

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**Diseño de un Banco de Pruebas para Discos de Arado
(Etapa de especificaciones)**

Por:

FILEMON NÚÑEZ CASTELLANOS

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:
INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN
MAQUINARIA AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2002

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Diseño de un Banco de Pruebas para Discos de Arado
(Etapa de especificaciones)**

Por:

FILEMON NÚÑEZ CASTELLANOS

TESIS

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN
MAQUINARIA AGRICOLA**

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor principal

Ing. Juan Arredondo Valdés

Sinodal

Sinodal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Dr. Martín Cadena Zapata

Coordinador de la División de Ingeniería

ING. LUIS E. RAMÍREZ RAMOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Noviembre de 2002

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Sra. Amelia Castellanos Ibáñez

Te agradezco madre por el gran amor que en todo momento he recibido de ti, por tus cuidados y preocupaciones por que sin importar las decisiones que he tomado en la vida siempre has confiado en mi y me has apoyado te dedico este trabajo con todo mi amor y cariño

Sr. Pablo Núñez Robles

Gracias padre por el ejemplo de trabajo, honradez y disciplina que siempre inculcaste en mi y en mis hermanos, por tus preocupaciones por ayudarnos a lograr nuestras metas.

A mis hermanos

**Jesús
Sandra
Olivia**

Gracias hermanos por que aunque por un largo tiempo hemos por estado físicamente alejados, siempre han estado en mi corazón y me han hecho sentir que yo estoy en el suyo

A La Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”

Por permitirme alcanzar una meta tan importante en la vida, siempre estaré en deuda por todo lo que la Universidad me ha dado

A todos mis profesores

Que sin su ayuda, dedicación, y consejos no habría logrado, culminar mis estudios profesionales.

Agradezco especialmente a mis asesores de tesis

Ingeniero Juan Arredondo Valdés. Por la ayuda y confianza que deposito en mi al permitirme participar en este proyecto.

Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña. Por sus valiosos consejos y recomendaciones, durante el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Martín Cadena Zapata. Por su apoyo y recomendaciones en la realización de este trabajo.

A mis amigos y familiares.

A quienes debo agradecer su amistad y su ayuda

RESUMEN

A finales de 1995 el Programa de Mecanización de Alianza para el Campo nace como respuesta a la necesidad de cubrir amplias áreas del país con maquinaria y equipo agrícola para ello el gobierno otorga subsidios a los productores agrícolas para adquirir dicha maquinaria.

El gobierno a su vez esta promoviendo un programa de certificación de maquinaria y equipo agrícola con la finalidad de aportar los subsidios solo para adquirir maquinaria y equipo que cumpla con un mínimo nivel de calidad. Para ello el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) elabora normas para la certificación de dicha maquinaria.

El Manual de Pruebas y Evaluación de Arados de Discos recientemente liberado (Octubre 2002), establece los procedimientos de evaluación y prueba , para verificar el nivel de calidad de arados de discos.

El diseño del banco de pruebas para arados de discos nace de la necesidad de reducir costos y tiempo en la verificación de la calidad de arados de discos, este equipo permitirá sustituir algunas de las pruebas realizadas de acuerdo a los procedimientos del manual de evaluación de arados principalmente en lo que se refiere a la estimación de la durabilidad de los discos agrícolas, para ello se a desarrollado el diseño conceptual de un banco de pruebas que permita estimar el desgaste que sufren los discos agrícola por efecto de las fuerzas abrasivas del suelo.

El banco cuenta con un brazo porta-discos capaz de sujetar un disco, que gira alrededor de su propio eje, un mecanismo de resorte y palancas permite aplicar una carga entre el filo del disco y un rodillo de desgaste, el rodillo que se encuentra a su vez girando en dirección opuesta al disco provoca que material del disco sea desprendido por las fuerzas abrasivas del rodillo.

Bajo condiciones controladas (velocidad de giro, cargas aplicadas, par de torsión, características del material abrasivo, número de ciclos, área de desgaste, temperatura) y con el uso de equipo de precisión se determina el volumen de desgaste y se estima el tiempo de vida útil del disco, este trabajo es una primera propuesta que aporta las especificaciones para un banco de pruebas para definir las especificaciones del diseño final habrá que continuar con estudios posteriores.

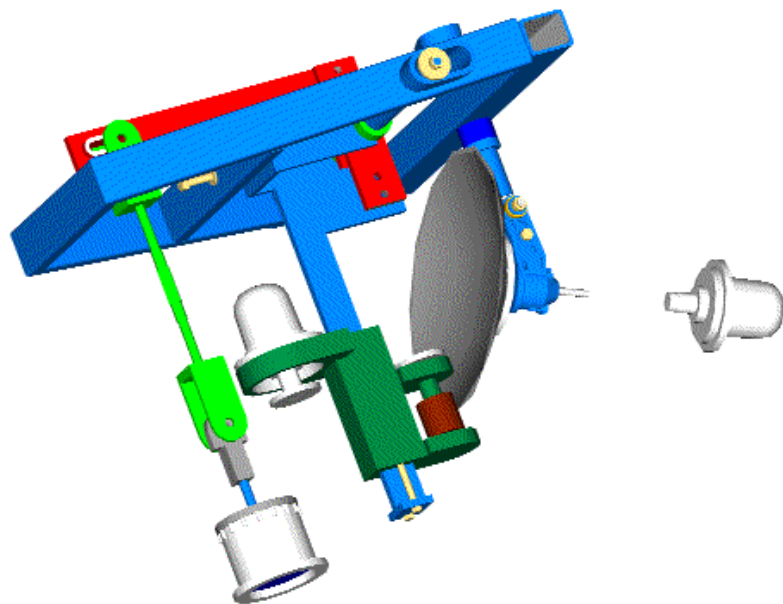


Fig. 1 Detalle de los componentes principales del banco de pruebas (ver plano **BP013**)

DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DISCOS DE ARADO
(Etapa de especificaciones)

CONTENIDO

CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 La agricultura y la globalización de la economía.	1
1.2 El papel del Ingeniero Mecánico Agrícola en el desarrollo agrícola nacional	4
1.3 Antecedentes del proyecto.	6
CAPITULO II ALCANCES Y LIMITACIONES	9
CAPITULO III OBJETIVOS	11
3.1 Objetivo general.	11
3.2 Objetivos específicos.	11
CAPITULO IV HIPÓTESIS.	11
CAPITULO V MARCO TEÓRICO.. . . .	12
5.1 La norma mexicana de arados y rastras de discos.	12
5.1.1 Pruebas de operación continua.	12
5.1.1.1 Duración de la prueba.	13
5.1.1.2 Material de prueba.	13
5.1.1.3 Puntos de observación durante la prueba	13
5.1.2 Prueba de durabilidad	13
5.1.2.1 Puntos de observación y o registro durante la Prueba	13
5.2 La norma mexicana –implemento- Discos para mover tierras.	14
5.2.1 Clasificación	14
5.2.2 Definiciones.	15
5.2.3 Especificaciones.	15
5.2.3.1 Composición química	15
5.2.3.2 Dimensiones.	16
5.2.4.3 Dureza	17
5.3 Norma ASTM G 99 Método de prueba estándar para pruebas de desgaste con un aparato de perno sobre disco.	17
5.3.1 Alcances	17
5.3.2 Resumen del método de prueba.	17

5.4	Norma ASTM G 65 Método de prueba estándar para mediciones de abrasión usando el equipo rueda de caucho / arena seca	19
	5.4.1 Alcances	19
	5.4.2 Resumen del método de prueba	20
5.5	Norma ASTM G115 Guía para la medición y reporte de coeficientes de fricción.	22
	5.5.1 Alcances	22
	5.5.2 Resumen de la guía	23
5.6	Mecánica de los materiales	23
	5.6.1 Resistencia de materiales	24
	5.6.2 Cargas externas	24
	5.6.6 Ecuaciones de equilibrio	24
	5.6.7 Cargas internas resultantes.	25
	5.6.8 Fuerzas componentes	25
	5.6.9 Esfuerzo normal	26
	5.6.10 Esfuerzo cortante	26
	5.6.11 Estado general de esfuerzos	26
5.7	Discos para implementos	27
	5.7.1 Fuerzas actuantes sobre una herramienta o implemento de labranza	27
	5.7.2 Discos para implementos	28
	5.7.2.1 Representación de fuerzas para una hoja de disco	29
	5.7.3 Arados de disco estándar	30
	5.7.4 Reacciones del suelo sobre los arados de disco	32
5.8	La cinemática de los discos agrícolas	35
	5.8.1 Formas de movimiento de los discos agrícolas.	37
5.9	Dinamómetro para medir fuerzas y momentos en implementos de labranza	38
5.10	Desgaste y erosión	40
	5.10.1 Desgaste	40
	5.10.3 Desgaste por adherencia	42
	5.10.4 Desgaste abrasivo	43
	5.10.2 Desgaste en los discos	44
5.11	Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas	44
	5.11.1 Compactación	44
	5.11.2 Estados de consistencia	45
	5.11.3 Cohesión	45
	5.11.4 Rozamiento interno	45
	5.11.5 Adherencia y fricción metal suelo.	46
	5.11.6 Resistencia a la penetración	47

CAPITULO VI	MARCO METODOLOGICO	49
6.1	El proceso de diseño	49
6.2	Desarrollo de especificaciones / planeación.	50
6.2.1	Comprensión del problema	50
6.2.1.1	Necesidad	50
6.2.1.2	La necesidad del diseño del banco de Pruebas	51
6.2.2	Establecimiento del equipo	51
6.2.2.1	El equipo del banco de pruebas	53
6.2.3	Planeación de la etapa desarrollo de especificaciones	54
6.3	Documentación e información	59
6.3.1	Mercados	59
6.3.2	Documentación	60
6.3.3	Toma de datos	60
6.4	Cálculos y diseños detallados	61
6.5	Documentación del proyecto	61
CAPITULO VII	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	62
7.1	Comprensión del problema de diseño	62
7.2	Desarrollo de las especificaciones de diseño	65
7.3	Caracterización de los discos agrícolas	66
7.3.1	Geometría	66
7.3.2	Composición química	67
7.3.3	Dureza y acabado	68
7.4	Geometría del cuerpo de arado	68
7.5	Caracterización de la cinemática del disco de trabajo	70
7.6	Magnitudes y direcciones de las fuerzas involucradas en los procesos de abrasión y desgaste disco-suelo	75
7.7	Las características abrasivas de los suelos agrícolas	78
7.8	Materiales abrasivos	80
CAPITULO VIII	RESULTADOS	81
CAPITULO IX	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA		89
ANEXOS		91
A.	Definiciones Agrotécnicas	92
B.	Propiedades Mecánicas de los Suelos Agrícolas	96
C.	Documentos de referencia de las normas ASTM	107

I. INTRODUCCIÓN

1.1 La agricultura y la globalización de la economía.

El presente trabajo nace de la inquietud de participar en el nuevo enfoque que desde hace algunos años el departamento de Maquinaria Agrícola ha estado promoviendo con el afán de integrar cada vez mas a los estudiantes de la especialidad de ingeniero Mecánico Agrícola a la nueva realidad que vive nuestro país y el mundo entero.

