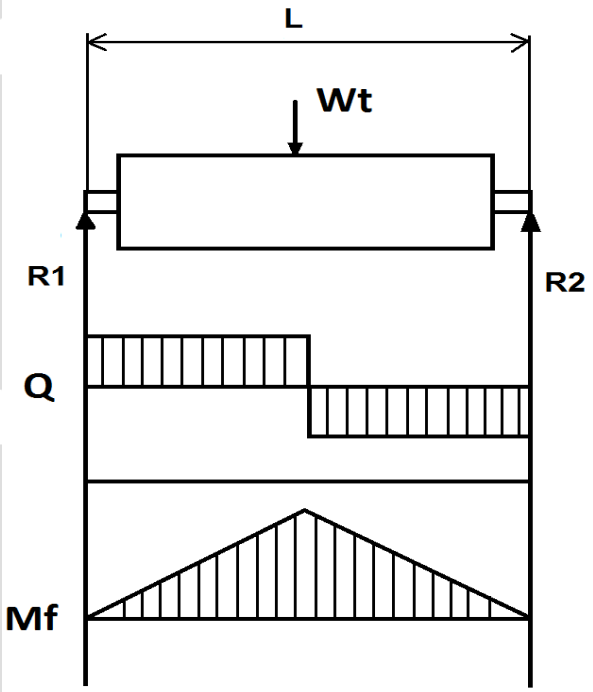
$R1 = \frac{Wt}{2}$

$R1 = 15234{,}98N$

$Mfr = \frac{Wt}{2} \cdot \frac{l}{2}$

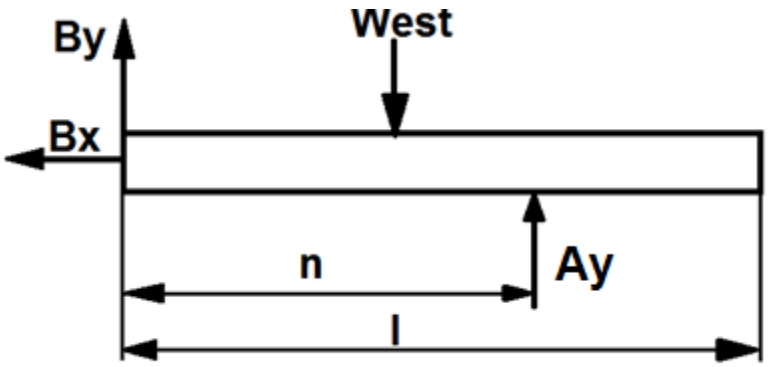
$Mfr = \frac{30469{,}86 \cdot 1.8}{4}$

$Mfr = 13711\ Nm = 139724.7kg\ cm$



2.6.2 Determinación de la reacción en el semieje causado por la estructura.

Donde: (West) es el peso total de la estructura



$$\sum Fx = 0$$

$$\sum Bx = 0$$

$$\sum Fy = 0$$

$$By - West + Ay = 0$$

$$\sum Mb = 0$$

$$Ay \cdot n - West \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$Ay = \frac{West \cdot \frac{l}{2}}{n}$$

$$Ay = \frac{691.6N \cdot \frac{2.60m}{2}}{1.55}$$

$$Ay = 580\ N$$

$$Mfe = -345.8 + 486 \cdot 1.55$$

$$Mfe = 407Nm = 4148.82kgcm$$

$$dmin = 2.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt[2]{Mfr^2 + Mfe^2}}{[\sigma]}}$$

$$dmin = 2.17 \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt[2]{(1370700N\ cm)^2 + (40700N\ cm)^2}}{2000}}$$

$$dmin = 8.2cm$$

Como solicitaciones existentes aplican sobre dos semiejes el $dmin$ calculado anteriormente se divide en dos, además se le añade un 1cm al $dmin$ por razones der seguridad.

$$dmin = 5cm$$

2.7 Cálculo de Resistencia a la soldadura del diente

2.7.1 Cálculo de la fuerza actuante en el diente causada por la penetración de este en el suelo

Según la bibliografía (H. M. Durán García) la Resistencia máxima a la penetración para este tipo de suelo es de 128 kPa por lo que:

$$F = Rd \cdot Ad$$

Donde:

