



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



DPTO. MECANIZACIÓN DE LA
PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

TRABAJO DE DIPLOMA

Titulo: Diseño, montaje y puesta a punto de un banco rotacional de pruebas para determinar el desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo.

Autor: Jorge Daniel López Morfa.

Tutor: Ing. Ángel L. Sánchez Isnaga.

CURSO: 2009 - 2010



»Pensamiento...

PENSAMIENTO.

“La agricultura es la única fuente constante, cierta y enteramente pura de riqueza”.

“José Martí”

DEDICATORIA.

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me hicieron posible realizar el sueño de mi vida y en especial, a mis padres, profesores y amigos.

AGRADECIMIENTOS.

...En el mundo actual para lograr un objetivo, no solo basta el esfuerzo personal, se necesita que coincidan múltiples factores en el tiempo, y actúen en un espacio dado. Por lo que agradezco:

A mis padres por haber hecho posible que estuviera hoy aquí y demostrarme todo su amor.

A mis compañeros y amigos de aula y cuarto que siempre han estado presentes.

A todos los profesores que me han guiado, enseñado y formado para llegar a ser un profesional y en especial a mi tutor Ing. Ángel L. Sánchez Isnaga.

A todas las personas que de una forma u otra me ayudaron a hacer posible este trabajo y en especial a mi novia Aracelis Guerra Sarmiento.

RESUMEN.

En el presente trabajo se realiza el desarrollo de un banco de pruebas rotacional para investigar el desgaste de los aperos de labranza de suelo.

Para cumplimentar el objetivo propuesto se realiza la tarea técnica del banco, y se establecen las metodologías para el cálculo de los parámetros constructivos y cinemáticos del banco; así como para el cálculo de las relaciones de transmisión, fijando velocidades de trabajo entre 2 y 4 km/h, para realizar el estudio de desgaste.

Los resultados muestran la tarea técnica requerida para el diseño del Banco Rotacional de Pruebas. Por otra parte, se determinaron los parámetros constructivos y cinemáticos del banco de pruebas, así como las dimensiones de las poleas del reductor para obtener las velocidades de trabajo requeridas. La herramienta se fija en el bastidor del banco, con un determinado ángulo de inclinación con respecto a su posición horizontal, de manera tal que se minimicen los efectos de borde causados por el movimiento rotacional del depósito de suelo. Este trabajo ha obtenido premios en todos los eventos estudiantiles donde se ha presentado, incluyendo el premio Destacado obtenido en el evento nacional celebrado en la UNICA el curso 2008 - 2009.

Palabras claves: bancos rotacionales para investigar desgaste, desgaste.

ABSTRACT.

Presently work is carried out the development of a circular soil bin to investigate the wear of the tillage tool.

The proposed objective was carried out by means of the technical task of the circular soil bin, and the methodology for calculation of the constructive and cinematic parameters of the soil bin settles down, as well as for the calculation of the transmission, for study of wear to carry out fixing the working speed in a range of 2 to 4 km/h.

The results show the technical task required to know design of the circular soil bin. On the other hand, the constructive and cinematic parameters of a rotational soil bin have been determined, as well as the dimensions of the pulleys for the transmission to obtain the required ground speed. The tool is attached in the bank arm with a certain inclination angle with regard to their horizontal position, in such way that the border effects caused by the rotational movement of the soil bin are minimized.

On the other hand, it was corroborated that the working speed influence in the increment of the wear of the tillage tool works organs.

This work has gotten prizes in all the collegiate events where it has been introduced, including the Outstanding prize gotten in the national event celebrated in the UNICA the course 2008- 2009.

Keywords: circular soil bin to study wear, wear.

ÍNDICE.

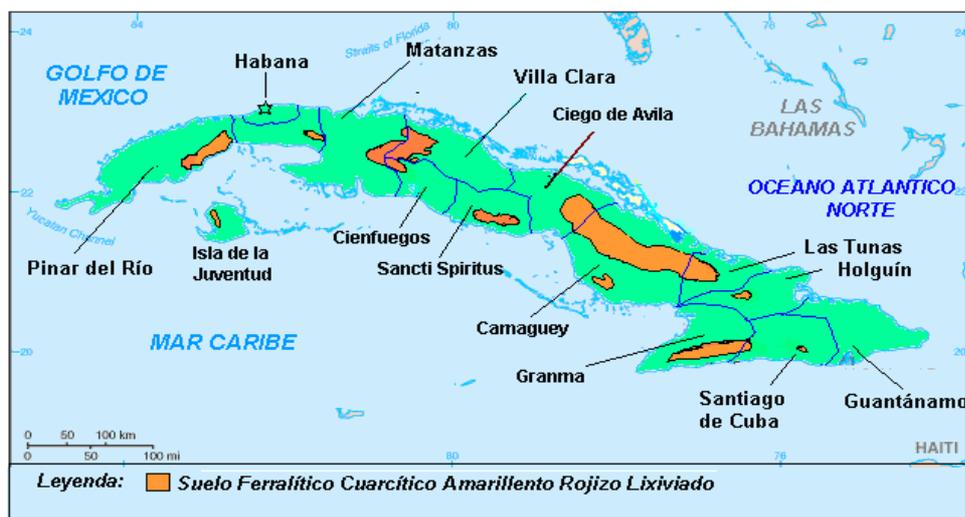
Introducción	9
Capítulo I. Situación actual del tema	11
1.1. Situación actual de la problemática del desgaste de los aperos de labranza de suelo.....	11
1.2. Métodos empleados para investigar el desgaste de los aperos de labranza de suelo.....	16
1.3. Objetivo, tareas de investigación y esquema lógico de su desarrollo.....	25
Capítulo II. Fundamento teórico para el diseño del banco rotacional de pruebas	27
2.1. Fundamentación de la propuesta de diseño del banco.....	27
2.2. Tarea técnica para el diseño del banco objeto de estudio.....	28
Capítulo III. Programa y metodologías de las investigaciones experimentales	34
3.1. Programa de la investigación.....	34
3.2. Metodología para la determinación de los parámetros de diseño del Banco Rotacional de Pruebas.....	35
3.3. Metodología para la determinación de los parámetros cinemáticos del Banco Rotacional de Pruebas.....	37
Capítulo IV. Análisis y discusión de los resultados	41
4.1. Resultados del cálculo de la resistencia a la tracción del órgano de trabajo.....	41
4.2. Resultados del cálculo de los parámetros de la transmisión.....	41
4.3. Resultados del cálculo de la velocidad de trabajo y los diámetros de las poleas del reductor.....	41

»Índice...

4.4. Resultados del diseño del Banco Rotacional de Pruebas.....	43
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Bibliografía	46

INTRODUCCIÓN.

Entre los suelos de mayor importancia económica en Cuba se encuentran los Ferralíticos Cuarcítico Amarillento Rojizo Lixiviados, que en la mayoría de los casos están destinados a la producción de tabaco, hortalizas, granos, además de raíces y tubérculos, así como al desarrollo de la ganadería. Los mismos se encuentran ampliamente difundidos en el país (Fig. 1), ocupando una extensión territorial de 611332,75 ha, distribuidas en las provincia de Pinar del Río (8,423727 %), en la Habana (0,892305 %), en Matanzas (6,078938 %), en Villa Clara (10,08406 %), en Cienfuegos (3,724616 %), en Sancti Spíritus (7,137555 %), en Ciego de Ávila (10,43098 %), en Camaguey (29.33656 %), en las Tunas (10,0233 %), en Holguín (0,744276 %), en Granma (11,22074 %), en Santiago de Cuba (1,097404 %), y en el municipio especial Isla de la Juventud (0,805535 %) [19].



Estos suelos son considerados como suelos altamente abrasivos, lo cual está dado por su composición granulométrica y la presencia de cuarzo. Este fenómeno trae aparejado el desgaste acelerado de los órganos de trabajo de los aperos de

»Introducción...

labranza, lo cual se traduce en aumento del consumo de energía y el encarecimiento de los costos de las labores de preparación, acondicionamiento y cultivo de suelos.

El desgaste abrasivo que sufren los órganos de trabajo de los aperos empleados en la labranza del suelo es un fenómeno que ha sido ampliamente estudiado a nivel internacional, aunque en nuestro país dichos estudios han sido dirigidos principalmente a los elementos mecánicos de la industria.

Este fenómeno trae como consecuencia la variación de la geometría de la superficie, además de sufrir transformaciones la estructura y propiedades mecánicas del material, lo que trae como consecuencia en la mayoría de los casos la pérdida de material.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA

1.1. Situación actual de la problemática del desgaste de los aperos de labranza de suelo.

El desgaste de los aperos de labranza es un fenómeno de gran complejidad que se produce debido a la fricción de las partículas de suelo sobre la superficie del órgano de trabajo.

Este fenómeno trae como consecuencia la variación de la geometría de la superficie, además de sufrir transformaciones la estructura y propiedades mecánicas del material, lo que trae como consecuencia en la mayoría de los casos la pérdida de material.

Los estudios más recientes evidencian que el desgaste repercute de forma negativa en la mayoría de los procesos mecanizados que se realizan en la agricultura, causando pérdidas millonarias en Canadá que ascienden a 940.000.000 de dólares anuales [12], en Australia 20.000.000 de dólares anuales [7] [11], en Turquía 4,4.000.000 de dólares anuales [2], en los Estados Unidos de Norteamérica 15.000.000.000 de dólares anuales.

En Cuba, en la actualidad no existe un estudio dirigido a cuantificar estas pérdidas, aunque estudios realizados a finales del siglo pasado por [14], concluyen que esta cifra alcanzó los 200.000 pesos anuales, solamente en pérdidas de los implementos de labranza.

Manifiesta [5], que la causa de la sustitución del 85 % de los elementos de la maquinaria agrícola en Cuba es el desgaste abrasivo.