(Ramírez, 1998) señala lo siguiente, “A partir de los noventas las naciones del mundo se ven inmersas en la globalización de la economía internacional, se establecen convenios entre países, conformándose bloques económicos como los de Asia, la Comunidad Europea y los países de Norteamérica a través del Tratado de Libre comercio signado en 1994. Así, mientras en el bloque Asiático y la Comunidad Europea se fortalece la economía y se avanza en ramas como la industria y la comercialización; en nuestro país con el TLC no sucede lo mismo ya que si observamos en lo particular del ámbito agropecuario este tratado ha propiciado vicios y actuaciones de “dumping” principalmente de los Estados Unidos que han venido afectando el mercado de nuestros productos del campo en condiciones desventajosas”.

Es cierto que en lo que se refiere al ámbito agropecuario la situación en la que los agricultores mexicanos compiten con los Estados Unidos y Canadá tiene grandes desventajas, entre otras cosas porque mientras que los agricultores de estos países reciben grandes subsidios, en México el apoyo al campo es insuficiente, sin embargo, en términos generales el TLC ha influido favorablemente en la economía del país.

En los últimos años y gracias a la apertura comercial en todo el mundo y en particular con el tratado de libre comercio entre México, EUA y Canadá, la cantidad de productos de todo tipo que México intercambia con estos y otros países incluida la Comunidad Europea, y los países Asiáticos, ha crecido de forma significativa, en la actualidad México junto con Brasil son los países que tienen el mayor volumen de exportaciones de productos manufacturados en América Latina, y muy atrás de ellos se encuentran países como Chile y Argentina, esto ha sido posible gracias a la integración de México a los modernos sistemas de producción, empleando las técnicas y metodologías que por un lado aseguren la calidad de estos productos, pero que además tengan costos de producción competitivos, de manera que los productos mexicanos puedan ser vendidos en cualquier lugar del mundo. El área de diseño y fabricación de maquinaria y equipo agrícola desde luego no

esta al margen de estas exigencias.

Por otra parte la apertura comercial de productos agropecuarios entre los países de Norteamérica esta muy próxima -enero 2003-, sin embargo, el agro mexicano no esta por mucho preparado para competir con los agricultores de Canadá y Estados Unidos, en México existen muchos factores que impiden que sus productos agrícolas compitan con los de estos y otros países, los aspectos económicos, culturales, sociales, la falta de tecnificación y la baja productividad afectan en mayor o menor grado la comercialización en el extranjero de varios de estos productos.

Es conocido que mientras que en países como Estados Unidos, Canadá, Australia y los países de la Europa Occidental, se producen grandes volúmenes de alimentos de buena calidad y a bajos costos, una gran parte de la producción agrícola nacional es gracias a pequeños agricultores, que no cuentan con los suficientes subsidios, carecen de una preparación adecuada, no reciben el soporte técnico necesario, y además utilizan técnicas rudimentarias, que solo les permite producir lo suficiente para el consumo local o familiar y solo una parte puede ser comercializada a costos que a veces solo les permite recuperar la inversión inicial de sus cosechas sin obtener ganancias con las que puedan invertir en mejorar sus procesos productivos. Estas carencias a las que se enfrentan muchos agricultores mexicanos es en parte como ya se comento, consecuencia de las políticas y apoyos, por parte del gobierno y el poco interés por parte de particulares que quieran arriesgar su dinero en una actividad donde además del riesgo que supone la fluctuación de la oferta y la demanda, hay que asumir el riesgo como consecuencia de los factores ambientales, biológicos y sociales.

En relación con lo anterior (Brown,1966) señala. Antes de la guerra, las regiones menos desarrolladas exportaban once millones de toneladas de granos, por año, a los países desarrollados. Con el cese de las hostilidades, esta corriente se invirtió. Durante los primeros años de la posguerra, cuatro millones de toneladas de cereales anuales circularon del mundo desarrollado al mundo menos desarrollado. A medida que las tasas de crecimiento demográfico se aceleraba en la década de los 50's, esta tendencia aumento promediando 13 millones de toneladas por año a finales de este periodo. Durante la década de los 60's, la corriente creció mas, alcanzando 21 millones de toneladas en 1961 y según estimaciones preliminares, 25 millones de toneladas en 1964. El mundo menos desarrollado está evidentemente perdiendo la capacidad de auto alimentarse. Mas adelante explica por que el mundo menos desarrollado esta perdiendo ésta capacidad.

(Brown, 1966) La respuesta puede ser dada en términos sencillos. A

través de la historia, el hombre ha acrecentado las existencias de alimentos mediante la expansión del área de cultivo. Pero hoy muchos países menos desarrollados y densamente habitados casi han agotado la disponibilidad de tierra nueva. Cerca de la mitad de la población del mundo vive en países menos desarrollados que son ahora esencialmente economías de tierra fija, es decir casi toda la tierra cultivable esta ya en uso. Estos países tienen que depender de rendimientos por acre crecientes para obtener la mayor parte de los aumentos en la disponibilidad de alimentos. Ellos tienen que generar un despegue del rendimiento (una alza sostenida en el rendimiento por área de cultivo). La capacidad de generar una tendencia de rendimiento rápidamente ascendente, sin embargo, ha quedado circunscrita mayormente a los países avanzados. Durante el último cuarto de siglo, todo el aumento en la producción de alimentos, tanto en América del Norte como en Europa Occidental, provino de la elevación del rendimiento por acre. El rendimiento por acre en América del Norte, la región más avanzada, se incremento 109%, en Asia la región menos avanzada, solo el 7%, y para todo el resto del mundo subió solo 8%”.

Mas adelante Brown establece 4 factores importantes para que el despegue del rendimiento sea posible:

1. Un factor que facilita el despegue del rendimiento por acre es un nivel relativamente alto de instrucción. La tendencia de rendimientos rápidamente ascendentes implica el movimiento continuo de nuevas ideas y técnicas desde la parcela del experimentador, hasta el agricultor, y esto resulta mucho más fácil en una sociedad instruida”.
2. Existe también una estrecha relación entre el nivel medio de ingreso por persona en un país y su capacidad para elevar la producción por acre. Los países con ingresos per capita medios inferiores a 200 dólares por año elevaron los rendimientos en un promedio de 0.2% anual entre el periodo de la posguerra. Los que tienen ingresos entre 200 y 1000 dólares promediaron una tasa de aumento del rendimiento de 1.0%. Y los que cuentan con ingresos superiores a los 1000 dólares promediaron mas de 2.2% por año”.
3. Otro factor que facilita el despegue del rendimiento por acre es el desarrollo de una agricultura orientada hacia el mercado. En las economías de tipo subsistencia, la parte de la producción de las granjas que entra en el mercado es a menudo muy pequeña, lo que limita la cantidad de efectivo que los campesinos tienen para adquirir insumos. (fertilizantes, maquinaria, tecnología, etc).
4. La agricultura es con frecuencia, perfectamente independiente del

resto de la economía en una situación de incremento de área, pero a medida que solo se hace posible aumentar la existencia de alimentos por la elevación de los rendimientos, la agricultura llega a depender en gran medida del resto de la economía para obtener una extensa variedad de bienes y servicios que van desde insumos de capital, tales como fertilizantes y pesticidas, hasta servicios tales como la investigación, el crédito y el transporte. Así la capacidad para elevar los rendimientos se encuentra estrechamente relacionada con el nivel de desarrollo del sector de apoyo no agrícola”.

(Brown, 1966) concluye. Describir lo que hace falta para generar un despegue del rendimiento por acre es, en cierto sentido, describir el proceso de modernización y desarrollo. Expresado de otro modo mientras más adelantada éste una economía, más fácil es generar un despegue del rendimiento.

Respecto a lo dicho por Brown en el caso específico de México aunque si bien es cierto que en áreas como el pacífico norte y la zona del bajío se encuentra en una clara situación de despegue de rendimiento es claro que esta situación no está generalizada y como ya se comentó una gran parte de la agricultura en México no está tecnificada, tiene bajos rendimientos y como consecuencia es de subsistencia. Los requerimientos para que se de el despegue del rendimiento son diversos, el estudio de la maquinaria y su utilización eficiente contribuiría en alcanzar este objetivo

1.2 El papel del Ingeniero Mecánico Agrícola en el desarrollo agrícola nacional.

Anterior a la especialidad de Ingeniero Mecánico Agrícola en la UAAAN incluyendo la de Ingeniero Agrónomo especialista en Maquinaria Agrícola, no existía un profesionista que cubriera el perfil adecuado para atender de manera efectiva algunos de los aspectos relacionados principalmente al diseño y desarrollo de maquinaria y equipo agrícola, a no ser desde luego que estas habilidades fueran adquiridas a través de la experiencia en el ejercicio profesional. A partir de la creación de la carrera en mecánica agrícola creo que el recién egresado cuenta con mejores herramientas para enfrentar esta problemática

El departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN establece el siguiente objetivo general para la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola:

“Formar hábiles profesionales para la administración de empresas dedicadas a la venta, servicio, mantenimiento de maquinaria, equipo,

refacciones e implementos agrícolas, con alta capacidad para la investigación, el diseño, la construcción, la selección, la operación y el mantenimiento de maquinaria, equipo e implementos del sector agrícola, industrial y de servicios”

Es decir existen 3 áreas principales de desarrollo del Ingeniero Mecánico Agrícola.

1. El diseño y construcción de maquinaria y equipo agrícola
2. La administración de empresas dedicadas a la venta y servicio de maquinaria y equipo agrícola
3. La mecanización agrícola

Sin lugar a dudas desarrollar cada una de estas habilidades es de suma importancia pero tener un conocimiento experto de todas e incluso de una sola de ellas puede requerir muchos años de trabajo, sin embargo considero que en la actualidad el plan curricular de la carrera esta mejor diseñado para poder alcanzar estas metas.

(Ortiz-Cañavate, 1989) El campo de diseño y la adaptación de la maquinaria agrícola plantea un reto a la capacidad del ingeniero mayor que cualquier otra actividad de tipo técnico. El ingeniero que se dedica a la mecanización agraria, debe además de conocer los factores biológicos que intervienen, resolver problemas de tipo ambiental (condiciones difíciles), de tipo humano (falta de voluntad de cambio o capacitación) y de tipo económico (poca financiación) y cita algunos de los campos de actividad de la ingeniería agrícola:

1. Desarrollo de un nuevo tipo de maquina.
2. Mejora de una máquina existente o modificaciones para reducir costos.
3. Ensayos de maquinas agrícolas comparativos.
4. Investigación aplicada o de desarrollo, normalmente de aplicación de maquinas en el campo.
5. Investigación básica, (fuentes de energía, laboreo, rodadura, propiedades físicas de productos agrícolas, transmisión de calor, etc.)