Rd Resistencia máxima a la penetración

Ad Área frontal del diente

$F = 128000Pa \cdot 25.5cm^2$

$F = 128000\,{}^{N}/_{m^2} \cdot 0{,}00255m^2$

$F = 326N = 33{,}23kgf$

2.7.2 Cálculo de la tensión al cizallamiento en el cordón de soldadura.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{0.7 \cdot h \cdot l}$$

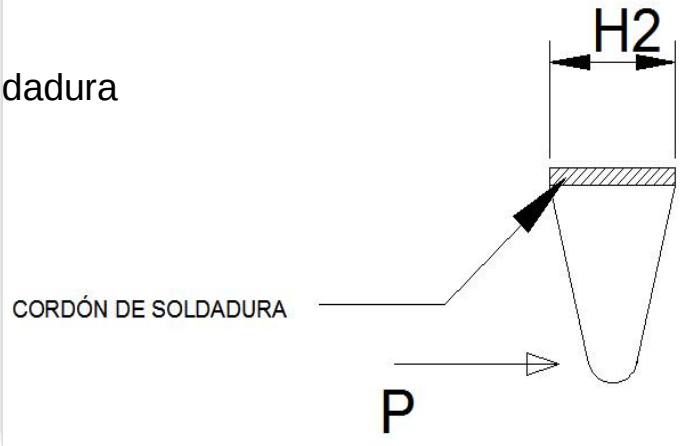
Donde:

h altura de cateto del cordon de soldadura

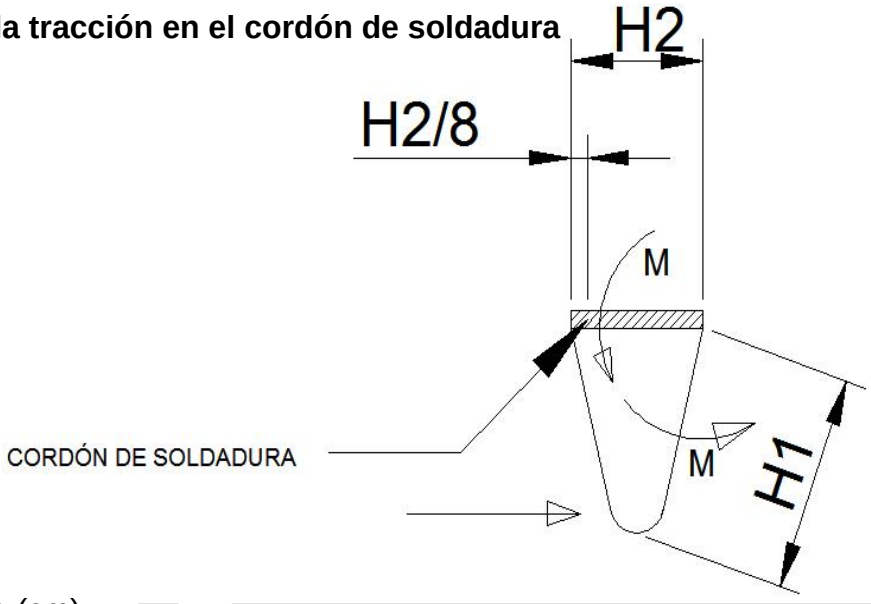
l largo del cordon de soldadura

$$\tau = \frac{33.23kgf}{0.7 \cdot 0.7cm \cdot 8cm}$$

$\tau = 8.48\,{}^{kgf}/_{cm^2}$



2.7.3 Cálculo de la tensión a la tracción en el cordón de soldadura



$$M = \frac{F_1}{2} \cdot H_1 \cdot sen\theta_1$$

$$P_2 = \frac{M}{H_2}$$

$$\sigma = \frac{F_2}{A} = \frac{P_2}{0.7 \cdot h \cdot {}^{H_2}/_{8}}$$

Donde:

H_1 longitud del cateto del diente (cm)