Los principales problemas asociados al desgaste abrasivo, se definen como:

- Pérdida de la energía útil requerida para el laboreo de suelos agrícolas, producto de la fricción generada durante la interacción del suelo con los

- elementos estructurales de los órganos de trabajo de los implementos de labranza;
- Aumento del consumo de combustible y de los gastos de explotación de las máquinas e implementos de labranza, producto de la elevación de las resistencias no útiles generadas por la fricción;
- Pérdida de tiempo, debido al aumento del reemplazo y frecuencia de fallos;
- Aumento de los costos de producción producto del aumento de costos de reparación y reposición.

Pérdida de la energía útil requerida para el laboreo de suelos agrícolas.

Plantea [11], que durante el trabajo de los implementos de labranza se aprovecha solo un 54 % del trabajo total, producto de la pérdida de un 46 % del trabajo útil a consecuencia de las resistencias no útiles, generadas por la fricción entre el suelo y los elementos estructurales del órgano de trabajo. Agrega [11], que el 25 % del trabajo total perdido se debe a la fricción entre el suelo y la reja, otro 17 % se pierde producto de la fricción de las partículas de suelo con el soporte del órgano de trabajo y el 4 % restante se pierde producto de la resistencia a la rodadura del arado. Esta pérdida de trabajo conlleva a la pérdida de la energía útil requerida para el laboreo del suelo lo cual se traduce en un aumento del consumo de combustible y elevación de los gastos de explotación [11]. La energía útil consumida en las labores de labranza depende también de otros factores tales como el tipo de suelo, la forma de la herramienta de trabajo, la velocidad de avance del mismo y la profundidad de la labor [10]. Agrega que la energía consumida en la preparación del lecho de siembra viene condicionada, fundamentalmente, por el tipo de suelo y por su estado final tras la labor primaria. Aquellos suelos cuyo contenido de arcilla supera del 30 a 35 % requieren, en general, más energía de desintegración de los terrones que los restantes. En los sistemas de laboreo mínimo, la labor primaria realizada con un apero de labranza vertical, tipo bisel, permite reducir, en comparación con el arado y para una misma profundidad de trabajo, un 30 % el consumo de energía. Si tenemos en cuenta que el apero de labranza vertical trabaja a una menor profundidad que el arado, el ahorro energético puede llegar hasta el 50 % [10].

Aumento del consumo de combustible.

Se debe tener presente que los trabajos de labranza son los que mayor demanda energética solicitan al tractor, y en consecuencia son los que mayor gasto en combustible generan.

Plantea [16], que el rendimiento energético en desplazar, y en su caso en accionar el apero correspondiente, es muy bajo, no supera nunca el valor del 20 %. Ello se debe a que la transformación energética del motor alcanza en el mejor de los casos un rendimiento del 40 %, mientras que el rendimiento en tracción del tractor no supera el valor del 50 %. Dicho de otra forma, por cada 100 L de gasóleo tan sólo se utilizan 20 L. A esto debemos añadirle el gasto energético en las herramientas de trabajo de los aperos por rozamiento y adherencia metal-suelo, y por desplazamiento de los agregados. El rendimiento energético, entendido como la relación entre la energía directamente aplicada sobre el suelo para lograr un determinado tamaño y distribución de las partículas y la energía equivalente al combustible utilizado por el conjunto tractor- apero para conseguir el mismo efecto, no es superior al 2 %. Plantea [10] que en los sistemas de laboreo convencional buena parte del consumo energético se achaca a la labor de aradura, tanto con el arado de vertedera como con el de disco. Agrega [10], que cuando las condiciones de trabajo son óptimas, el consumo de combustible oscila entre 0,8 y 1 L.ha⁻¹.cm.⁻¹ de profundidad. Estas cantidades se pueden incrementar notablemente si la labor se ejecuta en condiciones muy alejadas de las de tempero.

Aumento de la pérdida de tiempo.

Plantea [3] que el cuidado, mantenimiento y preparación del equipo, previo a las labores, junto al servicio diario recomendado por el manual de mantenimiento puede afectar el tiempo perdido durante la operación de labranza en el campo. Agrega dicho autor; que atrasos en el campo, por ajustes o fallas imprevistas, pueden volverse críticos desde el punto de vista de completar puntualmente las operaciones para lograr los máximos rendimientos y calidad de cultivo. Estudios realizados por [6] [8] [17], citado por [4], arrojaron los mismos resultados, los cuales indican que al efectuarse el mantenimiento técnico diario, en el tiempo

establecido y todas las operaciones previstas, el flujo de fallos de las máquinas disminuye en un 50 %, en condiciones medias de explotación, lo cual posibilita la reducción de los gastos por conceptos de reparaciones y a la vez mano de obra.

Otra de las cuestiones que se debe tener en cuenta, y que influyen determinantemente en el incremento de las afectaciones y el tiempo perdido de la maquinaria, por concepto de desgaste de los órganos de trabajo de los aperos que intervienen en las labores de labranza de suelo, que conforman una tecnología de producción determinada, en Cuba, lo es precisamente el uso indiscriminado de materiales no clasificados o inadecuados para la fabricación de estos medios, y que por las severas condiciones de trabajo de estas actividades se reduce su vida útil.

No obstante, en la actualidad, tanto a nivel internacional como nacional muchas investigaciones han estado encaminadas a la búsqueda de alternativas que prolonguen la vida útil de los aperos de labranza, y por consiguiente la reducción del tiempo perdido.

A nivel internacional, se han empleado varios métodos dentro de los que se destaca el empleo de materiales especiales (antifricción), resistentes al desgaste y la abrasión, como son: el Fluión (Inglaterra), Teflón (EUA), Ftoroplast (ex URRS), Algaflón (Italia), Soroflok (Francia), Teflok (Checolovakia) y Costafión (Alemania), los cuales presentan mucha similitud en cuanto a su composición química. En la actualidad se han incorporado nuevos materiales o materiales avanzados por parte de los principales fabricantes de implementos de labranza para contrarrestar estos efectos nocivos.

Por su parte, en Cuba, a pesar de que los principales estudios relacionados con esta temática se han encaminados a identificar, desde el punto de vista teórico, los factores que inciden en el desgaste de los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas, también se han dado algunas soluciones con el fin de buscar nuevas tecnologías para contrarrestar el desgaste, dentro de las que se encuentran: el temple isotérmico; el tratamiento termomecánico; la deposición electrolítica; la deposición por fusión de aleaciones duras para formar elementos bimetálicos; los tratamientos termoquímicos; el temple superficial (por corriente de alta frecuencia

y por láser); el tratamiento superficial por luz solar concentrada, etc. Otra de las vías empleadas para contrarrestar el desgaste de los implementos de labranza es la búsqueda de nuevos materiales. Plantea [22], que entre los nuevos materiales empleados en la construcción de los órganos de trabajo de estos aperos se encuentran: los aceros 9XC, 60C2A, 65G y Y8A. Este orden coincide con la resistencia que presentan al desgaste abrasivo.

Plantean [14] que los aceros más resistentes para la fabricación de estos órganos de trabajo son los que contienen de carbono entre 0,6 y 0,9 %. Agregan, que la mejor estructura desde el punto de vista de resistencia al desgaste abrasivo es la martensítica o bainítica, fortalecida su matriz con Si y Mn y dispersos sobre ella, carburos de cromo y manganeso, por oponerse estos a la deformación plástica de la misma, ya que detiene el movimiento de dislocaciones. De igual forma, se han desarrollado varias técnicas durante los años para aumentar la resistencia de las herramientas de uso abrasivo de suelo. Por ejemplo, capas de la superficie o nuevos materiales como alúmina cerámica, el cual fue aplicado para reducir uso abrasivo [20] [18].

Aumento de los costos de producción producto del aumento de los costos de reparación y reposición.

En la Resolución Económica al V Congreso del Partido, Carlos Lage en 1997, planteó: "La eficiencia, es el objetivo central de la Política Económica ya que constituye una de las mayores potencialidades con que cuenta el país. Hacer un mejor uso de los recursos, elevar la productividad del trabajo, alcanzar mejores resultados con menos costos tendrán un efecto positivo en el balance financiero nacional"; señaló además, "que como parte de la eficiencia económica deberá enfatizarse en la disciplina laboral y tecnológica, así como en la eficiencia energética y productiva, siendo necesario no sólo alcanzar estos propósitos, sino medirlos con índices que reflejen cuanto se pudo hacer y compararlos con lo logrado".

La productividad de los agregados es uno de los índices fundamentales en la utilización de la técnica en la agricultura, se encuentra en relación directa con la

productividad del trabajo en los procesos mecanizados, estando íntimamente relacionado con el proceso tecnológico y la eficiencia en el trabajo.

Los fabricantes de máquinas agrícolas tendrán que adecuarse, no sólo a las necesidades de los agricultores a través de la contención de los gastos productivos, a la sostenibilidad, desde el punto de vista ambiental, sino también a la obtención de implementos mucho más resistentes a las condiciones de trabajo de los mismos con el fin de alargar su vida útil.

Los problemas de desgaste que presentan los elementos estructurales de los órganos de trabajo de las máquinas agrícolas, tienen gran impacto en los costos de producción, producto del aumento de los gastos requeridos para su reparación, adquisición, reposición y elaboración de nuevos elementos. Esta problemática se acrecienta más cuando se laboran suelos con características altamente abrasivas. La abrasividad de estos suelos está marcada fundamentalmente por la presencia de cuarzo, concreciones y perdigones de hierro, que son lo suficientemente duras para causar serios daños a los órganos de trabajo de los aperos de labranza.

1.2. Métodos empleados para investigar el desgaste de los aperos de labranza de suelo.

Para la investigación del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza, tradicionalmente se han empleado métodos analíticos, de laboratorio y experimentales, siendo los dos últimos los más usados.

Métodos de laboratorio:

Para la determinación del desgaste con los métodos de laboratorios se han diseñado y fabricado numerosos equipos para la determinación de la resistencia al desgaste, entre los que se encuentran los sistemas “pin on disk- pin sobre disco”, que son fáciles de construir y permiten mantener condiciones de contacto constantes.