Adicionalmente el fenómeno de la globalización ahora exige producir bienes y servicios utilizando técnicas y metodologías que aseguren la calidad y costos competentes de los productos para que de ésta manera puedan competir en el mercado mundial, La industria manufacturera mexicana cada día esta más integrada a esta nueva filosofía y no debiéramos pensar que la mecanización agrícola y el agro mexicano es un mundo aparte o seguiremos sufriendo las consecuencias de la no integración, mecanizar el campo además dignificaría el trabajo de los campesinos, alentaría a otros a integrarse a este y redundaría en beneficios económicos, para muchos. La Universidad cuyo objetivo principal es la de formar profesionistas en el área agropecuaria tiene el compromiso de atender eficiente y objetivamente esta problemática. Por otra parte, el Ingeniero Mecánico Agrícola debe ser parte activa en la integración del agro mexicano a ésta nueva etapa del desarrollo humano.

1.3 Antecedentes del proyecto

Dentro de las diversa tareas que ocupan al departamento de Maquinaria Agrícola la investigación y el desarrollo de nueva tecnología que contribuyan a la mecanización del agro mexicano es tal vez una de las mas complejas, pero también una de las mas importantes si queremos hacer mas eficientes nuestros procesos productivos.

En los últimos años México se ha estado integrando cada vez mas al desarrollo tecnológico que tienen los grandes países industrializados, sin embargo aun hay un retraso importante en muchas áreas, la mecanización agraria es un ejemplo de ello, en nuestro país se cuenta con poca investigación al respecto y la mecanización se ha venido dando a través de la introducción de maquinaria y equipo que son desarrollados muchas de las veces para adaptarse a las condiciones específicas de los países donde se diseñan, la utilización de estas maquinas sin duda ha contribuido enormemente al desarrollo agrícola nacional, pero un estudio detallado de la forma como estas maquinas operan en los campos mexicanos podría ayudarnos a adaptar, mejorar o desarrollar nuestras propias herramientas favoreciendo con ello su mejor desempeño y la obtención de mayores beneficios.

Por otra parte los fabricantes de maquinaria agrícola en México ofrecen información técnica muy generalizada acerca del desempeño de los componentes mecánicos de sus productos, seria de mucha utilidad tener respuesta para preguntas como ¿Es real la vida útil de los equipos dada por el fabricante para las condiciones de los sistemas de producción en México?,

¿Hasta que punto el desgaste en los diferentes componentes afecta el desempeño del equipo en su conjunto?, ¿Los periodos de tiempo dados por los fabricantes para el mantenimiento del equipo es aplicable a todas las condiciones de trabajo? ¿Es adecuado el equipo para cada región específica del país?

Para saber si la información ofrecida por los fabricantes es totalmente confiable es necesario desarrollar una metodología para evaluar de manera efectiva el desempeño y la vida útil de esos equipos.

Debemos señalar además que como la totalidad de los factores que pueden influir en este desempeño es muy variable para zonas diferentes, para el equipo de diseñadores que desarrolla un producto es una tarea realmente difícil tener en cuenta todas estas posibles variables (clima, tipo de suelo, utilización de la tierra, topografía etc.). Por lo que se enfoca en aspectos generales limitando de esta manera el desempeño óptimo de los equipos para zonas específicas.

En relación a lo anterior, el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) se encuentra trabajando en la elaboración de normas para la evaluación y prueba de maquinaria y equipo agrícola dado que no existen normas oficiales que verifiquen el grado de calidad y capacidad de desempeño de dicha maquinaria. Estas normas tienen como finalidad establecer especificaciones o requerimientos mínimos en los equipos de las diferentes marcas que existen en el mercado mexicano.

El manual de Pruebas y Evaluación de arados (Ochoa, 2002) señala lo siguiente: En el mercado existe una gran variedad de arados de discos que ofrecen una gama de posibilidades para los usuarios. Sin embargo, es de gran importancia que estos equipos ofrezcan calidad, seguridad y durabilidad a los compradores, y continua diciendo que:

El manual de pruebas especifica los “ítems” (elementos) que son medidos y examinados para evaluar el desempeño, capacidad de trabajo, eficiencia de campo y adaptabilidad del equipo de arados de discos con mecanismo reversible (manual o hidráulico) para las condiciones y métodos de cultivo encontrados en México. El manual establece además el siguiente objetivo general:

Contribuir al desarrollo tecnológico de la maquinaria agrícola mediante la evaluación crítica y estricta del desempeño de la maquinaria y el siguiente objetivo particular:

Estudio de los aspectos relacionados con el funcionamiento, desempeño, la durabilidad, y seguridad de los arados de discos que cuentan

con mecanismos hidráulicos o manuales para invertir la dirección de trabajo".

Adicionalmente y de acuerdo al CENEMA estas normas servirán como base para la implementación de un programa de certificación y otorgamiento de créditos de equipo y maquinaria agrícola que el gobierno pretende llevar a cabo a través del programa de mecanización de Alianza para el Campo.

Ahora bien, las normas por si mismas definen los métodos y procedimientos necesarios para poder evaluar los equipos, sin embargo, la aplicación de las normas implican la utilización de recursos diversos (combustibles, mano de obra, maquinaria e instrumentos y tiempo principalmente) y por consiguiente un costo considerablemente alto para llevarlas a cabo.

Una de las preocupaciones del CENEMA es tener un equipo capaz de evaluar el desempeño (capacidad y calidad de funcionamiento) y la vida útil, de los implementos utilizados en la labranza convencional como arados de cinceles, arados de vertederas, arados de disco, rastras de dientes etc. un Banco de Pruebas serviría como apoyo para la evaluación de los mismos.

El problema general que se plantea es entonces diseñar y construir un Banco de Pruebas para evaluar el grado de calidad y funcionamiento así como la vida útil de los implementos para labranza convencional, con el fin de emplear un método que sea efectivo, nos reduzca costos y tiempos de evaluación.

Podemos señalar lo siguiente:

Si podemos simular las condiciones físico-ambientales que influyen en el desempeño de un disco de arado, y luego medir los parámetros que determinan su capacidad de trabajo (desgaste, deformación, efectos por fatiga. etc.) entonces, podremos estimar la vida útil o durabilidad de los discos mediante el diseño de un banco de pruebas para tal efecto, lo cual contribuiría a reducir los costos de operación y mano de obra durante las pruebas de evaluación y permitiría tener un mejor control de las condiciones de la misma .

El presente trabajo deja establecidos los parámetros de diseño de un equipo capaz de medir el desgaste que sufren los discos agrícolas de tal manera que se pueda estimar durabilidad de los mismos, a través del desarrollo de los requerimientos del diseño, y un diseño conceptual de un banco de pruebas, que son las primeras etapas de desarrollo del producto, y que servirá como guía para la continuación del proyecto "Diseño y construcción de un banco de pruebas para discos de arado", este trabajo es el arranque de un proyecto que exigirá la aportación no solamente de las personas que actualmente están involucrados en el desarrollo de las

especificaciones si no de un grupo de gente de diversas especialidades que opine, sugiera y participe activamente en la obtención de los objetivos.

II. ALCANCES Y LIMITACIONES.

Para definir los alcances del proyecto, podemos utilizar como marco de referencia la siguiente definición, (Ullman, 1992). El proceso de diseño desde la necesidad de solucionar un problema hasta la obtención de un producto final que nos resuelva esa problemática, tiene diferentes etapas que pasan por el desarrollo de las especificaciones y la planeación, la elaboración del diseño conceptual, el diseño del producto, la fabricación y el servicio hasta el retiro o fin de la vida útil del diseño. Ver Fig. 2.1-1

Con base en esta idea los alcances de este trabajo, quedan enmarcados dentro del proceso de diseño de un banco de pruebas que en una primera etapa desarrollara las especificaciones de diseño, y elaborara el diseño conceptual de un Banco de Pruebas para Discos de Arado, el cual nos permita medir el desgaste que sufren los discos y estimar su durabilidad.

La evaluación de esta primera etapa definirá la conveniencia o no de continuar con el proyecto a sus etapas de fabricación y evaluación del prototipo.

III. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general:

3.1.1 Desarrollar una propuesta para el diseño y construcción de un banco para pruebas de desgaste en discos de arado.

3.2 Objetivos específicos:

3.1.2 Definir la metodología a seguir para la obtención de un prototipo para pruebas de desgaste en discos agrícolas

3.1.3 Desarrollar la primera etapa de la fase de diseño Desarrollo de Especificaciones.

3.1.4 Obtener el diseño conceptual de un banco de pruebas como fase previa a la fabricación de un prototipo.

IV. HIPÓTESIS.

Es posible diseñar un banco de pruebas para implementos de labranza que simule las condiciones de campo y por lo tanto que se obtenga información confiable acerca de la vida útil de los componentes en contacto con el suelo.

V. MARCO TEORICO.

(Gómez-Senent, 2001) La búsqueda de información y su tratamiento

es la base de todo proceso de resolución de problemas.

Para poder entender y dar solución al diseño del banco de pruebas es necesario fundamentar todas las consideraciones hechas en el diseño basados en la información técnica y científica adecuada y la información de este capítulo y su adecuada utilización nos permitirá ofrecer propuestas de solución al problema.

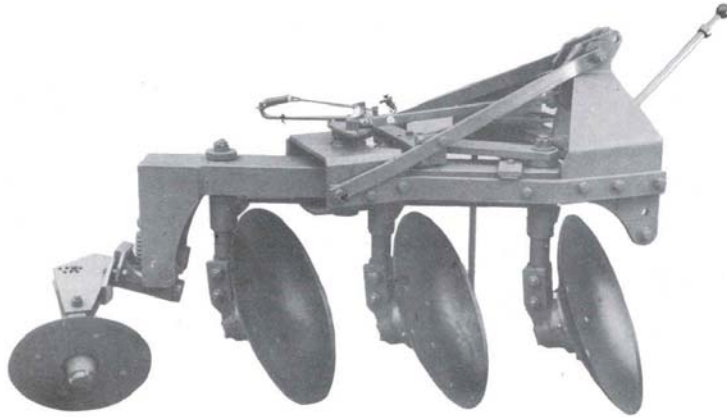


Fig. 5-1 Arado de discos reversible (Ochoa 2002)

5.1 La norma mexicana de arados y rastras de discos

Las pruebas que se desarrollan de acuerdo a la norma de evaluación de los arados de discos son las siguientes:

1. Estructura de la maquina.
2. Estudio de campo.
3. Pruebas para ajustar el implemento.
4. Evaluación de funcionamiento en campo.
5. Prueba de potencia.
6. Prueba continua.
7. Prueba de durabilidad mediante el desarme

La norma mexicana para discos de arado en los puntos 6.8 De la prueba continua y 6.9 De la duración de la prueba, establece lo siguiente:

5.1.1 Pruebas de Operación Continua

Esta prueba tiene como objetivo observar el funcionamiento del implemento en forma continua para detectar la existencia o no de

fallas.

5.1.1.1 Duración de la prueba.

El equipo se operara durante 150 hrs.

5.1.1.2 Material de prueba.

Se usarán parcelas que cumplan con las especificaciones del punto 6.1.4 excepto lo referente a la superficie mínima, El implemento se operara a velocidad recomendada por el fabricante.