F_1 Fuerza actuante sobre el diente (kgf)

M Momento ocasionado por la fuerza sobre el diente (kg cm)

P_2 Fuerza a la tracción causada por el momento en el diente (kgf)

H_2 Longitud del cordón de soldadura (cm)

θ_2 Angulo entre la fuerza actuante y el cateto del diente

$$M = \frac{33.23}{2} \cdot 17.5 \cdot 0.97 = 282kg$$

$$P_2 = \frac{282}{8} = 35.25kg$$

$$\sigma = \frac{F_2}{A} = \frac{35.25}{0.7 \cdot 7 \cdot {}^{8}/_{8}} = 7.19\ kg/cm^2$$

2.7.4 Comprobación de Resistencia en el cordón de soldadura

Teniendo como datos la tensión a la tracción (σ) y la tension al cizallamiento (τ) se procede a comprobar su Resistencia mediante la aplicación de la tercera hipótesis de Resistencia.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{7.19^2 + 4 \cdot 8.48^2}$$

$$\sigma_{eq} = 18.42 \ {}^{kg}/_{cm^2}$$

$[\sigma_t] = 1000 \ {}^{\text{kg}}/_{\text{cm}^2}$ Para aceros aleados al carbono según P. Stiopin

$\sigma_{eq} < [\sigma_t]$

2.8 Determinación del diámetro total de los tornillos de unión entre el semieje y el tambor.

Los tornillos de unión entre el semieje y el tambor están sometidos a las mismas solicitaciones que el semieje. Por lo tanto el diámetro mínimo total de los tornillos es igual al calculado anteriormente para el semieje.

Por lo tanto el diámetro total del tornillo es 50 milímetros.

2.8.1 Determinación del diámetro de los tornillos de unión entre el semieje y el tambor.

La unión entre el semieje y el tambor se diseñara con una unión mediante 5 tornillos iguales. Por lo tanto para determinar el diámetro de cada tornillo se divide el diámetro total necesario para la unión entre la cantidad de tornillos.

$$Diámetro_{tornillo} = \frac{Diámetro\ total}{Cantidad\ tornillos} = \frac{50mm}{5} = 10\ mm$$

Capítulo 3: Análisis preliminar del costo del rodillo aireador

3.1 Análisis económico

El presente epígrafe muestra el estudio de factibilidad económica de fabricación del rodillo aireador, teniendo en cuenta que su objetivo principal es garantizar que la necesidad de acometer la inversión señalada, esté plenamente justificada y que las soluciones técnico-económicas sean las más ventajosas.

El costo de producción tiene vital importancia en el control de los gastos de fabricación del rodillo aireador. En este se incluyen los gastos de materias primas y materiales auxiliares empleados, los gastos relacionados con el trabajo humano, que compensa los valores de los productos para sí, los gastos indirectos y los gastos por concepto de seguridad social, así como otros gastos en la fabricación.

En este se incluyen los gastos de materias primas y materiales auxiliares empleados, los gastos relacionados con el trabajo humano, que compensa los valores de los productos para sí, los gastos indirectos y otros gastos.

El costo como categoría económica expresa la eficiencia en el trabajo, constituye un indicador generalizador de la calidad y permite comparar la producción obtenida y la magnitud de los gastos incurridos en su fabricación, reflejado en el ahorro de los recursos materiales, humanos y financieros.

3.2 Costo de materiales

Los bienes materiales son los más importantes del costo de producción, desde el punto de vista cuantitativo-monetario. Esto representa el valor de todos los materiales primas y materiales que se integran y consumen en el proceso de producción.

En la fabricación del rodillo aireador se utilizaron materiales auxiliares, cuyo precio fue necesario investigar en las entidades correspondientes. El costo de materiales fue determinado tomando en cuenta su precio de adquisición y la cantidad de unidades utilizadas.