Para la prueba de desgaste con este método se necesitan dos probetas fabricadas con los materiales a ser estudiados. El primero es un pin cuyo tamaño es muy reducido, el cual es posicionado perpendicularmente a la otra pieza, la cual usualmente es un disco circular. La máquina de pruebas causa que el pin o el

disco giren entre sí; como consecuencia de ello, se forma un camino de desgaste en el disco. El plano del disco puede ser orientado vertical u horizontalmente. Los resultados de desgaste pueden diferir según la orientación del disco [1].

En la (Fig. 1.1) se muestra un equipo para la medición del desgaste mediante el método “pin sobre disco”.

Existen otros equipos para la determinación del desgaste como son el Medidor de Desgaste por Abrasión “Taber” el cual constituye una pauta de la industria que se emplea en todo el mundo para medir el desgaste y la durabilidad de revestimientos duros, cerámicas, caucho y otros materiales.

Estos medidores están disponibles en varias versiones, Taber 5150 de cabezal doble (Fig. 1.2a), Taber 5130 de cabezal simple de ensayo (Fig. 1.2b), y Taber 5700 (Fig. 1.3). El Taber 5150 brinda a los usuarios la capacidad de ensayar dos materiales diferentes o idénticos simultáneamente, y duplica la productividad del operario [19]. Las características del Taber 5700 son longitud ajustable del movimiento, velocidad, carga, y una variedad amplia de medios del abrasivo [19] y [16].

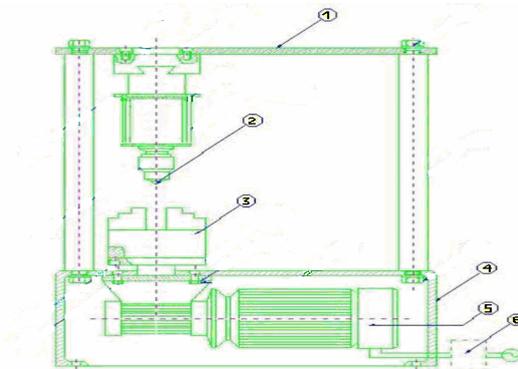


Fig. 1.1. Equipo para la medición de desgaste por el método PIN-ON-DISK. Base Superior (1); Mandril porta esfera JACOBS (2); Cilindro Base Inferior (3); Base inferior (4); Moto reductor RAMFE MRS-55 (5); Variador Electrónico SIEMENS (6).



Fig. 1.2. Medidor de Desgaste por Abrasión: Taber 5150 (a), Taber 5130 (b).

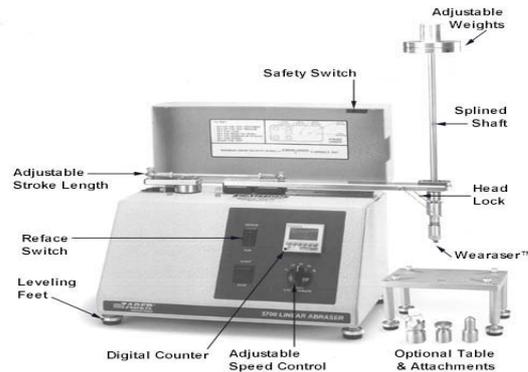


Fig. 1.3. Medidor de desgaste por abrasión Taber 5700: Adjustable Weights (Pesos ajustables); Safety Switch (Interruptor de seguridad); Splined Shaft (Eje rasurado); Adjustable Stroke Length (Longitud ajustable del movimiento); Head Lock (Cerradura de la asamblea); Reface Switch (Interruptor); Wearaser™ Wearaser (cabeza que desgasta); Leveling Feet (Nivelación de Pies); Digital Counter (Contador digital); Adjustable Speed Control (Control ajustable de velocidad); Optional Attachments and Table (Accesorios y tablas opcionales).

En el Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME), existen tres máquinas para producir el desgaste erosivo adhesivo y abrasivo.

En las (Fig. 1.4 y 1.5) se puede observar una máquina que se emplea para medir el desgaste abrasivo. Esta máquina utiliza arena de determinada granulometría, que se deja caer entre el espécimen de prueba (empujado mediante un brazo con determinada carga) y una rueda de goma que se mueve en la misma dirección que la arena.

Los métodos expuestos anteriormente no son más que la forma de provocar el desgaste en el material de estudio. La fase posterior del proceso corresponde a la determinación cuantitativa del desgaste, para lo cual es necesario calcular la pérdida de peso de la muestra.



Fig. 1.4. Máquina para determinar desgaste abrasivo.



Fig. 1.5. Vista frontal aumentada de la máquina de desgaste abrasivo.

A pesar de ser estos los indicadores fundamentales del desgaste, existen otras formas o métodos que permiten de un modo u otro cuantificar el desgaste. Dentro de estos aparecen:

Determinación del desgaste con ayuda del rugosímetro.

Este método consiste en la toma de perfilogramas en una misma microsección antes y después del ensayo de fricción. La ventaja fundamental de este método es la posibilidad que brinda de poder determinar valores muy pequeños de desgaste con alta exactitud. Este método se utiliza para investigaciones científicas.

La utilización de este método permite obtener gráficamente el estado de la superficie de desgaste, posibilitando valorar la distribución del desgaste por la superficie estudiada, en los límites de recorrido de la aguja del rugosímetro.

En la (Fig. 1.6) se muestra el perfilograma que fue tomado de una sola pasada de la aguja. Se tomó el perfil de una zona sin fricción, de una zona de fricción y, de nuevo, de la zona sin fricción. El valor medio del desgaste es fácil de determinar, si se conoce el valor vertical de la escala de ampliación del perfilograma.

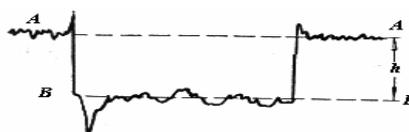


Fig. 1.6. Perfilograma para la determinación del desgaste: Superficie inicial (A-A), nivel del fondo de la profundidad desgastada (superficie después del ensayo) (B-B).

Método de bases de medidas artificiales.

La determinación de los valores absolutos del desgaste mediante este método consiste en la realización de huellas sobre la superficie estudiada y la posterior determinación de las dimensiones que existen desde la superficie de fricción hasta el fondo del ahondamiento hecho en estas superficies y regularmente estrechado desde la superficie hasta el fondo de la cavidad.

En la Fig. 1.7 se muestran diferentes formas geométrica de cavidades que se realizan en la superficie.

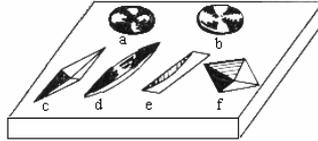


Fig. 1.7. Formas de las bases de medidas: segmento circular (a), cono (b), Pirámide de base romboidal (c), Huella formada por dos hiperboloides (d), Huella cilíndrica (e), Pirámide de base cuadrada (f).

El método de base de medida artificial, en función del método de realización de la huella, se divide en los siguientes:

Método de las huellas.

El método de la huella consiste en la realización de huellas en la superficie con la ayuda de cualquier inductor de forma geométrica conocida, el material del inductor es preferentemente el diámetro, aunque también se pueden utilizar aleaciones duras.

Método del punzonado.

El mismo se basa en la realización sobre la superficie de la pieza estudiada de una huella mediante un inductor cónico.

El inductor cónico del tipo punzón con un ángulo de 120° - 140° se construye de una aleación dura o acero templado. EL valor absoluto del desgaste lineal se calcula por la ecuación siguiente:

$$\Delta h = 0.5 \Delta d \tan \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (1.1)$$

Donde: h - desgaste lineal; Δd - diferencia de diámetro de la huella y α - ángulo del cono.

Cuando el ángulo $\alpha = 120^{\circ}$, el valor del desgaste lineal se obtiene de la forma siguiente:

$$\Delta h = 0.288 \Delta d \quad (1.2)$$

La ventaja de este método, para la determinación del desgaste, es que tiene como consecuencia una alta sensibilidad a la suciedad de la superficie.

Método de barrenado

En ocasiones se utiliza el método de barrenado, este consiste en la realización de huellas sobre la superficie de fricción con una barrena de aleación dura, con un ángulo de $120^\circ - 140^\circ$ (Fig. 1.8).

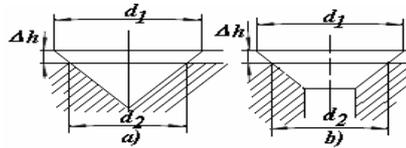


Fig. 1.8. Huellas realizadas con barrenas de aleación dura.

Este método es análogo al antes mencionado y el desgaste para superficies planas se determina como:

$$\Delta h = \frac{d_1 - d_2}{m} \quad (1.3)$$

Donde: d_1 y d_2 - diámetro del agujero antes y después del ensayo; Δh - desgaste lineal

Si las superficies de los cuerpos ensayados son cilíndricas el valor del desgaste se calcula como:

$$\Delta h = \left(\frac{d_1 - d_2}{m} \right) \pm \left(\frac{d_1^2 - d_2^2}{SR} \right) \quad (1.4)$$

El signo (+) se utiliza para superficies convexas y el (-) para superficies cóncavas. Las mediciones de las diagonales con ayuda del microscopio antes y después del desgaste, permiten determinar los valores absolutos del desgaste con un grado de precisión en el orden de las micras. La ventaja mayor del método es su alta precisión en las mediciones y su mayor desventaja es el aplastamiento del borde de la superficie de la huella.

Método de las muescas.

Este método consiste en la realización de una huella en la superficie de fricción con la ayuda de un instrumento de corte giratorio, dicha huella posee una forma determinada. Conociendo el radio de la cuchilla y midiendo la longitud de las muescas se puede calcular su profundidad. El fondo de la muesca actúa como una base de medida constante. La diferencia de medida que existe desde la

superficie de fricción hasta el fondo de la muesca determinadas antes y después del ensayo, da la magnitud del desgaste lineal (Fig. 1.9).

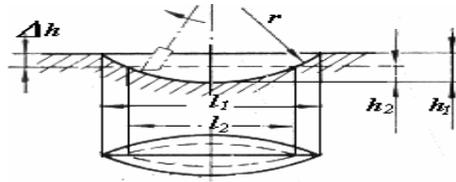


Fig. 1.9. Huella realizada con una cuchilla giratoria.