5.1.1.3 Puntos de observación y o registro durante la prueba

1. Humedad del suelo (%)
2. Densidad aparente (g/ml)
3. Resistencia a la penetración (kgf/cm²)
4. Resistencia al corte (kgf/cm²)
5. Velocidad de avance (m/s)
6. Ancho de trabajo real (m)
7. Profundidad de trabajo.
8. Número y tipo de ajustes
9. Tiempo total (h)
10. Tiempo entre ajustes (h)
11. Tipo y prueba donde se realizó el mantenimiento.

5.1.2 Prueba de durabilidad.

En esta prueba se evalúa la durabilidad de la maquina mediante el registro de fallas o anomalías que pueden ocurrir durante las pruebas y/o por la inspección de las condiciones finales del arado al termino de las pruebas. Para este estudio es necesario desarmar aquellos componentes que cuenten con piezas susceptibles al desgaste.

5.1.2.1 Puntos de observación y o registro durante la prueba.

1. Observaciones durante el desarme.
2. Observaciones derivadas de las pruebas.
3. Deformaciones y roturas de la estructura.
4. Observación del tipo de material utilizado en piezas susceptibles al desgaste, oxidación y/o corrosión.
5. Desgaste y deformación de piezas entre si.

5.2 La Norma mexicana - Implemento - Discos para mover tierras

De acuerdo a la norma mexicana NMX-0-189-1984, MAQUINARIA AGRICOLA - IMPLEMENTO - DISCOS PARA MOVER TIERRAS, Los discos agrícolas se clasifican de la siguiente manera:

5.2.1 Clasificación.

Por su forma

- a) Discos cóncavos (esféricos con fondo plano cónicos)
- b) Discos planos.

Por su perímetro.

Los discos cóncavos se clasifican en:

- a) Discos de perímetro liso
- b) Discos de perímetro dentado (muescado)

Por su posición de los barrenos de fijación:

- a) Un solo barreno central de tipo cuadrado
- b) Un solo barreno central de tipo redondo.
- c) Un solo barreno central de tipo mixto
- d) Un solo barreno central de tipo hexagonal
- e) Un barreno central y varios barrenos equidistantes colocados en forma radial.

Por sus filos

- a) Disco con filo exterior
- b) Disco con filo mixto

5.2.2 Definiciones.

Para propósitos de esta norma se establecen algunas definiciones (Ver Anexo A)

5.2.3 Especificaciones.

De acuerdo a la norma NMX-0-189-1984, los discos agrícolas deberán cumplir con las siguientes especificaciones.

5.2.4.1 Composición química.

Los discos para uso agrícola, objeto de la norma NMX-0-189-1984, deben cumplir con la composición química indicada en la tabla 5.2-1, de este trabajo comprobándose con lo establecido en el punto 7.1 de la norma.

En caso de no disponer de los aceros señalados, los discos para uso agrícola deben ser fabricados con aceros aleados 5160 y 8660, cuya composición química es la que se establece en la norma mexicana NOM-B-325.

Tabla 5.2-1 Composición química de los discos agrícolas

Elementos	Acero de carbono laminado En cruz % (*)	Acero al carbón proceso Especial %
Carbono	0.80 a 0.95	0.80 a 0.95
Manganeso	0.60 a 1.30	0.60 a 1.30
Azufre max	0.050	0.025
Fósforo max	0.040	0.015
Silicio	0.1 a 0.30	0.15 a 0.30

(*) El laminado en cruz solamente se realiza por común acuerdo entre fabricante y consumidor.

5.2.4.2 Dimensiones.

Las dimensiones generales para los discos agrícolas cóncavos,

se indican en la figura 5.2-1 y la tabla 5.2-2

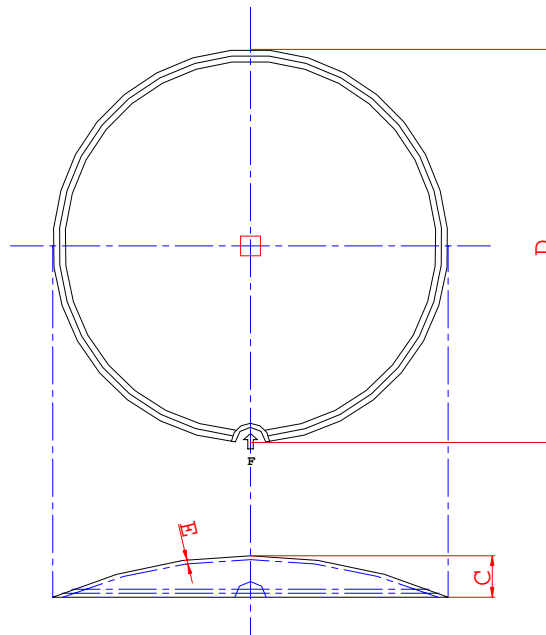


Fig. 5.2-1 Dimensiones del disco agrícola cóncavo.

Diametro exterior		Espesor "E"		Concavidad "C"		Numero de muescas "F"	Excentricidad maxima	Ondulamiento maximo
nominal	tolerancia	nominal	tolerancia	nominal	tolerancia			
356	1.6	3.17	± 0.25	22.23	± 1.6	8	1.6	1
	-1.32	3.97	49.21					
406	-4.24	3.17	± 0.25	38.1	± 1.7	9	2.4	1
	-7.16	3.97						
475	2.4 4	3.97	± 0.25	43.6	± 2.2	10	3	1
508	2.4 44	3.97	± 0.25	53.5	± 2.2	10	3	1
559	2.4	3.97	± 0.25	59	± 2.2	10	3	1
	4			63.5				
610	3.2	3.97	± 0.25	76.2	± 3.0	10 a 13	5	1
	6.4	4.76	± 0.25	82.6				
		6.35	± 0.30					
660	3.2	4.76	± 0.25	86	± 3.0	10 a 13	5	1
	6.4	6.35	± 0.30	90.5				
		101.8						
711	4.8	4.76	± 0.25	97.5	± 6.4	10	7	1
	6.4	6.35	± 0.30	107.5				
		120.65						
762	4.8	6.35	± 0.30	120.65	± 6.4	10	7	1
	-12.7	7.94						
813	9.5	6.35	± 0.30	120.65	± 9.5	10	8	1
	-15.9	7.94						
		12.7						

Tabla 5.2-2 Dimensiones generales de los discos agrícolas. (mm)

5.2.4.3 Dureza.

Los discos agrícolas de la norma NMX-0-189-1984, deben

cumplir con la dureza establecida en la tabla 5.2-1 comprobándose con lo establecido en 7.5

Dureza	Escala	Dureza
Rockwell	"C"	36 a 45
Brinell	Diámetro de bola de acero	325 a 415

Tabla 5.2-3

5.3 Norma ASTM G 99 Método de prueba estándar para pruebas de desgaste con un aparato de perno sobre disco.

5.3.1 Alcances

Este método describe un procedimiento de laboratorio para determinar el desgaste de materiales durante el deslizamiento usando un aparato de perno sobre disco. Los materiales son probados en pares bajo condiciones nominales no abrasivas. Las principales áreas de interés experimental en el uso de estos aparatos para medir el desgaste son descritos. El coeficiente de fricción puede también ser determinado.

Los valores establecidos en unidades del SI son usados en este estándar.

5.3.2 Resumen del método de prueba.

Para la prueba de desgaste del perno sobre disco, se requieren dos especímenes, Uno es un espécimen con punta redonda colocado perpendicularmente al otro, generalmente un disco circular plano. Una bola rígidamente sostenida, es a menudo usada como el perno espécimen. La maquina de prueba provoca que el disco espécimen o el perno espécimen girar alrededor del centro del disco. En cualquier caso, el camino de deslizamiento es un círculo sobre la superficie del disco. El plano del disco puede ser orientado horizontal o verticalmente.

El perno espécimen es presionado en contra del disco con una carga especificada generalmente mediante un brazo o palanca y agregado un peso. Otros métodos de carga han sido usados, tales

como, hidráulicos y neumáticos.

Nota 2 El desgaste resultante puede diferir para diferentes métodos de carga.

Los resultados son reportados como pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el perno y para el disco separadamente, cuando dos materiales son probados, se recomienda que ambos materiales sean probados en la posición de disco y de perno.

La cantidad de desgaste es determinada por las mediciones lineares apropiadas de ambos especímenes, antes y después de la prueba o por el pesado de ambos especímenes antes y después de la prueba. Si se usan medidas lineares, el cambio de longitud o cambio de forma en el perno y el cambio de la forma o profundidad de la pista de desgaste (en milímetros) son determinados por alguna técnica de metrología disponible. Medidas lineares de desgaste son convertidas en volumen de desgaste (en milímetros cúbicos) mediante el uso de las relaciones geométricas apropiadas. Las medidas de desgaste linear son frecuentemente usadas en la practica puesto que las perdidas de masa son a menudo muy pequeñas para ser medidas con precisión. Si la pérdida de masa es medida los valores de pérdida de masa son convertidos a valores de pérdida de volumen (en milímetros cúbicos) usando un valor apropiado para la densidad del espécimen.

Los resultados del desgaste son usualmente obtenidos mediante el control de una prueba para una distancia de deslizamiento seleccionada y para valores seleccionados de carga y velocidad. Una configuración de las condiciones de prueba que son usadas en una serie de mediciones dentro de un laboratorio son dadas en la tabla 1 y la tabla 2 de la norma ASTM G99 como guía. Otras condiciones de prueba pueden ser seleccionadas dependiendo de los propósitos de la prueba.

Los resultados de desgaste pueden en algunos casos ser reportados como una grafica de volumen de desgaste contra distancia de deslizamiento usando diferentes especímenes para diferentes distancias. Tales gráficas pueden no desplegar relaciones entre el volumen de desgaste y distancia sobre cierta porción de la distancia de deslizamiento total y la relación linear sobre otra porción. Las causa por las cuales difieren las relaciones, incluyen la interrupción inicial del proceso, la transición entre regiones de diferente mecanismo de desgaste dominante, etc. El tamaño de los periodos no lineares, dependen de los detalles del sistema de prueba, materiales, y condiciones de prueba. Ver documentos de referencia en Anexo C.

5.4 Norma ASTM G 65 Método de prueba estándar para mediciones de abrasión usando el equipo rueda de caucho / arena seca.

5.4.1 Alcances.

Este método de prueba cubre los procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia de los materiales metálicos a la abrasión por ralladura mediante la prueba arena seca / rueda de caucho. Es la intención de este método de prueba proporcionar información que pueda reproducir un rango de materiales en su resistencia a la abrasión por ralladura bajo una configuración específica de condiciones.

Los resultados de las pruebas de abrasión son reportados como pérdida de volumen en milímetros cúbicos para el procedimiento particular de prueba especificado. Materiales de alta resistencia a la abrasión tendrán un bajo volumen de pérdida.

Nota 1 Para llegar a una uniformidad entre laboratorios, es la intención de este método de prueba requerir que el volumen perdido debido a la abrasión sea reportado solo en el sistema métrico como milímetros cúbicos.

Este método de prueba cubre cuatro procedimientos recomendados los cuales son apropiados para grados específicos de resistencia al desgaste o espesor del material de prueba.

Procedimiento A.- Esta es una prueba relativamente rigurosa la cual ordena materiales metálicos sobre una escala de volumen perdido desde la mas baja a la mas extrema resistencia a la abrasión. Es particularmente útil en ordenar materiales de mediana a extrema resistencia a la abrasión..