Tabla 3.1 Listado de materiales

DESIGNACIÓN	MATERIAL	CUC	CANTIDAD	CUC
Tubo	**Acero 45**	**550.00**	**1**	**550,00**
Plancha	**Acero 45**	**300,00**	**1**	**300,00**
Varilla	**Acero 45**	**50,00**	**10**	**500,00**
Tapón	**Acero 45**	**10,00**	**1**	**10,00**
Tornillo M10 X 16		**7,06**	**10**	**70,6**
Total		**910**	**23**	**1430,6**

3.2.1 Costos de materiales auxiliares

Durante el proceso de soldadura se utilizaron:

Tabla 3.2 Costo de Electrodos

DESIGNACIÓN	MATERIAL	CUC	CANTIDAD	CUC
Electrodo	**Acero**	**912,00**	**1**	**912,00**
Total		**912,00**	**1**	**912,00**

En el corte de materiales fueron utilizados el oxígeno y el acetileno. La siguiente tabla refleja el costo por unidad y el total de estos materiales.

Tabla 3.3 Costo de Oxígeno y Acetileno

DESIGNACIÓN	UNIDAD	CUC	CANTIDAD	CUC
Balón de Oxígeno	Balón	100,00	1	100,00
Balón de Acetileno	Balón	100,00	1	100,00

Total		200	2	200

3.3 Gasto en salario

El salario es la expresión monetaria de la parte fundamental del producto necesario que se crea en las empresas, y se destina al consumo individual de los trabajadores, incluyendo las remuneraciones que se realicen a los obreros, a partir del fondo de salario.

La seguridad social incluye los gastos originados por la aplicación al salario de la tasa aprobada para ella. En la realización del cálculo se desglosa por los operarios que intervienen en la fabricación de cada pieza, teniendo en cuenta la tarifa horaria correspondiente a cada uno, las horas trabajadas y el gasto de salario según las mismas.

Para determinar el gasto de salario se multiplicaron las tarifas horarias por las horas que debe trabajar cada obrero, dado el salario producido por cada trabajador, y este se multiplica por el coeficiente empleado para vacaciones (9,09%) y el coeficiente empleado para la seguridad social que representa el 14% sobre la suma del salario y las vacaciones, más el 25% de impuestos sobre el salario.

El gasto total en salario y seguridad social se determinó por la suma del salario, las vacaciones y la seguridad social.

Tabla 3.4 Gasto de Salario

Obrero	Tiempo (h)	Tarifa Horaria (pesos/h)	Salario +vac. (9, 09%) (pesos)	Seguridad social (14%)	Impuesto (25%)	Gasto Salario (cuc)
Soldador	10	2,02	20,03	2,80	5,01	27,84
Tornero	20	1,81	39,49	5,52	9,87	54,88

Ayudante	20	1,50	29,50	4,50	3,55	34,60
Total						117,32

3.4 Costo por el consumo de energía eléctrica

Fue necesario determinar la energía eléctrica necesaria de acuerdo al consumo de las máquinas herramientas utilizadas y la cantidad de horas trabajadas por cada una de ellas y teniendo en cuenta los datos aportados por la empresa eléctrica del costo kW-h= 0.09 CUC.

Tabla 3.5 Gasto en Electricidad

Equipo	Horas de trabajo	Gasto en horas	Energía consumida (kw/h)	Costo total (cuc)
Rectificador de Soldadura	10	32,00	320	28,8
Torno	20	12,97	259,4	23,35
Total	30	44,97	384,85	52,15

Gasto generado por la amortización de los equipos

4. La amortización es el traspaso del valor de los medios de trabajo, a medida que se desgastan, aplicándole las tazas de amortización establecidas para cada equipo.
5. El costo generado por la amortización de los equipos se calcula de la siguiente manera:
6. Precio de la máquina
7. CA = ---------- X tiempo de utilización
8. Vida de la máquina
9. Los descuentos de amortización representan el valor en forma monetaria de los fondos fijos en funcionamiento.

10.