La magnitud de la muesca se determina con la ayuda de un microscopio.

Las muescas se realizan con una cuchilla giratoria de diamante afilada en forma de pirámide de base triangular (Fig. 1.10).

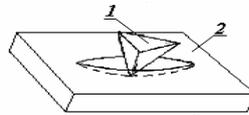


Fig. 1.10. Forma de realización de la huella.

La exactitud de las mediciones mediante el método de las muescas es considerablemente mayor que el método de las huellas, debido a que la relación existente entre su profundidad y longitud se encuentra en el rango de 1:50 – 1:80, mientras que en el método de las huellas la relación es de 1:7.

Para este método se recomienda las siguientes dimensiones de las muescas:

Profundidad, (μm)	Longitud, (mm)
20,8	1,0
48,0	1,5
83,0	2,0

La determinación de los valores absolutos del desgaste con muescas realizadas en diferentes superficies se calcula por las ecuaciones siguientes:

- para muescas realizadas en superficies planas

$$\Delta h = 0,125 (L_1^2 - L_2^2) \frac{1}{r} \quad (1.5)$$

- para muescas realizadas en superficies convexas

$$\Delta h = 0,125 (L_1^2 - L_2^2) \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right) \quad (1.6)$$

- para muescas realizadas en superficies cilíndricas cóncavas

$$\Delta h = 0,125 (L_1^2 - L_2^2) \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \quad (1.7)$$

Donde: Δh - Desgaste lineal; L_1 y L_2 - longitud de la muesca antes y después del ensayo; r - radio de la cuchilla; R - radio de curvatura de la superficie estudiada.

A pesar de la existencia de los métodos de laboratorio anteriormente mencionados para determinar el desgaste a los elementos mecánicos de la industria, es difícil aplicarlos al estudio del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza, debido a la naturaleza de las muestras y el endurecimiento del material, teniendo como resultado la no correlación de esos resultados con los estudios realizados en el campo, debido a que las pérdidas de masa y volumen no son comparables, es decir los modelos de desgaste difieren.

Métodos experimentales:

Los métodos experimentales han alcanzado un notable desarrollo que va desde la realización de ensayos en condiciones de campo, hasta la creación de bancos de pruebas que permiten la determinación (cuantitativa y cualitativa) en condiciones controladas del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza. Estos estudios fundamentalmente han estado dirigidos a la búsqueda de materiales más resistentes al desgaste [13] [14] [15].

El propósito de cualquier método que se emplee para dicho estudio es cuantificar el material perdido de un elemento determinado. Este fenómeno generalmente se cuantifica midiendo la pérdida de material (en volumen, superficie o longitud) según el desplazamiento total relativo de las partículas entre los dos sólidos [1], aunque también se puede determinar conociendo la velocidad de desgaste del material en estudio [3] y [23].

En la (Fig. 1.11) se muestran algunos ejemplos de otros bancos fabricados para investigar este fenómeno. La creación de estos bancos se fundamenta en simular condiciones de trabajo y de desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza en laboratorio, lo más cercanas posible a las de campo. La mayoría de

los autores han utilizado los bancos rotacionales o depósitos circulares de suelos [2] [9] [12] [13] [14] [15].

Estos bancos rotacionales no se comercializan, por lo que en su mayoría han sido desarrollados en Centros de Investigaciones y Universidades donde se han llevado a cabo investigaciones relacionadas con el desgaste de los aperos de labranza [2] [9] [13] [14] [15].

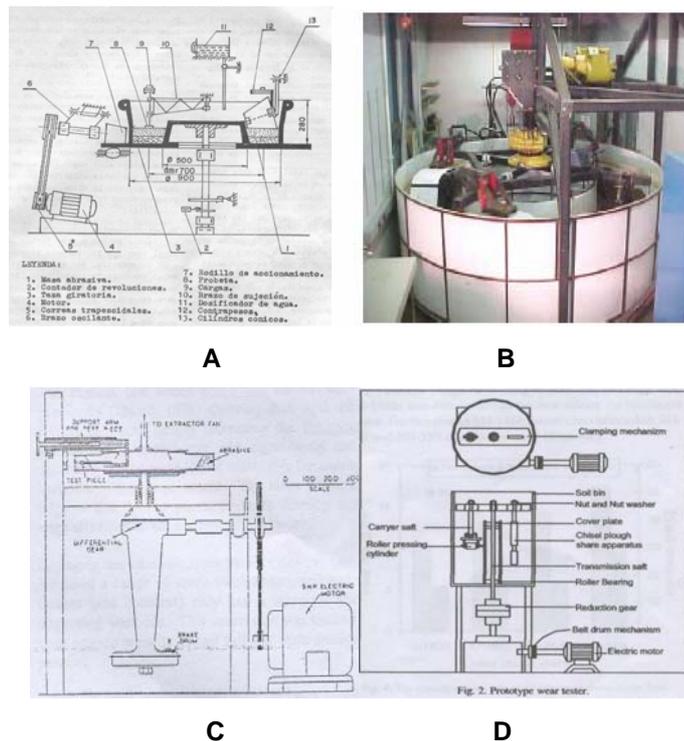


Fig. 1.11. Prototipos de Bancos rotacionales para investigar desgaste: A, [13]; B, [9]; C, [24]; D, [2].

Entre las características generales comunes que presentan estos bancos se encuentran que: la transmisión del movimiento se realiza a través de un motor eléctrico, la transmisión por cadenas en algunos casos, y en otros por correas. Estos bancos también tienen un rodillo compactador para garantizar un nivel constante de compactación del suelo, un depósito para el material abrasivo y un brazo o soporte para montar la reja objeto de estudio.

El principio de funcionamiento de estos bancos es un elemento que difiere en algunos casos. Están los bancos que el material abrasivo se mueve con respecto

a la herramienta de trabajo, y están los que la herramienta de trabajo se mueve con respecto al material abrasivo.

1.3. Objetivo, tareas de investigación y esquema lógico de su desarrollo.

Tomando en cuenta el estado actual del tema objeto de investigación se define que el **problema científico** a resolver es: Encontrar la vía de determinar en condiciones controladas el desgaste y la resistencia tractiva en órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo.

Objeto de investigación.

Banco Rotacional de Pruebas para la determinación del desgaste y la resistencia tractiva en órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo.

Hipótesis.

A través de la creación de bancos experimentales para la determinación del desgaste y la resistencia tractiva de órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo, es posible determinar los materiales idóneos en función de estas dos variables.

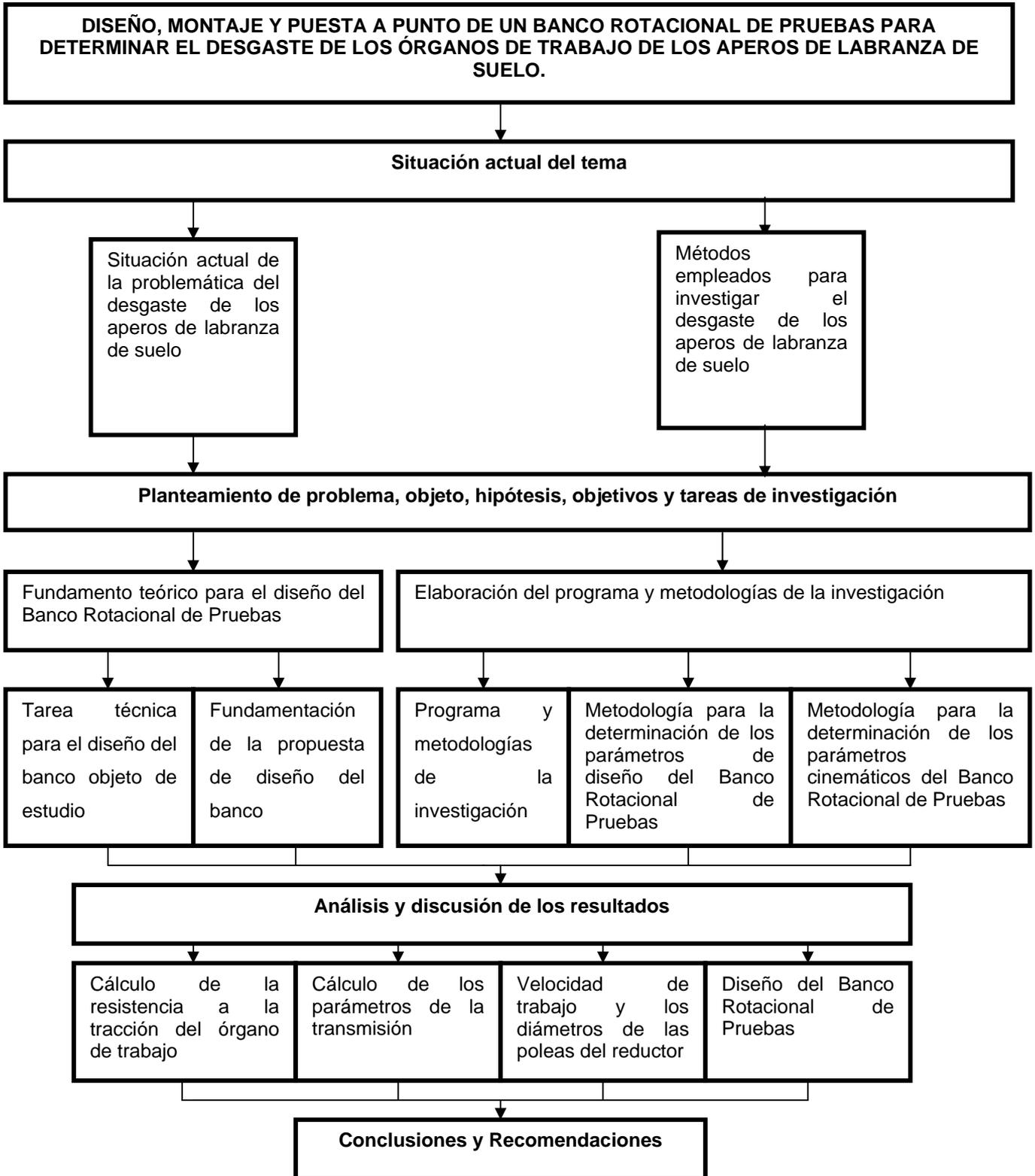
Objetivo:

Realizar el diseño, montaje y puesta a punto de un Banco Rotacional de Pruebas para determinar el desgaste y la resistencia tractiva de los órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo.