Procedimiento B.- Una pequeña variación del procedimiento A. Este puede utilizarse para materiales altamente resistentes a la abrasión, pero es particularmente útil en ordenar materiales de medio a baja resistencia a la abrasión. El procedimiento B debes ser utilizado cuando los valores de volumen perdido por el procedimiento A excede 100 mm^3

Procedimiento C. Una pequeña variación del procedimiento A. para uso sobre recubrimientos delgados.

Procedimiento D. Esta es una variación de carga ligera del

procedimiento A el cual es particularmente útil en ordenar materiales de baja resistencia a la abrasión. Este es además usado en ordenar materiales de un tipo genérico específico de materiales los cuales deberían ser muy cercanos a los rangos de volumen perdido como los desarrollados en el procedimiento A.

Procedimiento E. Es una pequeña variación del procedimiento B el cual es útil en el ordenamiento de materiales con mediana o baja resistencia a la abrasión.

5.4.2 Resumen del método de prueba.

La prueba de abrasión de rueda de plástico / arena seca incluye el desgaste de un espécimen estándar de prueba con un tamaño y composición de polvo controlado. El abrasivo es introducido entre el espécimen de prueba y una rueda giratoria de chlorobutil plástico o llanta de una dureza especificada. Este espécimen de prueba es presionado en contra de la rueda giratoria con una fuerza específica mediante un brazo de palanca mientras un flujo controlado de polvo abrasivo se deposita en la superficie de prueba. La rotación de la rueda es tal que sus superficies de contacto se mueven en la dirección del flujo de la arena. Observe que el eje pivote del brazo de palanca se encuentra dentro de un plano el cual es aproximadamente tangente a la superficie de la rueda de caucho y normal al diámetro horizontal a lo largo del cual la carga es aplicada. La duración de la prueba y la fuerza aplicada por el brazo de palanca es variado como se indica en el procedimiento A a D. El espécimen es pesado antes y después de la prueba y la pérdida de material es registrado. Es necesario convertir la pérdida de masa en pérdida de volumen en milímetros cúbicos, debido a las diferencias de ancho en la densidad del material. La abrasión es reportada como pérdida de volumen por los procedimientos especificados.

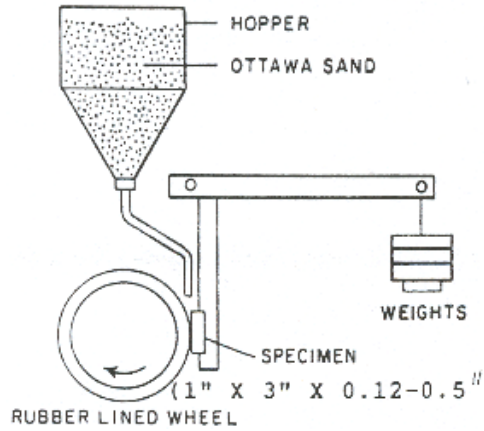


Figura 5.4-1 Diagrama esquemático del aparato de prueba

G 65

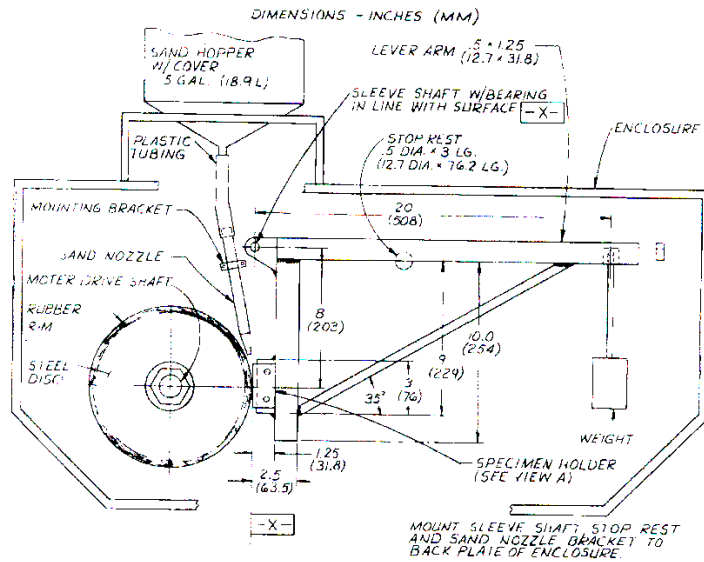
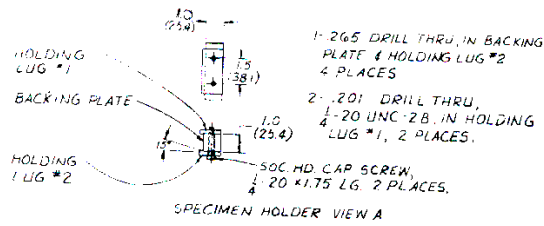


Figura 5.4-2 Aparato de prueba de abrasión Arena seca / rueda de caucho

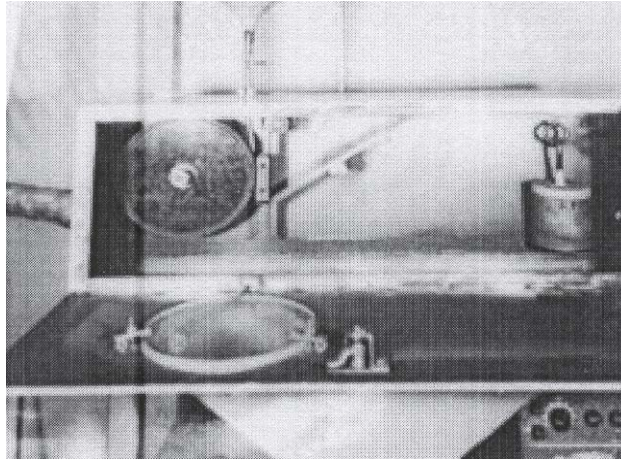


Figura 5.4-3 Rueda y brazo de palanca

Ver documentos de referencia en Apéndice C.

5.5 Norma ASTM G115 Guía para la medición y reporte de coeficientes de fricción.

5.5.1 Alcances

Esta guía presenta información para asistir en la selección de un método para medición de propiedades de fricción de los materiales. Requerimientos mínimos de información y un formato para su presentación son sugeridos. El uso de los formatos de reportes sugeridos incrementara la utilidad de los resultados dentro de un laboratorio dado y facilitara el intercambio de información entre laboratorios. Se espera que el uso de un formato de reporte uniforme proveerá las base para la preparación de un manual y elaboración de una base de datos computarizada.

Esta guía aplica a la mayoría de los materiales sólidos y a la mayoría de las técnicas de medición de fricción y equipos de prueba.

TABLE 1 ASTM Friction Tests and Applicable Materials

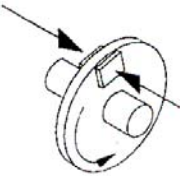
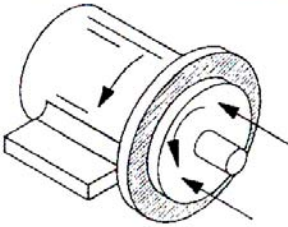
Standard/Committee	Title	Measured Parameters	Test Configuration
B 460	Dynamic Coefficient of Friction and Wear of Sintered Metal	Friction materials versus metal	
B-9 on Metal Powders and Metal Powder Products	Friction Materials Under Dry Conditions	(μ_k versus temperature)	
B 461	Frictional Characteristics of Sintered Metal Friction Materials Run in Lubricants	Friction materials versus metal (μ_k versus number of engagements) (μ_k versus velocity)	
B-9 on Metal Powders and Metal Powder Products			

Tabla 5.5-1 Segmento de la tabla 1 (ASTM G115) para pruebas de fricción para materiales de fricción contra metales.

5.5.2 Resumen de la guía

La norma ASTM estándar de pruebas de fricción esta tabulada en este documento a fin de que los usuarios puedan revisar los métodos de prueba y determinar cual método puede ser más apropiado para una aplicación en particular. Cualquiera de las pruebas listadas u otras aceptadas pueden ser usadas.

Aparatos

Cualquiera de los dispositivos mostrados esquemáticamente en la tabla 5.5-1 puede ser usado para medir las fuerzas de fricción en un sistema deslizando. Las maquinas de prueba de desgaste están a menudo equipados con sensores para medir las fuerzas de fricción

Ver documentos de referencia en Apéndice C.

5.6 Mecánica de los materiales

El análisis de la fuerzas que intervienen durante el trabajo del disco así como las fuerzas internas generadas como consecuencia de las primeras, es una parte fundamental en la obtención de las especificaciones de diseño del banco ya que de este análisis se encontraran los rangos de las magnitudes de las cargas y momentos, así como las direcciones de estas sobre el disco,

al respecto (Hibbeler 1996) establece las siguientes definiciones.

5.6.1 Resistencia de materiales.

(Hibbeler, 1996) La mecánica de materiales es una rama de la mecánica que estudia las relaciones entre las cargas externas aplicadas a un cuerpo deformable y la intensidad de las fuerzas internas que actúan dentro del cuerpo. Esta disciplina de estudio implica también calcular las deformaciones del cuerpo y proveer un estudio de la estabilidad del mismo cuando esta sometido a fuerzas externas.

En el diseño de cualquier estructura o maquina es necesario, primero, usar los principios de la estática para determinar las fuerzas que actúan sobre y dentro de los diversos miembros. El tamaño de los miembros, sus deflexiones y su estabilidad dependen no solo de las cargas internas, sino también del material del que están hechos.

5.6.2 Cargas externas.

(Hibbeler, 1996) Un cuerpo puede estar sometido a diversos tipos de cargas externas; sin embargo, cualquiera de estas pueden clasificarse como fuerza de superficie o como fuerzas de cuerpo

5.6.3 Ecuaciones de equilibrio.

(Hibbeler, 1996) Para que exista equilibrio en un cuerpo es necesario que exista un balance de fuerzas, para impedir que el cuerpo se traslade o tenga movimiento acelerado a lo largo una trayectoria recta o curva y un balance de momentos para impedir que el cuerpo gire. Estas condiciones pueden expresarse matemáticamente con la ecuaciones vectoriales:

$$\begin{aligned}\sum \mathbf{F} &= 0 \\ \sum \mathbf{M}_o &= 0\end{aligned}$$

Donde $\sum \mathbf{F}$ representa la suma de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y $\sum \mathbf{M}_o$ es la suma de los momentos de todas las fuerzas respecto a cualquier punto "0" sobre o fuera del cuerpo.

5.6.4 Cargas internas resultantes.

(Hibbeler, 1996) Son la fuerza y momento resultante que actúan dentro de un cuerpo y que son necesarias para mantener un cuerpo unido cuando este está sometido a cargas externas.