Máquina Herramienta	Precio (CUC)	Vida útil (horas)	Dep. horaria (CUC/hr)	Tiempo de utilización (horas)	Gastos de amortización (CUC)
Equipo de Soldar	3371	10 000	0,34	10	3,4
Gasto total de amortización					3,4

3.6 Total de gastos directos

El total de Gastos Directos es igual a la suma de los gastos en materiales, salarios energía y amortización de los equipos

Gastos Directos=Gastos en Materiales + Salarios + Gastos de Energía + Gasto de Amortización

Gastos Directos = 2715,47 cuc

3.7 Total de gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos gastos en que se incurren gestiones de dirección, administración, servicios generales, transporte de personal, iluminación, etc. los cuales hay que cargárselos a los gastos de producción. Estos se estiman como regla como el 30% de los gastos directos.

Gastos indirectos = 0.3 x Gastos Directos

Gastos indirectos = 814,6 cuc

3.8 Costo total de fabricación del rodillo aireador

El costo de fabricación es definitivamente la suma de los gastos directos más los Indirectos.

Costo de fabricación = G.D. + G.I.

Costo de fabricación =3530 cuc

El rodillo aireador en el mercado libre de México tiene un costo de $400000 = 412371,134 cuc.

Conclusiones del capítulo

Los resultados obtenidos en el presente estudio preliminar del costo del rodillo aireador simple demuestran que su fabricación es más factible económicamente que la compra de este en el mercado y constituye un objetivo social de mejoramiento de los suelos con un interés de la humanidad.

Conclusiones generales

1. Se realizó un estudio de las características físicas e hidrofísicas de los suelos para su mejoramiento en la agricultura, de las técnicas y maquinarias utilizadas para su mejoramiento en condiciones fundamentales de su empleo.
2. Se diseña un rodillo aireador simple con sus componentes, capaz de rehabilitar suelos en las condiciones del ecosistema de Cuba.
3. El estudio preliminar del costo del rodillo aireador demuestran que la inversión es factible económicamente y constituye un objetivo social para el mejoramiento de los suelos y la cobertura vegetal de los pastizales.

Recomendaciones

1. Generalizar el diseño del rodillo aireador, según las exigencias de los usuarios de la Dirección Técnica de Empresas de la Agricultura y mostrar su factibilidad y ventajas económicas en la rehabilitación de los suelos, particular a la Dirección Técnica del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionaria de Empresas Agrícolas.
2. Continuar los estudios a fin de la implementación en otras maquinarias de mayor complejidad tecnológica.

Bibliografía

Aguilera, N. C., López, F. O., Kuk Uc, W. A., y Cabrera, R. S. (2005). Efecto del contenido de humedad del suelo sobre la fuerza de tiro horizontal requerida por un arado de tres discos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 14(1), 5-9

Bausat, A. M. (2010). *Maquinaria agrícola.*

Cabrera Dávila, G. de la C. (2014). *Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba. Proyecto: "Impacto de la intensidad de uso de la tierra sobre la macrofauna del suelo en el Occidente de Cuba. La macrofauna como bioindicador de la fertilidad del suelo".*

Chudakov, D. A. (1977). *Fundamentos de la teoría y cálculo de tractores y automóviles.* Moscú: Edición MIR.

Cisneros A. y otros. (2009). *Evaluación cuantitativa de la vegetación en agostaderos sobrepastoreados tratados con rodillo aereador*. VI Simposio Internacional.

Coronel, C. I., Rondón, P. P., y Shkiliova, L. (1999). *Evaluación y pruebas de máquinas agrícolas*. México: Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

Figueroa Pedraza, D. (2003). Seguridad alimentaria familiar. *Revista Universidad Federal de Pernambuco.* 4(2)

Fluck, R. (1992). Energy for farm production. *Revista Energy for World Agriculture.* 5(6), 287

García Carreón, J. S., y Rodríguez Esparza, F. A. (2006). *Compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales, una opción para la conservacion y restauracion de Pastizales*. (Tesis de Grado)

Universidad autónoma de Nuevo León. Instituto Tecnológico de estudios superiores de Monterrey, México.

Garrido, P. J. (1984). *Implemento, Máquinas Agrícolas y fundamentos para su explotación.*

Gómez, J., y Sarmiento, F. (2001*). Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica.* Caracas. Venezuela: Ediciones Abya-Yala.