Para cumplimentar el objetivo planteado se ejecutarán las siguientes **tareas de investigación:**

- Realizar la tarea técnica del banco objeto de estudio;
- Determinar los parámetros de diseño y cinemáticas del banco objeto de estudio;
- Determinar la velocidad de trabajo del banco objeto de estudio;
- Realizar el diseño, montaje y puesta a punto del banco objeto de estudio.

Esquema lógico de la investigación.



CAPÍTULO II.

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DEL BANCO ROTACIONAL DE PRUEBAS

2.1. Fundamentación de la propuesta de diseño del banco.

El banco de pruebas para la determinación de la magnitud del desgaste de las herramientas de labranza (Fig. 2.1), consta de un depósito circular (16) que contiene el suelo o material abrasivo que gira interactuando con la herramienta de labranza (8), ocasionando el desgaste abrasivo de esta última. La herramienta de labranza se fija a la barra portaherramientas (9) por medio de brazo o soporte (12) que sirve además fijar un transductor ortogonal (11) que se emplea en el censado de los esfuerzos que actúan sobre la herramienta. De igual forma fijado a la barra portaherramientas se coloca el rodillo compactador (13) que tiene como función mantener el grado de densificación del suelo, además de garantizar la uniformidad de la profundidad de labranza.

El banco se caracteriza porque, el depósito de suelos (16) es intercambiable, por lo que puede ser reemplazado para favorecer la preparación, o el cambio de suelo o material abrasivo. La herramienta de labranza (8), que está dispuesta en ángulo con respecto a la dirección de avance del depósito de suelo con el objetivo de minimizar los efectos de desgaste no uniforme que origina el empuje lateral del suelo dada la forma circular del depósito, esta configuración permite minimizar los efectos de borde o empuje lateral de la herramienta de labranza. La colocación del rodillo compactador (13) paralelo al plano horizontal de la superficie del suelo (10), permite reducir el espacio físico y la cantidad de materiales requeridas para la construcción del banco.

El banco está conformado por un chasis o contenedor circular (15) que se fija al suelo por tres patas o soportes (1), y es accionado por un conjunto moto-reductor

(5 y 7) que transmite al mecanismo diferencial (3), que acciona el árbol que hace girar al depósito de suelo (16), posibilitando la interacción del suelo con la herramienta de labranza y de esta forma el desgaste de la herramienta.

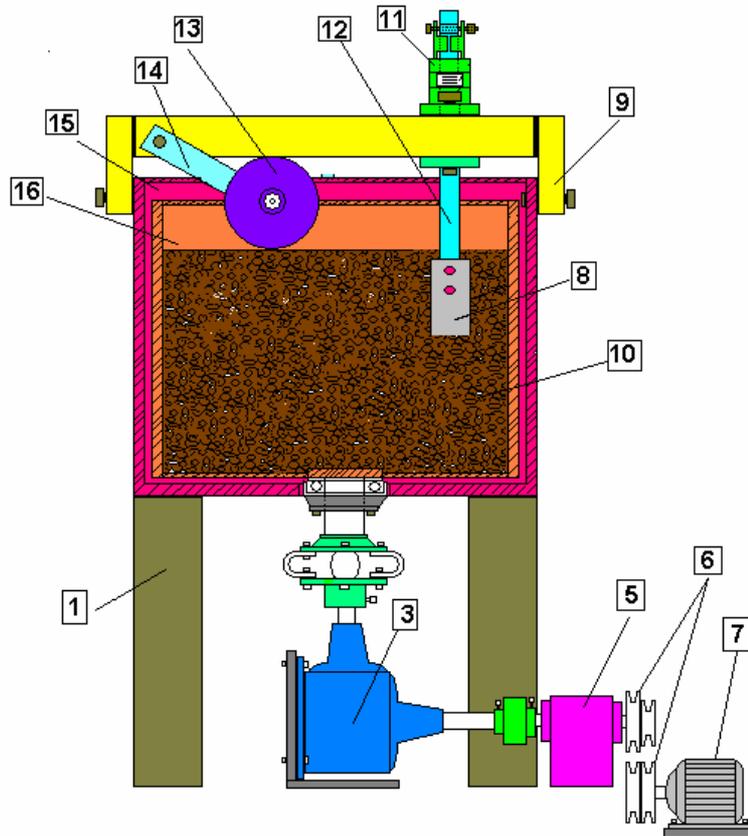


Fig. 2.1. Partes componentes del banco rotacional de pruebas.

2.2. Tarea técnica para el diseño del banco objeto de estudio.

Para la realización de la tarea técnica se procede según las normativas de la NC 02-01-01: 78 [21].

Denominación: Banco Rotacional de Pruebas para determinar la magnitud del desgaste de los aperos de labranza de suelo.

A partir de esta tarea técnica se pretende obtener un Banco Rotacional de Pruebas para determinar la resistencia tractiva y la magnitud del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza de suelo. Este equipo debe garantizar las siguientes actividades:

- Cumplir satisfactoriamente sus funciones;

- No causar daños mecánicos al suelo, por compactación, debido a que es un equipo estacionario;
- Reducir el consumo energético;
- Mejorar las condiciones de trabajo del investigador;
- Ensayar con cualquier tipo de suelo en condiciones controladas;
- Ensayar probetas de cualquier tipo de material;
- Usar cualquier tipo de fuente energética;
- Incrementar la productividad del trabajo en 90%;
- Posibilidad de variar la velocidad y profundidad de trabajo mediante cualquier método;
- Emplear cualquier dispositivo para medir las vueltas y la fuerza resultante en la superficie de la probeta; emplea cualquier dispositivo para compactar el suelo;
- Economizar el proceso de ensayo respecto a la tecnología tradicional;

Base para la elaboración.

La tarea es elaborada a partir de los resultados de las investigaciones realizadas por el Grupo de Investigación “Eficiencia de Máquinas y Sistemas de Máquinas para la labranza conservacionista” perteneciente al Dpto. de MPA, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la UCLV. De igual forma es un resultado del proyecto de investigación (Código B-27) auspiciado por el CITMA, y ejecutado por la UCLV con participación del CEMA, y que han demostrado que es posible obtener el prototipo deseado.

Objeto de la elaboración.

El objetivo fundamental es fabricar el prototipo de un Banco Rotacional de Pruebas para investigar el fenómeno de desgaste abrasivo en los aperos de labranza bajo las condiciones cubanas.

Fuentes para la elaboración.

Para la elaboración de esta tarea se utilizó como base la literatura técnica nacional y extranjera relacionada con el tema.

Requisitos técnicos.

Composición del artículo y requisitos para su proyecto

Partes del artículo:

- Depósito;
- Dispositivo para compactar el suelo;
- Probeta a ensayar;
- Soporte de la probeta;
- Fuente energética;
- Transmisión de movimiento;
- Dispositivo para registrar las vueltas del equipo;
- Dispositivo para registrar la fuerza que actúa sobre la probeta;
- Regulador de profundidad.

El **Depósito** debe construirse utilizando laminado metálico. Su función es almacenar el suelo que se empleará en el ensayo.

El **Dispositivo para compactar el suelo** puede fabricarse empleando cualquier tipo de material. Su función es apisonar o compactar el suelo luego del paso de la probeta de ensayo.

La construcción de la **Probeta a ensayar** está en dependencia del material que se desee ensayar. Su función es que mediante su interacción con el suelo se pueda determinar la pérdida de material y las tensiones que en ella actúan.

El **Soporte de la probeta** puede ser fabricado de cualquier material, siempre y cuando sea capaz de soportar las tensiones que actúan sobre la probeta.

La **Fuente energética** de este equipo puede ser un motor de combustión interna o eléctrica. Su función es darle movimiento al equipo.

La **Transmisión del movimiento** puede ser por correa o por cadenas.

El **Dispositivo para registrar las vueltas del equipo** puede ser de cualquier tipo.

El **Dispositivo para registrar la fuerza que actúa sobre la probeta** es un transductor de fuerza. Estos transductores pueden ser mecánicos y eléctricos.

El **Regulador de profundidad** es un dispositivo que puede ser fabricado de cualquier material. El mismo puede ser mecánico, electrónico, etc. Este dispositivo tiene la función de variar la profundidad de trabajo de la probeta.

Requisitos de fiabilidad.

El Banco Rotacional de Pruebas debe construirse de forma tal que sea factible dar mantenimiento a las partes componentes, además de garantizar la suficiente rigidez de los elementos del conjunto.

Requisitos tecnológicos.

El tambor exterior o soporte y el tambor interior o recipiente se fabricarán utilizando laminados, soldadura, oxicorte y elaboración mecánica.

Las patas o soporte del equipo se fabricarán utilizando laminados, soldadura, oxicorte y elaboración mecánica.

El rodillos compactador se fabricará utilizando laminados, soldadura, oxicorte y elaboración mecánica.

El soporte del rodillo compactador se fabricará utilizando laminados, soldadura, oxicorte y elaboración mecánica.

El soporte de la probeta se fabricará utilizando laminado y oxicorte, y elaboración mecánica.

Requisitos para los niveles de normalización.

Para la tornillería, rodamientos, cadenas, correa y laminados deben utilizarse elementos normalizados.

Requisitos de seguridad.

a)- Durante el montaje: Se debe tener como requisitos de seguridad las normas de protección e higiene del trabajo vigente para talleres de máquinas de herramientas y pailería.

b)- Durante la explotación: Debe tener la suficiente rigidez como para mantener la integridad de sus partes durante el funcionamiento de la máquina. Durante la manipulación de la máquina, tanto en el trabajo, como en el mantenimiento se debe tener presente las medidas de protección e higienes.