5.6.5 Fuerzas componentes.

(Hibbeler, 1996) Si fijamos ejes x , y , z con origen en O , como se muestra en la figura 5.6-1, entonces las fuerzas resultantes F_R y M_{R0} pueden resolverse cada una en tres componentes. Cuatro tipos diferentes de cargas pueden entonces definirse como sigue:

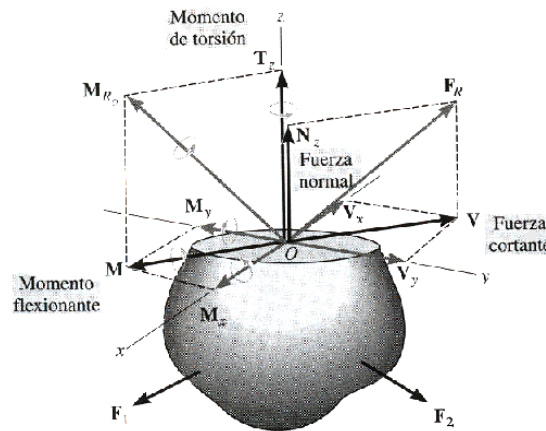


Figura 5.6-1 Distribución de fuerzas sobre una área seccionada

Donde:

N_z se llama la **fuerza normal**, ya que actúa perpendicular al área.- Esta carga se desarrolla siempre que las cargas externas tienden a empujar o jalar sobre los dos segmentos del cuerpo.

V se llama **fuerza cortante**, y puede determinarse a partir de sus componentes usando la adición vectorial, $V = V_x + V_y$. La fuerza cortante reside en el plano del área y se desarrolla cuando las cargas externas tienden a ocasionar que los segmentos del cuerpo resbalen uno sobre otro.

T_z se llama **momento o par torsional**. Se desarrolla cuando las cargas externas tienden a torcer un segmento del cuerpo con respecto al otro.

M se llama el **momento flexionante**: Se determina a partir de la adición de sus dos componentes, $\mathbf{M} = \mathbf{M}_x + \mathbf{M}_y$. El momento flexionante es causado por las cargas externas que tienden a flexionar el cuerpo respecto al eje que se encuentra dentro del plano del área.

5.6.6 Esfuerzo normal.

(Hibbeler, 1996) La intensidad de la fuerza, o fuerza por unidad de área, actuando normal a dicha área, se define como el esfuerzo normal σ (sigma).

5.6.7 Esfuerzo cortante.

(Hibbeler 1996) La intensidad de la fuerza, o fuerza por unidad de área que actúa tangente a dicha área se le llama esfuerzo cortante τ (tau)

5.6.8 Estado general de esfuerzos.

(Hibbeler, 1996) El estado de esfuerzos en un punto de un cuerpo esta caracterizado por seis componentes independientes, tres esfuerzos normales $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, y tres esfuerzos cortantes $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$, como se muestra en la figura. 5.6-2

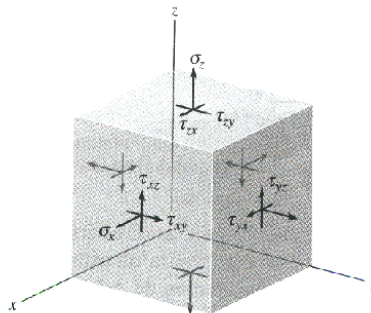


Figura 5.6-2 Estado general de esfuerzo

5.7 Discos para Implementos

5.7.1 Fuerzas actuantes sobre una herramienta o implemento de labranza.

(Kepner, 1978) El ingeniero se ocupa de analizar las fuerzas que actúan sobre los implementos de labranza desde los puntos de vista de requerimientos de potencia, la fuerza de enganche apropiada

o la aplicación de fuerzas de tiro, los cuales son diseñadas para proporcionar una adecuada resistencia y rigidez, por otra parte también analiza y determina la mejor forma y ajuste de las herramientas. Un implemento de labranza moviéndose a una velocidad constante esta sujeto a tres fuerzas principales o sistemas de fuerzas las cuales deben estar en equilibrio. Estas fuerzas son:

1. Fuerza de gravedad que actúa sobre el implemento.
2. Las reacciones del suelo que actúan sobre el implemento.
3. Las fuerzas que actúan entre el implemento y el tractor.

(Clyde, 1936) citado por (Kepner 1978) subdivide el total de las reacciones del suelo en fuerzas útiles y fuerza parásitas, y define las fuerzas útiles como aquellas que la herramienta debe vencer como resultado de las fuerzas de corte, rompimiento, y movimiento del suelo. La fuerzas parásitas son aquellas que actúan (incluidas las fuerzas de fricción y rodamiento) sobre las superficies de estabilización tales como las de empuje lateral que actúan sobre la rueda guía. Bajo la configuración dada las condiciones de operación con un implemento específico, el operador tiene poco control sobre las fuerzas útiles de resistencia del suelo. Sin embargo tanto el diseñador como el operador tienen algún control sobre las fuerzas parásitas.

Cuando una herramienta no es simétrica respecto de la vertical, del plano longitudinal de su línea de centro, las fuerzas del suelo útiles generalmente introducen un efecto rotacional. Dos formas de expresar la reacción total del suelo sobre una herramienta de labranza para el caso general en el cual un efecto de rotación existe se muestra en la figura 5.7-1

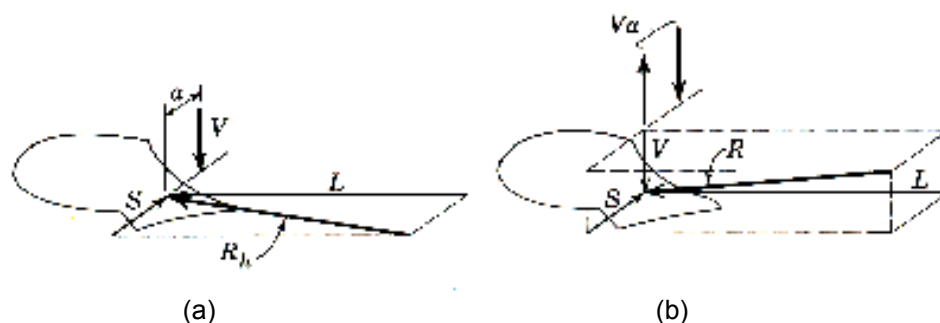


Figura 5.7-1 Dos maneras de expresar la reacción total del suelo sobre una herramienta de labranza cuando existe un efecto rotacional. A) Dos fuerzas no intersectantes, R_H y V . B)

Una fuerza R , mas un par V_a en un plano perpendicular a la línea de movimiento.(Kepner 1978)

Donde

R es la resultante de todas las fuerzas útiles del suelo actuando sobre la herramienta o implemento (Fig. 5.7.1b) Donde las fuerzas útiles y parásitas, no pueden ser determinadas separadamente, R incluye ambas.

L es la componente longitudinal o direccional de R .(Fig. 5.7-1).

S es la componente lateral de R (Fig. 5.7-1).

V es la componente vertical de R (Fig. 5.7-1).

R_h es la resultante de L y S . (Fig. 5.7-1).

R_v es la resultante de L y V (ejemplo, componente de R en un plano longitudinal vertical).

a es la distancia lateral entre V y R_h , para herramientas que tiene un efecto rotacional (Fig. 5.8a).

V_a es el par que tiende a rotar la herramienta con respecto del eje longitudinal. (Fig. 5.7-1b).

5.7.2 Discos para implementos.

(Kepner, 1978) Las rastras de discos tiene una importancia parecida a los arados de vertedera como implementos de labranza. Los discos de rastras para trabajo pesado son usados para labranza primaria, para el control de maleza, y para cortar e integrar rastrojo o cubrir cosechas con el suelo. Unidades ligeras son a menudo utilizadas en la preparación de camas de siembra posterior al arado.

Las hojas de los discos de rastras y discos de arado son cóncavas, generalmente representa la sección de una esfera hueca. La acción de la hoja cóncava del disco es en cierta forma similar a la acción de la parte baja de una vertedera de arado en el sentido que el suelo es levantado, pulverizado, parcialmente invertido, y desplazado hacia ambos lados. Los discos de arado mueven todo el suelo hacia el mismo lado en tanto que los discos de rastras tienen un arreglo que mueve el suelo en una dirección opuesta.

5.7.2.1 Representación de fuerzas para una hoja de disco.

(Kepner, 1978) El efecto neto de todas las fuerzas del suelo actuando sobre un disco como resultado de las operaciones de corte, pulverización, elevación e inversión del corte del surco, además de cualquier otra fuerza parásita actuando sobre el disco, puede ser expresada en varias formas.

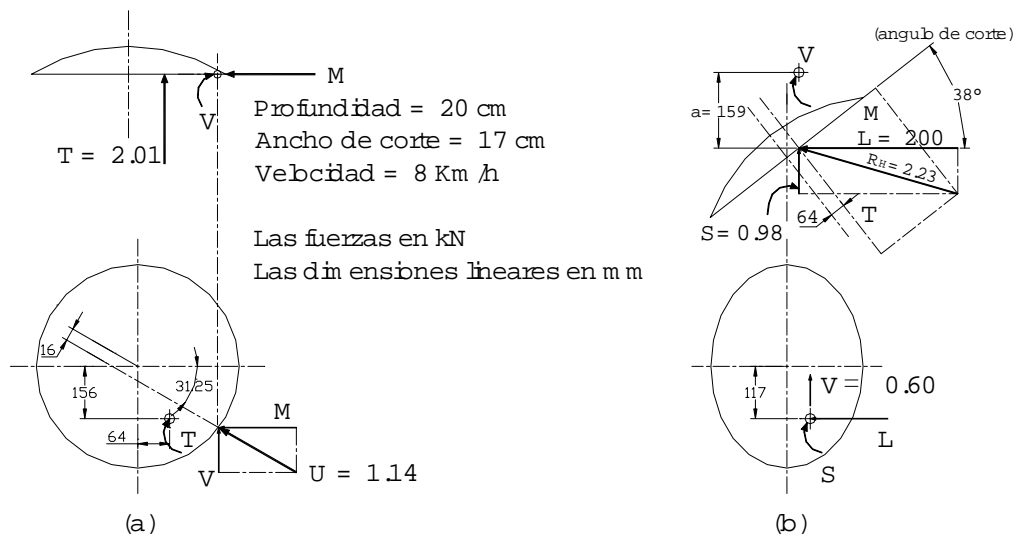


FIGURA 5.7-2 Ejemplo de las fuerzas resultantes del suelo actuando sobre una hoja de disco vertical de 61 cm (24 pulgadas) en condiciones normales de campo en un suelo de textura media, los efectos totales son presentados por dos fuerzas no intersectantes a) una fuerza de empuje T , mas una fuerza radial U , y b) una fuerza horizontal R_n , mas una fuerza vertical V (Kepner 1978)

El efecto resultante es expresado por dos fuerzas que no se intersectan, una fuerza de empuje T paralela al eje del disco, y una fuerza radial U . Este método es particularmente ventajoso para calcular fuerzas sobre los baleros de soporte del disco. La fuerza de empuje esta siempre por debajo de la línea de centro del disco debido a que el suelo actúa en contra de la parte mas baja de la cara del disco. La fuerza radial, la cual incluye la fuerza de soporte vertical sobre la hoja del disco, debe pasar ligeramente por atrás de la línea central del disco para proveer el torque necesario para vencer la fricción del balero y provocar la rotación del disco.