González, R. (1993). *Explotación del parque de maquinaria.* La Habana: Ediciones Félix Varela

González, R., García de la Figal, A. E., Morejón, Y., y Morales, D. (2001). *Evaluación energética de la labor de rotura con tracción animal y tractor*

León Olguín, J. O. (2009). *Rehabilitación de un pastizal degradado con rodillo triturador en el rancho "El cinco". Municipio saltillo, Coahuila.* (Tesis en opción para obtener el título de ingeniero agrónomo zootecnista) Gualdalajara. México.

Medina Guillé R., y otros. (2012). *Efectos del rodillo aireador y el fuego en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo en matorrales de Coahuila.* (Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Forestales). Universidad autónoma de Nuevo León, México.

Narcia Velasco, M. (2013). *Validación de tecnología para la rehabilitación de áreas degradadas con el uso de rodillo aireador en el sureste de Coahuila* Informe anual de actividades. México. No. SINASO: 1552332223

Pérez Noriega, R. (2007*). Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos. Agronomía III. Ciencias agrarias.* (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cienfuegos. Cuba.

Ramírez, G., Flores, H. G., Jiménez R. O. (2013). *Beneficios del uso del rodillo aireador en la retención de humedad del suelo y aumento en la productividad*

del pastizal. Desplegable para productores INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México

Rubio, G. E. (2009). *Rodillo aereador. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.* Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México.

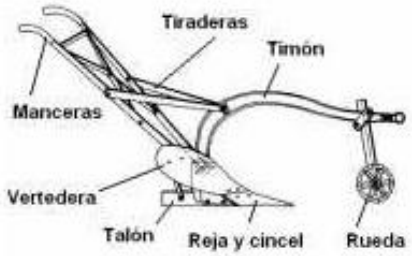
Anexo

Anexo 1

Máquinas para la preparación de los suelos usados en Cuba

Arado criollo de madera

El arado de madera, conocido en algunas regiones del país como arado sitiero o criollo, es uno de los más antiguos. Se emplea en labores de aradura, mullido, surcado, hacer zanjillos, etc. Consta de los siguientes elementos esenciales: una *barra*, *timón* o *pértigo* que se acopla al yugo de la yunta; una *mancera* que sirve al *boyero* para dominar el implemento, una *telera* para regular la profundidad de trabajo y una *reja* o *cincel* que es la herramienta que penetra directamente en el



Arado de vertedera

Para roturar y voltear la tierra con tracción animal se emplea una sola vertedera, y dos para las labores de surcado y cultivo. Es muy usado en nuestro país el arado conocido como *arado americano*, construido todo de hierro y de un solo surco. Los modelos más comunes son para una yunta, pero hay otros más pesados para dos

Arado de discos

Se trata de un arado cuyos órganos de corte y volteo son discos en forma de casquete esférico que giran alrededor de ejes unidos al *bastidor*. Estos ejes forman un determinado ángulo con respecto a la dirección de avance, encontrándose también inclinados con respecto al plano horizontal. La tierra cortada por el disco lo presiona y lo hace girar. El disco entonces arrastra y eleva el suelo que, al alcanzar cierta altura, desvía la trayectoria de las partículas, que caen al fondo del surco provocando de esta manera el volteo. **Los arados de discos se usan para:**

- terrenos pesados y adherentes, en los que existe gran dificultad de deslizamiento del suelo sobre la superficie de volteo.
- terrenos secos y duros en donde es muy difícil la penetración del arado de rejas y vertederas.
- terrenos con gran cantidad de piedras y raíces, ya que el disco rueda sobre el obstáculo en lugar de engancharlo como lo hace la punta de la reja.
- terrenos en los cuales por razones tanto de su constitución, textura y/o de estructura, el arado no debe invertir totalmente la capa de tierra, en especial para evitar la erosión. Más adelante veremos que hay otros arados con los cuales puede combatirse más adecuadamente la erosión.
- terrenos muy abrasivos en los cuales se produciría un serio desgaste de las piezas que no sean giratorias.