Requisitos estéticos.

La terminación del Banco Rotacional de Pruebas debe hacerse con la calidad y presencia que exige una producción de este tipo.

Requisitos para los elementos componentes del artículo, las materias primas y los materiales.

Para las piezas y partes de fabricación nacional se emplearán básicamente el surtido de materiales existentes en el país. En caso de que se necesite algún componente importado se eligen según los requisitos de fabricación. Todos deben resistir las condiciones de trabajo.

Condiciones de explotación.

La fase de explotación del Banco Rotacional de Pruebas será con suelos pesados y suelos ligeros, por lo que sus componentes deben ser resistentes a las condiciones de trabajo.

Requisitos para el transporte y almacenamiento.

El Banco Rotacional de Pruebas para su transporte requiere el desmontaje del mecanismo de transmisión del movimiento. Por otro lado, se necesita un trailer para realizar su traslado.

Para el almacenamiento de este equipo se necesita dar mantenimiento y conservación a las piezas que lo requieran para evitar su corrosión.

Índices económicos.

El banco de pruebas debe tener una vida útil no menor de 10 años, y su amortización se efectuará en tres años de explotación.

Ventajas.

En la actualidad se considera que estos bancos de pruebas constituyen una de las mejores herramientas para realizar estudios experimentales de desgaste y resistencia a la tracción de los aperos empleados en la labranza de suelo. Esto se debe a:

- Este equipo incrementa la productividad del trabajo en un 90 % con relación a los métodos tradicionales.
- Permite realizar ensayos en condiciones controladas.
- Se puede ensayar cualquier tipo de suelo y de material.
- Con el empleo de este equipo se mejoran en un 90 % las condiciones de trabajo del investigador.

»Capítulo II. Fundamento teórico...

- Con este equipo se evita la pérdida de tiempo que se origina a través de las condiciones adversas del tiempo (precipitaciones, ciclones, etc.).
- El consumo de energía es mucho menor que con el método tradicional, ya que usa motor eléctrico.
- Se pueden estudiar nuevos materiales para la fabricación de los órganos de trabajo de los implementos usados en las labores agrícolas.
- Este equipo puede ser exportado.

CAPÍTULO III. PROGRAMA Y METODOLOGÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Programa de la investigación.

Las investigaciones se desarrollaron en tres etapas. La primera etapa comprendió la confección de la tarea técnica para el diseño del banco objeto de estudio. La segunda etapa comprendió la determinación de los parámetros de diseño y cinemáticos del banco objeto de estudio. La tercera etapa consistió en el diseño, montaje y puesta a punto del Banco Rotacional de Pruebas.

En la (tabla 3.1) se muestra el programa de investigación, donde se establece el objeto de estudio, orden de ejecución de los aspectos analizados y el lugar de realización de cada tarea. Dichas investigaciones se realizaron en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2009.

Tabla 3.1. Programa de la investigación.

Tarea N°	Objeto de estudio	Aspectos analizar	Lugar
1	Tarea técnica para el diseño del banco objeto de estudio	Requisitos para el diseño del banco	•Laboratorio de computación de estudiantes de las Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV.
2	Parámetros de diseño y cinemáticos del banco objeto de estudio	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia tractiva de órgano de trabajo;• Selección de la fuente energética requerida para accionar el Banco Rotacional de Pruebas;• Velocidad de trabajo del banco objeto de estudio.	•Laboratorio de computación de estudiantes de las Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV.
3	Banco de pruebas	<ul style="list-style-type: none">• Diseño;• Montaje y puesta a punto del banco.	•Laboratorio de computación de estudiantes de las Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV. •Taller de maquinaria de la UCLV.

3.2. Metodología para la determinación de los parámetros de diseño del Banco Rotacional de Pruebas.

La fase de cálculo se realizó en los laboratorios de computación de estudiantes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, mediante el empleo del software profesional MathCad (versión 14)

Determinación de la resistencia a la tracción del órgano de trabajo.

La resistencia a la tracción de un órgano de trabajo se determina según [25], como:

$$P_x = B \times q + \mu \times Q_z \quad (3.1)$$

Donde: P_x -resistencia a la tracción del apero, N;

B -ancho de trabajo, m;

q -resistencia específica de tracción, N/m;

μ -coeficiente de resistencia a la rodadura, adimensional;

Q_z -carga vertical en la rueda del apero, N.

El término que refiere la resistencia a la rodadura del órgano se hace necesario tener en cuenta por la presencia en el banco de pruebas de un rodillo compactador para incrementar el grado de compactación o densificación del suelo. Tomando como base para el cálculo las condiciones de trabajo más difíciles ($a=0,20$ m; $q=480$ kg/m) y un ancho de trabajo de $0,15$ m.

Selección de la fuente energética requerida para accionar el Banco Rotacional de Pruebas.

La selección de la fuente energética parte del cálculo de la potencia necesaria para transmitir el movimiento de rotación al depósito de suelo. Para determinar dicha potencia se recurrió a la siguiente ecuación:

$$N_d = M_{td} \times n_{s_diferencial} \quad (3.2)$$

Donde: N_d -Potencia requerida para accionar el depósito de suelo, kW;

M_{td} -Momento tórsor requerido para transmitir el movimiento rotatorio al banco, Nm;

$n_{s_diferencial}$ - revoluciones del diferencial, rpm.

El momento torsor M_{td} estará en función de las dimensiones del depósito de suelo, así como de las características del suelo o material abrasivo, calculándose como:

$$M_{td} = P \cdot \frac{D}{2} \quad (3.3)$$

Donde: P-fuerza actuante sobre el árbol que acciona el árbol, N;

D-diámetro del árbol que acciona el depósito de suelo, m.

La fuerza que ocasiona el momento torsor (P) se determina, como:

$$P = G_s + G_d \quad (3.4)$$

Donde: G_s -Peso del suelo o material abrasivo, N;

G_d -Peso del depósito de suelo, N.

El peso del suelo y del depósito se calcula mediante las siguientes expresiones:

$$G_s = \gamma_s \cdot V_s \quad (3.5)$$

$$G_d = \gamma_d \cdot V_d \quad (3.6)$$

Donde: γ_s -densidad del suelo o abrasivo, N/m³;

γ_d - densidad del material del depósito, N/m³.

V_s -volumen del suelo, m³;

V_d -volumen del suelo, m³.

Finalmente se calcula la eficiencia en la transmisión, para determinar la potencia requerida por la fuente energética. La potencia requerida por la fuente energética se calcula, como:

$$N_m = \frac{M_{tr} \cdot n_{e_red}}{9750} \quad (3.7)$$

Donde: M_{tr} -Momento requerido a la entrada del reductor, Nm;

n_{e_red} - revoluciones requeridas a la entrada del reductor, rpm.

3.3. Metodología para la determinación de los parámetros cinemáticos del Banco Rotacional de Pruebas.

Metodología para la determinación de la velocidad de trabajo del Banco Rotacional de Pruebas.

La velocidad de rotación del Banco Rotacional de Pruebas se estimó a partir de las velocidades de trabajo que se emplean para la ejecución de las labores de preparación de suelos (roturación, subsolado, cultivo) según las fuentes energéticas más empleadas en la actualidad, o sea desde 2 a 7 km/h. Una vez definidas las velocidades de trabajo del banco de pruebas se define las revoluciones del depósito de suelos, como:

$$n_d = \frac{30 \cdot V_p}{\pi \cdot r} \quad (3.8)$$

Donde: n_d -revoluciones del depósito de suelos, rpm;

V_p -velocidad periférica del depósito de suelos, m/s;

r -radio del depósito de suelo, m.

Asumiendo que el banco de pruebas debe ser capaz de trabajar en un rango de velocidades coincidentes con las empleadas o normadas para la realización de las labores de preparación de suelos, se define que la velocidad periférica del banco de pruebas oscile de 2 a 7 Km/h (0,55 a 1,94 m/s). De igual forma se asume el radio del depósito de suelo igual a 0,95 m, por lo que finalmente se debe garantizar que las revoluciones del depósito oscile entre 0,55 a 23,20 s^{-1} .

El cálculo de este parámetro se desarrolló con el auxilio del análisis cinemático que se presenta en la (Fig. 3.2), a partir de los datos que se muestran en la (tabla 3.2).

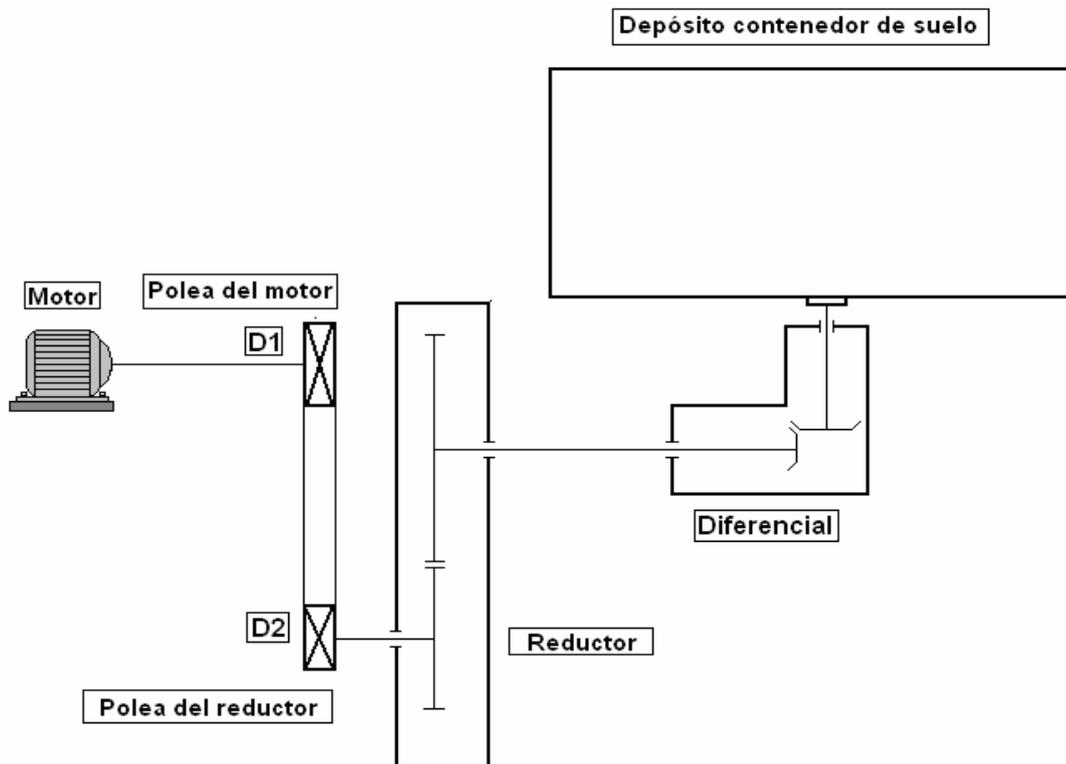


Fig. 3.2. Esquema cinemático del banco rotacional de pruebas

Tabla 3.2. Datos empleados para determinar las velocidades de trabajo de los ensayos.