El efecto resultante puede además ser expresado por otro de los métodos ilustrados en la figura 5.7-1 el cual esta basado en los

componentes longitudinal, lateral y vertical, **L**, **S** y **V** y las resultantes de estas fuerzas. Este tipo de representación de fuerzas, ilustrada en la Fig. 5.7-1b, es más útil que la otra cuando consideramos los efectos de las fuerzas del suelo sobre el implemento cuando este es considerado como una unidad completa. En la Fig. 5.7-1b, las componentes **L** y **S** son combinadas en la resultante horizontal **R_h** a fin de que el efecto completo sea representado por las dos fuerzas **V** y **R_h** las cuales no se intersectan (como se muestra en la Fig. 5.7-1a). Debido a estas dos fuerzas no intersectantes, se produce un par **Va** que tiende a rotar el implemento alrededor del eje de avance del viaje. (la distancia **a** es identificada en la Fig. 5.7-1b) Este par es siempre en sentido de las manecillas del reloj para un sistema derecho visto desde la parte de atrás del disco, el cual es opuesto a el efecto sobre un arado de vertederas sin un disco de corte.

Las fuerzas indicadas en la Fig. 5.7-1a pueden ser obtenidas directamente de estas; en la Fig. 5.7-1b (o viceversa) por una apropiada aplicación de métodos de estática. Aunque los valores numéricos en la Fig. 5.71 son para un disco sobre un arado de disco vertical, los mismos dos métodos de representación pueden ser aplicados en un disco inclinado así como en un arado de discos estándar, para discos en rastras de disco.

5.7.3 Arados de disco estándar

(Kepner, 1978) Un arado de discos estándar consiste de una serie de montajes individuales, de hojas de disco sobre un marco y soportado por ruedas. Un arado de discos integral tiene solamente una rueda trasera de surco. Los arados de disco son más apropiados para condiciones bajo las cuales un arado de vertederas no trabaja satisfactoriamente tales como suelos secos, duros, suelos pegajosos, donde el arado de vertederas fluye, en suelos sueltos, tales como suelos calizos. Un arado de vertederas, trabaja apropiadamente en suelos húmedos y en condiciones de humedad, haciendo un mejor trabajo que un arado de disco y teniendo una fuerza de tiro específica más baja.

Los arados de disco estándar usualmente tiene de tres a seis discos, espaciados para cortar de 18 a 30 cm (7 a 12 pulgadas) por disco. Los discos son girados hacia atrás un ángulo de 15 a 25° de la vertical (ángulo vertical en la Fig. 5.7-3), y son usualmente operados con el diámetro horizontal de la cara del disco en un ángulo de 42° a 45° con respecto de la dirección del viaje (ángulo de corte Fig. 5.7-3). El diámetro de los discos son comúnmente de 61 a 71 cm (24 a 28

pulgadas). La mayoría de los arados de discos estándar son usualmente equipados con raspadores. Estos ayudan a prevenir la acumulación de tierra sobre el disco en suelos pegajosos.

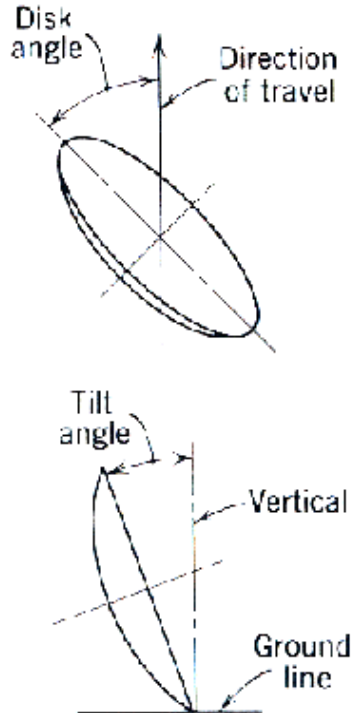


Figura 5.7-3 Identificación de los ángulos de corte (disk angle) y ángulo vertical (tilt angle) (Kepner, 1978)

Los arados de discos reversibles (generalmente montados o semi-montados) tienen un mecanismo donde el ángulo del disco puede ser invertido en cada cabecera del campo para permitir un sola dirección de arado.

Bajo la mayoría de las condiciones y particularmente en suelos secos y duros, cualquier disco puede ser forzado dentro del suelo por efecto de la gravedad sobre su masa, preferentemente que por la dependencia de la fuerza de succión como lo hacen los arados de vertederas. Consecuentemente los arados de discos estándar son construidos con estructuras pesadas (la masa total es de 180 a 540 Kg. [400 a 1200 lb.] por disco.) e incluso en algunos casos deben ser agregados contrapesos. Mientras que los arados de vertederas absorben las fuerzas laterales principalmente a través del talón, un arado de discos debe depender de su rueda guía para este propósito. Debido a las grandes fuerzas de empuje que se encuentran fuera del centro el disco estas son soportadas por baleros antifricción, usualmente baleros de rodillos. Fig. 5.7-4

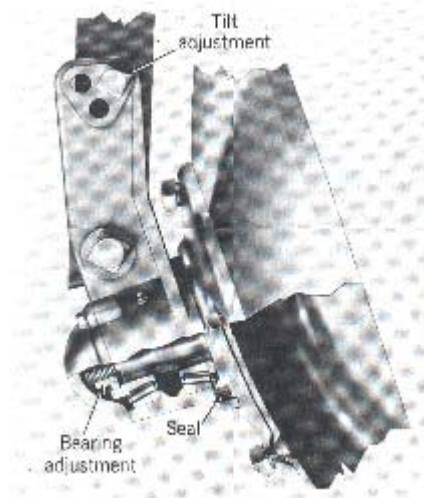


Figura 5.7-4 Baleros de rodillos son usados para soportar los discos sobre arados de discos estándar.(Kepner 1978)

5.7.4 Reacciones del suelo sobre los arado de disco.

(Kepner, 1978) La influencia de diferentes variables sobre las reacciones del suelo ha sido investigada en una serie de pruebas hechas bajo un cuidadoso control de las condiciones del suelo en la USDA's National Tillage Machinery Laboratory. Dos suelos fueron utilizados, uno un suelo medianamente pesado arcilloso con un contenido de humedad de 14.9 a 17.6 % y un fino arcillo arenoso con un 8.5 a 10.7% de humedad. La mayoría de las pruebas fueron con un disco de arado de 56,9 cm (22.4 pulgadas) de radio de curvatura. Los resultados reportados para estas pruebas incluyeron valores de **L**, **S**, **V** y el calculo de la fuerza de empuje **T**, pero no indica los valores de **a** ni los pares involucrados. Clyde reporto que en el campo de prueba con el medidor de labranza de la Pennsylvania State University, la magnitud del par V_a para un disco de arado tiene usualmente rangos de 125 a 215 Nm (1100 a 1900) lbf-in) (siempre en sentido de las manecillas del reloj en un sistema derecho del disco)

Los efectos de la velocidad fueron determinados para un ángulo de disco de 45° , un ángulo vertical de 18 a 20° , a una profundidad de 15 cm (6 in) y ancho de corte de 18 y 23 cm (7 y 9 in). Cuando la velocidad fue incrementada de 4.8 a 9.6 Km. / hr. (3 a 6 mph.) la fuerza de tiro **L** se incremento 40% el suelo arcilloso y de 90% el fino arcillo arenoso. La fuerza lateral **S** también se incremento con la velocidad debido a que el suelo es lanzado mas lejos hacia un lado.

La fuerza de empuje vertical (hacia arriba) **V** decreció a medida que la velocidad fue incrementada. Así, con la hoja inclinada, incrementos en la velocidad mejoraría la penetración del suelo bajo estas condiciones del suelo. Pruebas de otros investigadores indican

que si la hoja esta vertical el efecto es inverso y la penetración decrece a velocidades mas altas.

Los efectos del ángulo del disco son indicados para dos suelos y dos ángulos verticales en las gráficas a y b de la Fig. 5.7-5 Observe que en esta prueba la fuerza de tiro fue mínima en cada caso para un ángulo de ataque de 45°. El incremento de la fuerza de tiro para un ángulo mayor es probablemente debido en parte al incremento de tiro de el suelo. Para un ángulo de disco mas pequeño tiende a incrementarse debido al incremento del área de contacto entre la pared del surco y el lado convexo del disco. Este incremento en el contacto es indicado por la reducción en la medida de la fuerza lateral en ángulos pequeños particularmente en los suelos fino arcillo arenosos. La penetración es mejorada por el incremento del ángulo del disco, puesto que la fuerza vertical hacia arriba decrece considerablemente.

Incrementando el ángulo vertical, dentro del rango de los 15 a los 25° normalmente encontrado en los arados de discos, se incrementa la fuerza de tiro la fuerza vertical hacia arriba, pero disminuye la medida de la fuerza lateral (Fig. 5.8-4c). Así la penetración es mejorada en el ángulo vertical mas bajo.

Esto fue también encontrado en la prueba de la USDA's National Tillage Machinery Laboratory, se encontró que incrementando la fuerza vertical hacia arriba, especialmente en los suelos pesados tiende a incrementarse la fuerza de tiro. Pruebas comparativas con discos de 51 cm y 66 cm (20 in y 26 in) en un ángulo de ataque de 45° favorece ligeramente al disco mas grande con respecto de la fuerza de tiro y la penetración cuando los discos estuvieron verticales pero favorecieron al disco mas pequeño en un ángulo vertical de 19°.

Las pruebas de la USDA indicaron que el tipo de suelo y las condiciones del suelo tienen el mas pronunciado efecto sobre las reacciones del suelo, como se evidencia por los resultados comparativos para los dos suelo en la Fig. 5.7-5. Se debe tener en mente que estos resultados fueron obtenidos en suelos preparados cuidadosamente que no habían sido sujetos a los efectos de crecimiento vegetal y otras condiciones ambientales de campo.