Implemento que produce un ligero alisamiento o Alisador | nivelación superficial del suelo de forma que la tierra quede suelta para la siembra.

Grada

Anexo 2

Técnicas utilizadas en Cuba

Fertilizantes

Son todas las sustancias, tanto orgánicas (Estiércol, Turba, Abono verde) como minerales (Salitre, Fosfato, Yeso) que se aplican para mejorar la fertilidad del suelo con el propósito de obtener

Drenaje agrícola

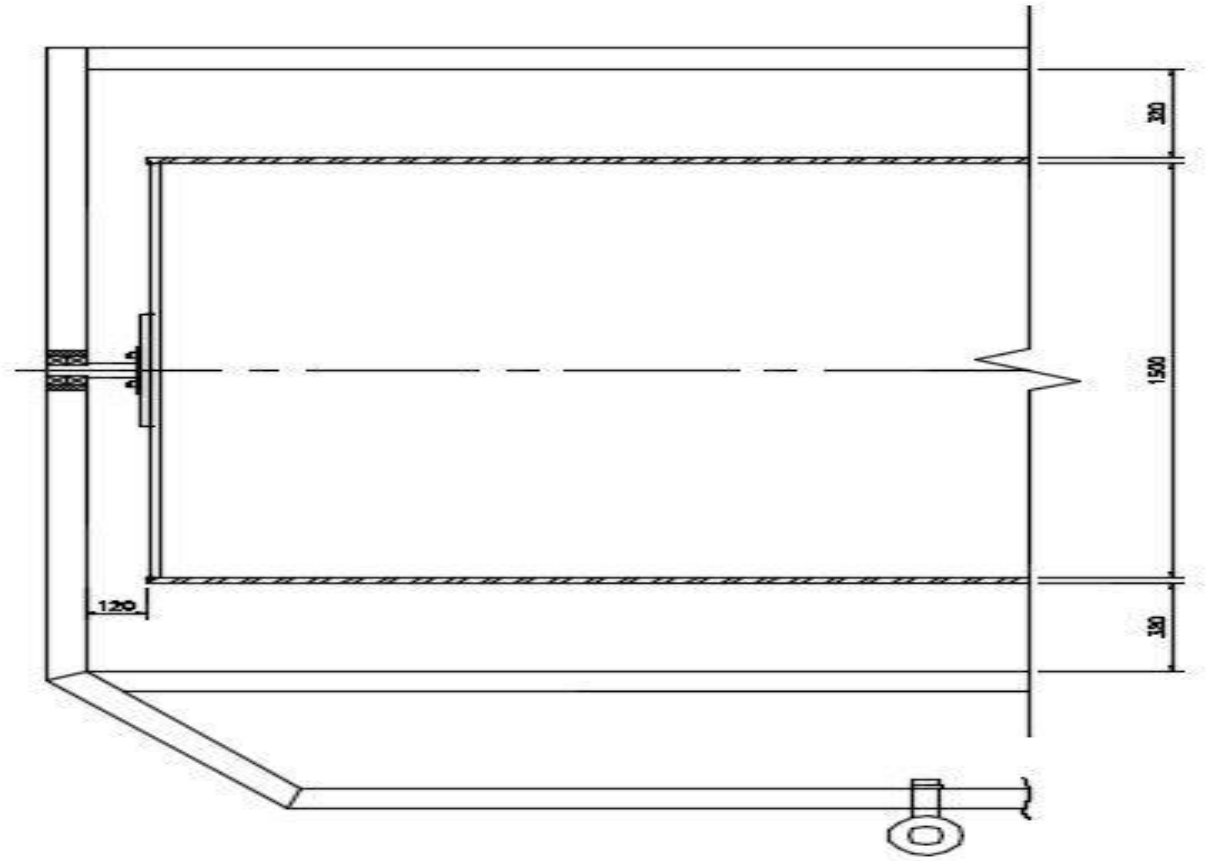
Conjunto de medidas para evacuar los excesos de aguas libres, superficiales o subterráneas, en un área de terreno determinada.
Antecedentes
Los suelos pueden tener alta humedad por causas naturales como: exceso de lluvias, inundaciones, poca permeabilidad de las capas del subsuelo, obstáculos para las escorrentías, entre otros factores.