Variables	D1 (mm)	D2 (mm)	n_s_m (rpm)	Dd (mm)
Valores	207,5	200	1054	950

La metódica seguida para el cálculo de la velocidad de trabajo se compone de los siguientes pasos:

1. Cálculo de la relación de transmisión entre el motor y el reductor:

$$U_{co} = \frac{D1}{D2} \quad (3.9)$$

Donde: U_{co} - relación de transmisión de la transmisión por correa (motor y reductor);

$D1$ - diámetro de la polea del motor, mm;

$D2$ - diámetro de la polea del primer reductor, mm.

2. Cálculo de las revoluciones del árbol de entrada del reductor:

$$n_{e_red} = n_{s_m} \cdot U_{co} \quad (3.10)$$

Donde: n_{e_red} - revoluciones del árbol de entrada del reductor, rpm;

n_{s_m} – revoluciones del motor, rpm;

U_{co} - relación de transmisión de la transmisión por correa.

3. Cálculo de la relación de transmisión en el reductor:

$$U_{red} = \frac{N_{Vueltas_E}}{N_{Vueltas_S}} \quad (3.11)$$

Donde: U_{red} - relación de transmisión que posee el reductor;

$N_{Vueltas_E}$ - cantidad de vueltas del árbol de entrada del reductor;

$N_{Vueltas_S}$ - cantidad de vueltas del árbol de salida del reductor.

4. Cálculo de la relación de transmisión en el diferencial:

$$U_{diferencial} = \frac{N_{Vueltas_E}}{N_{Vueltas_S}} \quad (3.12)$$

Donde: $U_{diferencial}$ - es la relación de transmisión que posee el diferencial;

$N_{Vueltas_E}$ - cantidad de vueltas del árbol de entrada del diferencial;

$N_{Vueltas_S}$ - cantidad de vueltas del árbol de salida del diferencial.

5. Cálculo de las revoluciones del árbol de salida del reductor:

$$n_{s_red} = \frac{n_{e_red}}{U_{red}} \quad (3.13)$$

Donde: n_{s_red} – revoluciones del árbol de salida del reductor, rpm;

n_{e_red} – revoluciones del árbol de entrada del reductor, rpm.

6. Cálculo de las revoluciones del árbol de salida del diferencial:

$$n_{s_diferencial} = \frac{n_{e_diferencial}}{U_{diferencial}} \quad (3.14)$$

Donde: $n_{s_diferencial}$ - revoluciones del árbol de salida del diferencial, rpm;

$n_{e_diferencial}$ - revoluciones del árbol de entrada del diferencial, rpm.

7. Cálculo de la velocidad periférica del banco:

$$V1 = \frac{\pi \cdot Dd \cdot n_{s_diferencial}}{1000} \quad (3.15)$$

Donde: $V1$ - velocidad periférica del banco rotacional, m/s;

Dd - diámetro del depósito de suelo del banco rotacional, mm.

Metodología para incrementar la velocidad de trabajo del Banco Rotacional de Pruebas.

El incremento de la velocidad de trabajo del Banco Rotacional de Pruebas parte de la necesidad de obtener valores de velocidad superiores a los 2,6 km/h que inicialmente poseía el banco luego de su fabricación, y que los mismos estén cercanos a los 7 km/h, valores que se encuentra entre los máximos con que se realizan las labores de labranza de suelo.

Como paso previo a esta tarea, se definen valores de velocidad en el rango comprendido entre los mencionados con anterioridad, con los cuales se realizan los cálculos de esta variable, para lo cual se aplicó de forma inversa la metodología de cálculo anteriormente descrita. Se definen los valores de velocidad comprendida entre 2 y 7 km/h, y se obtuvo las dimensiones de los diámetros de las poleas, y se seleccionó la que proporcionan mejores posibilidades de fabricación.

CAPÍTULO IV.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados del cálculo de la resistencia a la tracción del órgano de trabajo.

Tomando en cuenta las condiciones de trabajo establecidas, la resistencia máxima tomará valores de 94,14 N.

4.2. Resultados del cálculo de los parámetros de la transmisión.

En la (tabla 4.1) se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de los parámetros de diseño para seleccionar la fuente energética del Banco Rotacional de Pruebas.

Tabla 4.1. Parámetros de la transmisión.

Escalón	n _e ; rpm	n _s ; rpm	η_t	Ne; kW	Ns; kW
Depósito	14,07	-	-	2,33	-
Diferencial	35,99	14,07	0,94	2,47	2,33
Reductor	2762	35,99	0,92	2,63	2,47
Transmisión por correa	1054	2762	0,94	2,80	2,63
Motor		1054			2,80

4.3. Resultados del cálculo de la velocidad de trabajo y los diámetros de las poleas del reductor.

En la (tabla 4.2) se muestran los rangos de valores de los diámetros de las poleas y la velocidad de trabajo obtenidos mediante la metodología de cálculo seguida.

La velocidad de trabajo del banco ($V_1 = 2$ km/h) se calculó para los diámetros de la polea del motor ($D_1 = 204,7$ mm) y la polea del reductor ($D_2 = 78,1$ mm), y la velocidad ($V_2 = 4$ km/h) para los diámetros de la polea del motor ($D_1 = 204,7$ mm) y la polea del reductor ($D_3 = 46$ mm).

Tabla 4.2. Rangos de valores del diámetro de las poleas y velocidad de trabajo del banco.

Escalones de velocidad	Parámetros						
	D1 (mm.)	D2 (mm.)	D3 (mm.)	D4 (mm.)	V1 (km/h)	V2 (km/h)	V3 (km/h)
1	204,7	78,1	---	---	2,6	---	---
2	204,7	---	46	---	---	4	---

Diseño de las poleas del reductor.

Las poleas del reductor se diseñaron mediante el empleo del Software SolidWorks 2006 (versión SP0.0) a partir de los cálculos realizados anteriormente.

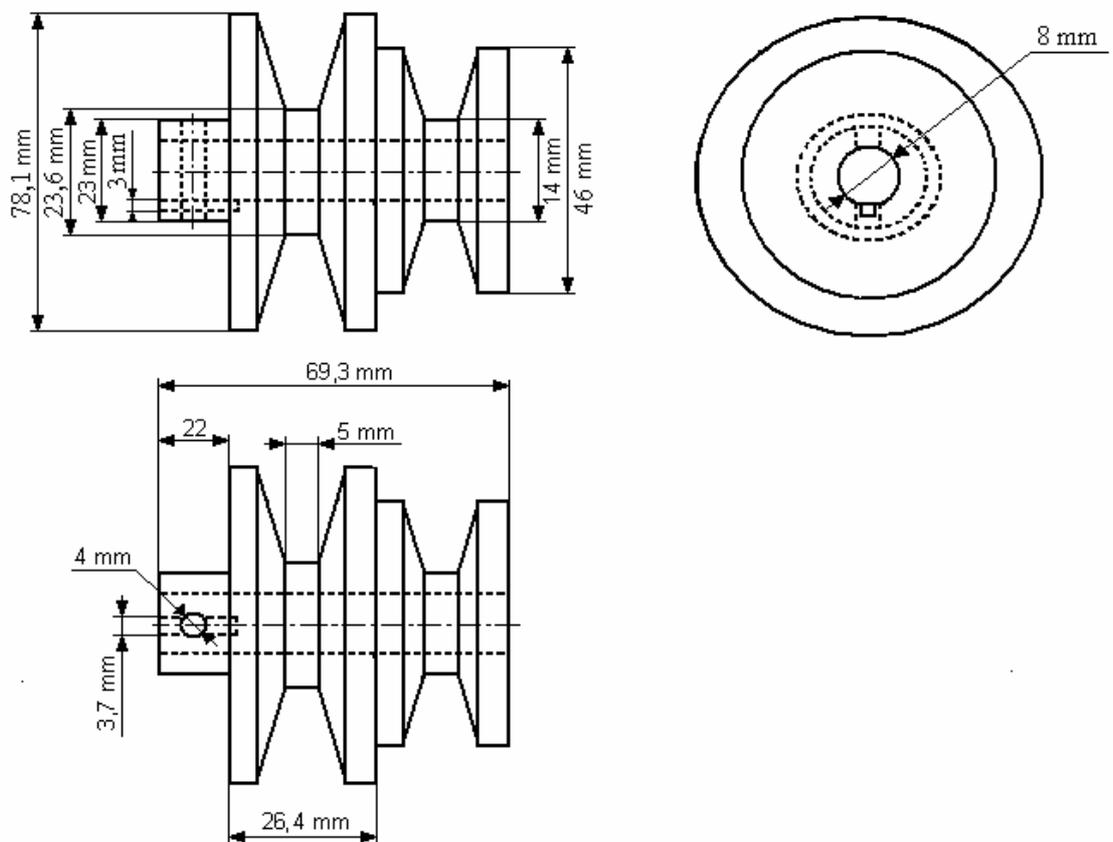


Fig. 4.1. Diseño de las poleas del reductor.