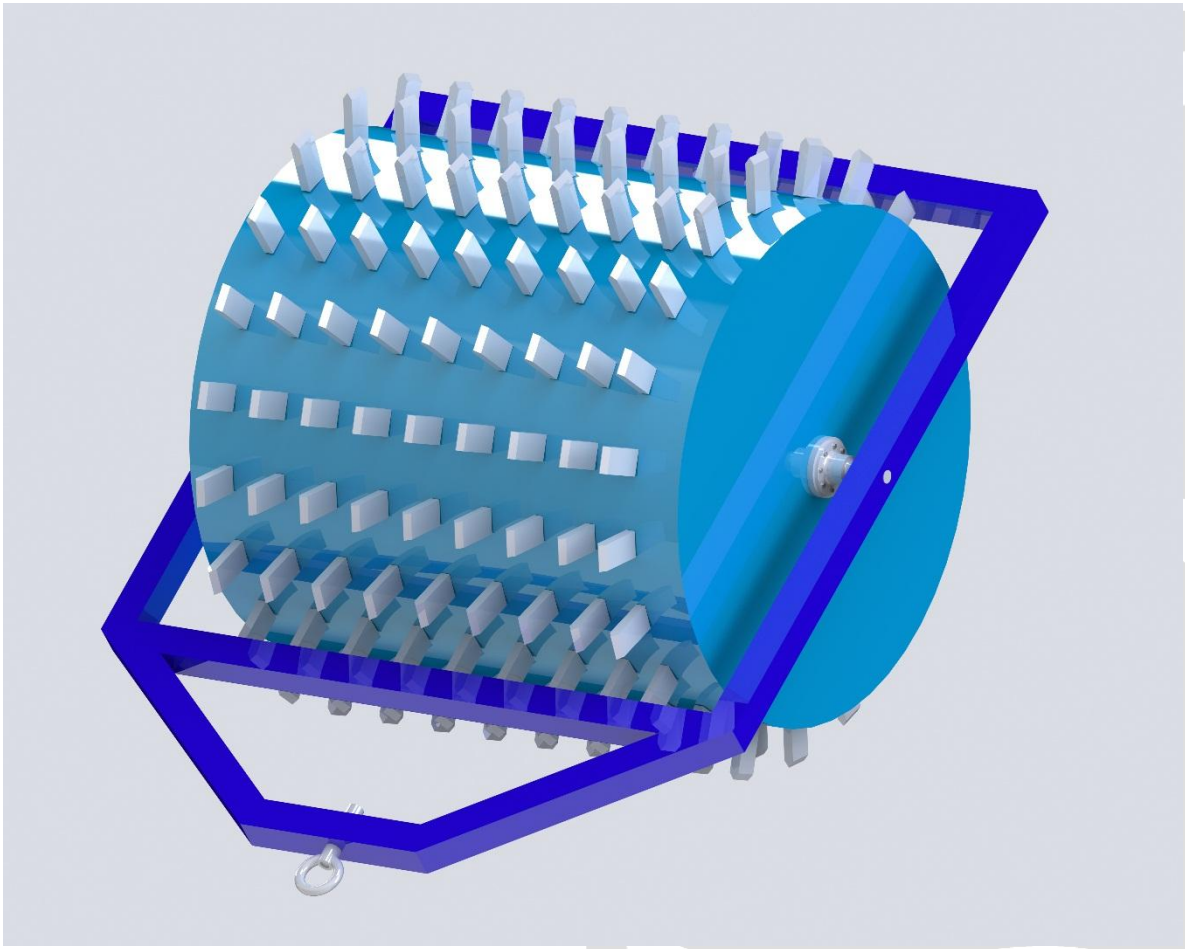
Materia orgánica

La materia orgánica está compuesta por producto que se obtiene de residuos de animales o vegetales.

Anexo 3

Plano de ensamblaje del rodillo aireador



Anexo 4

Modelación del aireador en el software Solid Works