4.4. Resultados del diseño del Banco Rotacional de Pruebas.

En la (Fig. 4.2) se muestran las dimensiones del Banco Rotacional de Pruebas.

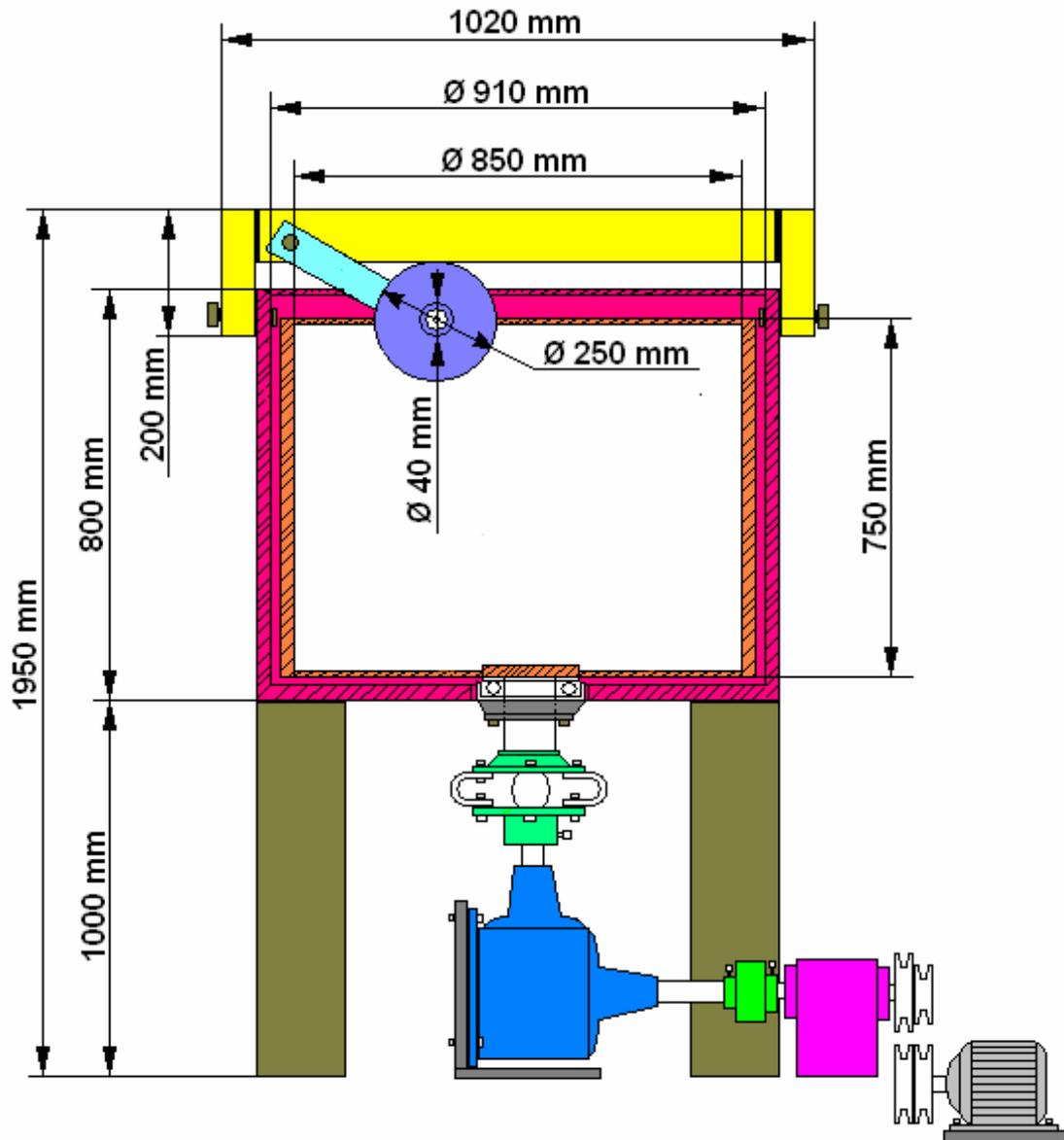


Fig. 4.2. Diseño del banco rotacional.

CONCLUSIONES.

Después de analizados los resultados se arriba a las siguientes conclusiones:

1. La confección de la tarea técnica permitió conocer los requisitos fundamentales para el diseño y construcción del Banco Rotacional de Pruebas;
2. Los cálculos realizados permitieron la determinación de los diferentes parámetros constructivos y cinemáticos de un banco de pruebas; así como, de las dimensiones de las poleas del reductor para incrementar la velocidad de trabajo;
3. El Banco Rotacional de Pruebas permite la realización del estudio del desgaste de los órganos de trabajo de los aperos de labranza, en condiciones controladas de: velocidad de trabajo, humedad y dureza del suelo, condiciones ambientales, entre otras.

RECOMENDACIONES.

Tomando en cuenta las conclusiones de este trabajo se propone la siguiente recomendación:

1. Se recomienda pasar a la fase de explotación de este banco realizando experimentos de desgaste para dar cumplimiento a un Trabajo de Diploma.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Barajas, M. O. (1995). Medición del desgaste de materiales mediante el método pin on disk.
2. Bayhan, Y., (2006). Reduction of wear vía hardfacing of chiesel ploughshare. *Tribology International*, vol. 39, p. 570-574.
3. Botta, G. (2003). Licenciatura en negocios agropecuarios. Guía de clases Maquinaria agrícola (primer semestre). <http://www.agro.unlpam.edu.ar/catedras/maquinariaagricola/ManualLic..pdf>
4. Caballero, M. A. (2002). Determinación de la cantidad de mantenimientos técnicos de las máquinas cosechadoras de arroz new holland 1 520. <http://www.ilustrados.com/documentos/arrozmanten.doc>.
5. Casal, O. R. R. (1997). Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos de trabajo de las máquinas agrícolas en Cuba. <http://www.Monografías.Com>.
6. Crespo, A. R. Usano, (1994). Process Distributed Maintenance Engineering: An Approach for Quality Maintenance in Lean Production. 27th ISATA. Aachen, Alemania,
7. Fielke, M. J., T. W. Riley, M. G. Statterry, R. W. Fitzpatrick, (1990). Comparación o tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivador shares. *Soil & Tillage Research*, 25 (1993) 317-328. Elsevier Sciene publishers B. V., Ámsterdam.
8. Furlanetto, L. (1994). El Papel Estratégico del mantenimiento en la Fábrica Ágil. I Jornada Técnica Mantenimiento Industrial. ESI Sevilla.
9. Graff, L. J.; Roberge, R. C. y Crowe, T. G., (2007). *Wear of ripper point hardsurfacing*. En *2007 ASABE/CSBE North Central Intersectional Conference*. North Dakota State University. Fargo, North Dakota, USA.

10. Hernánz, M. J. L., (2006): Balance de energía en los sistemas de laboreo (1)
<http://www.terralia.com/proyectoWeb/articulo.php?recordID=5504>
11. Herrera, S. M. (2004). Proyecto de investigación: Estudio de nuevos materiales para la construcción de órganos de trabajo empleados en la labranza de suelos abrasivos. B-27. CITMA.
12. Kushwaha, R. L., Shi J., (1991). Investigation of wear of agricultural tillage tools. J Soc Tribol Lubr Eng.
13. Martínez, P. F. y Rodríguez, V. G (1987). Vías para incrementar la vida útil de los elementos de máquinas agrícolas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, , vol. 1, nº 1, p. 10-16.
14. Martínez, F. y Rodríguez, V. G. (1985): Desgaste abrasivo en suelos cubanos. *Revista de Construcción de Maquinaria*. No. 2.
15. Martínez, P. F. y Rodríguez, V. G. (1988). *El desgaste abrasivo de los suelos*. Editado por: Ispjae. Ciudad de la Habana. 36 p. Monografía.
16. Martos, H. L. J. (2006). Balance de energía en los sistemas de laboreo (1). Dpto. Ingeniería Forestal. U.P. Madrid.
<http://www.terralia.com/proyectoWeb/articulo.php?recordID=5504>
17. Miranda, C. A. (2002). Determinación de la estructura óptima del parque de maquinarias en la granja arrocera "Cubanacán", en la provincia de Pinar del Río. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, volumen 11, No. 4. Cuba.
18. Moore, M. A. (1975). The abrasive wear resistance of surface coatings. *J Agric Eng Res*; 20: pp.167–79.
19. Nápoles, M. A., C. C. Alemany, T. J. A. González, P. J. Vélez, S. O. Díaz, (1992). Características Edafológicas de Cuba. Dirección nacional de suelos. Editorial Científico – Técnica. Ciudad de la Habana. pp. 15–92.
20. Natsis, A. G. Papadakis, J. Pitsilis, (1999). The influence of soil type, soil water and share sharpness of a mouldboard plough on energy consumption, rate of work and tillage quality. *J Agric Eng Res*; 72: pp. 171–6.
21. NC 01-02-01: (1978). Sistema Único de Documentación de Proyectos. Tarea Técnica.

»Bibliografía...

22. Ochoa C. R. R., I. M. Sacarás, (1999). Aspectos teóricos sobre el desgaste abrasivo en los elementos de trabajo de las maquinas agrícolas en cuba. Universidad de Granma. Cuba.
23. Oñate, E. J. Miquel, J. Rojek, F. Zarate, C. A. Recarey, S. Burrel, (2001). Simulación de problemas de desgaste, en la interacción herramienta de corte terreno, empleando el método de los elementos discretos.
24. Quick, G. R. (1978). Tillage tool wear – some governing factors, measuring techniques and materials for wear resistance. Head Agricultural Engineering Department International Rice Research Institute Philippines.
25. Silveira, R. J. A. (1980). Máquinas Agrícolas. Primera Parte. 2da Edición. La Habana. Editorial Pueblo y Educación. p.1-45.