DISK IMPLEMENTS

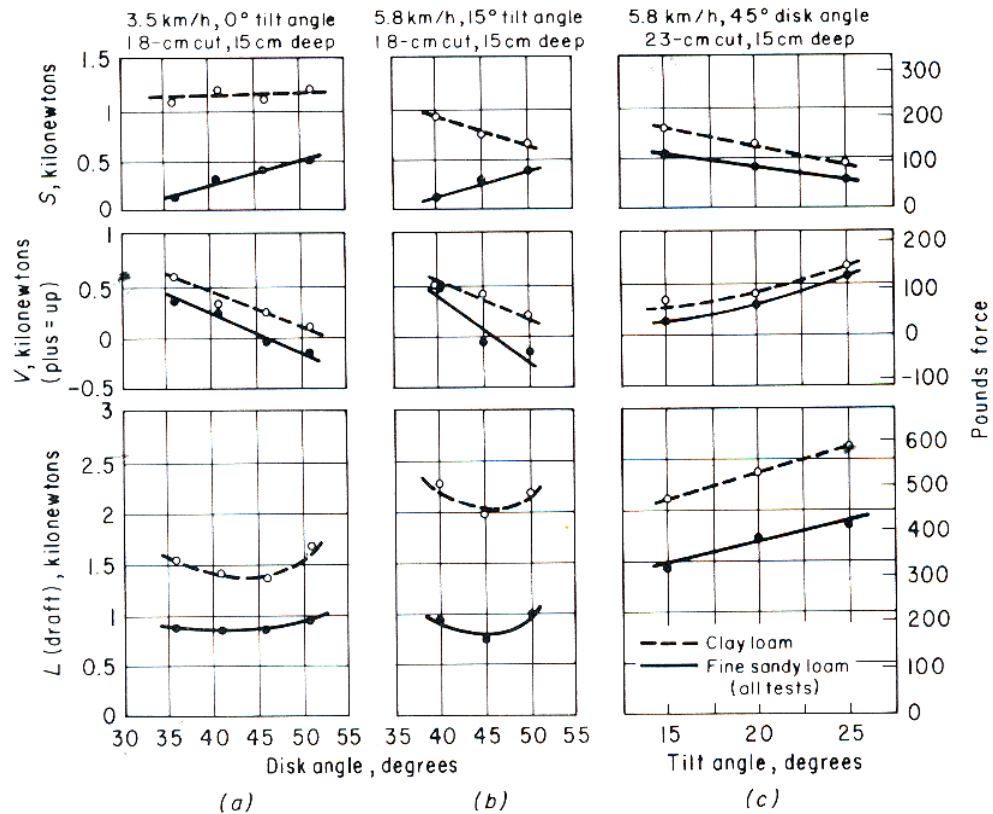


Fig. 5.7-5 Reacciones del suelo contra el ángulo de corte y ángulo de inclinación para un disco de 66 cm (26-in) y radio de curvatura de 56.9 cm (22.4-in) (Kepner 1978)

Pruebas de campo con arados de disco de 61 cm (24 in) dieron como resultado en dos tipos de suelo en Australia para **V** y **S** contra el ángulo del disco y para **S** contra ángulo vertical dieron resultados similares a los mostrados en la figura 5-7.5. Cuando se opera en una profundidad de 9 cm (3 ½ in) en un arcillo arenoso, **L** se incremento linealmente entre el ángulo del disco de 32½ y 55°. En pruebas a una profundidad de 13 cm (5 in) in arcillo limoso, **L** se incremento con el ángulo del disco cuando el ancho de corte fue 20 cm (8 in) decreció con un corte de 10 cm (4 in) y permaneció constante cuando el corte fue 15 cm (6 in).

5.8 La cinemática de los discos agrícolas

(Nartov, 1985) Los discos de trabajo tienen una superficie esférica, la parte baja del disco corta la capa del suelo, deforma esta y la mueve en una

forma particular. Los principales parámetros del disco son los siguientes.

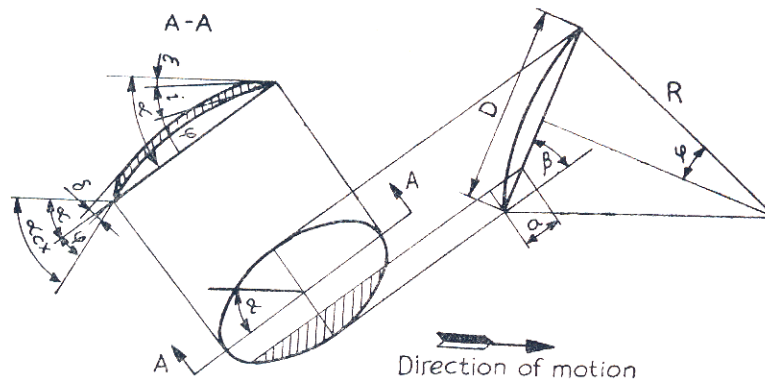


Fig. 5.8-1 Parámetros geométricos de un disco de trabajo

D = Diámetro

R = Radio

α = Ángulo entre el diámetro horizontal del disco y la dirección del movimiento del implemento.

β = Inclinación del disco con respecto al eje vertical.

δ = Espesor del disco

i = Tip angle of the cutting edge

ϵ = ángulo de corte del filo trasero

α_c = angle at which the layer comes off the disk

Un sistema móvil de coordenadas OXYZ es usado para la cinemática de las partes en operación del disco. El origen coincide con el centro del círculo que forma el filo de corte del disco; OX es la dirección del movimiento del ensamble, OY y OZ están en las direcciones transversal y vertical respectivamente. Un sistema auxiliar de coordenadas OX_1Y_1Z es formado por la rotación de los ejes OX y OY a través del ángulo α con respecto al eje OZ y el sistema $OX_1Y_2Z_1$ es formado por la rotación de los ejes OY_1 y OZ a través del ángulo β con respecto a OX_1 . Los ejes OX_1 y OZ_1 están en el lado del filo del corte del disco.

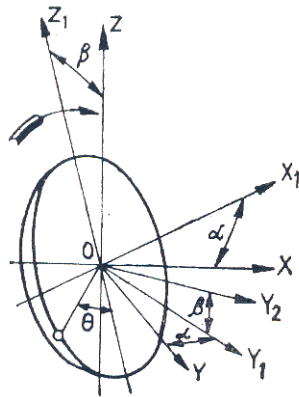


Fig. 5.8-2 Sistemas de coordenadas básico y auxiliares utilizados en el estudio de un disco esférico

5.8.1 Formas de movimiento de los discos agrícolas.

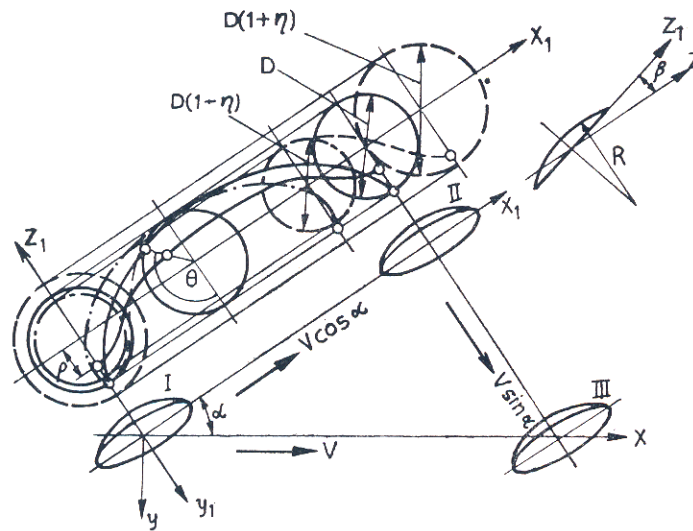


Fig. 5.8-3 Cinemática del disco de trabajo.

(Nartov, 1985) La superficie de trabajo del disco tiene un funcionamiento complejo, al mismo tiempo que se mueve en dirección del movimiento del tractor los discos rotan sobre sus ejes bajo la acción de las fuerzas de reacción del suelo.

El desplazamiento del disco de la posición I a la posición III (Fig. 5.9-3) puede ser dividido en 2 partes. Una en el plano del filo de corte del disco a lo largo de la línea I - II y el segundo es perpendicular a el primero, a lo largo de la línea II-III. Durante el

movimiento del segmento I – II, el disco no únicamente se mueve hacia delante sino que rota sobre su eje .

Dos casos de rodamiento del disco son posibles.

1. Rodamiento puro, en el cual la velocidad circunferencial lineal del filo del disco es igual a la velocidad de avance V_1 del disco a lo largo de la línea I – II

$$V_1 = V \cos \alpha$$

Donde V es la velocidad de avance de la maquina.

La velocidad angular de rotación del disco en este caso es igual a

$$\omega = V_1 / D / 2 = 2 V \cos \alpha / 2$$

2. Rodamiento del disco acompañado por el deslizamiento o patinaje cuando la velocidad lineal circunferencial del filo de corte del disco es menor o mayor que V_1

$$\omega = 2 V \cos \alpha / D (1 \pm \eta)$$

Donde η es el coeficiente de deslizamiento o patinaje.

$$\eta = S - S_0 / S_0$$

Donde:

S es la distancia actual cubierta por el disco en el plano del filo de corte por revolución.

S_0 es la distancia cubierta por el disco en el mismo plano por revolución con puro rodamiento.

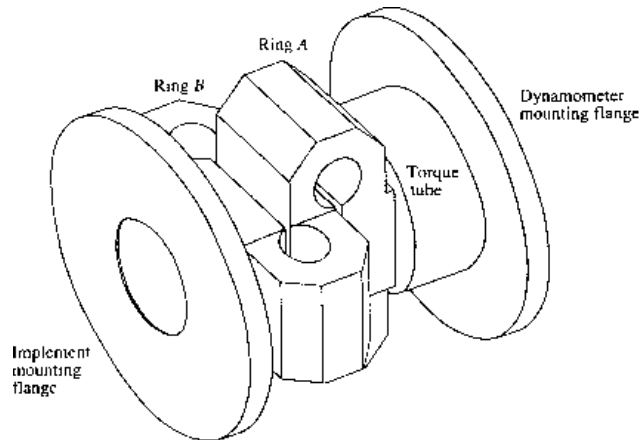
Si el disco gira en el suelo con deslizamiento, entonces $S > S_0$ y η se introduce con un signo mas (+) en la ecuación 3. En el caso de rodamiento con patinaje $S < S_0$ y η tiene un signo negativo (-).

5.9 Dinamómetro para medir fuerzas y momentos en implementos de labranza

En relación al tema de análisis de esfuerzos, y específicamente en lo que se refiere a fuerzas y momentos que ocurren sobre implementos de

labranza, (Godwin, 1992). Diseñaron un dinamómetro para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre implementos de labranza. Explican lo siguiente. Un dinamómetro fue diseñado para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre un implemento de labranza, empleado tanto en un tanque de suelo como en el campo, el implemento es capaz de medir las tres fuerzas ortogonales que actúan sobre el implemento y los tres momentos con respecto a dichos ejes, con una fuerza máxima de 100 kN y un momento máximo de 100 kN m.

El diseño del dinamómetro se basó sobre dos grandes anillos octogonales montados espalda con espalda y acomodados con sus ejes longitudinales en el ángulo correcto.



5.9-1 Componentes principales del dinamómetro. (Godwin, 1992)

El principio fundamental del anillo del dinamómetro es que, cuando las fuerzas ortogonales son aplicadas a un anillo existen nodos de concentración de esfuerzos los cuales pueden ser usados como una base para medir las componentes independientes de la fuerza.

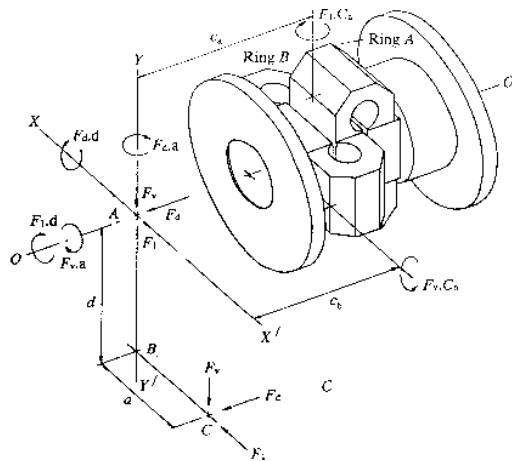


Fig. 5.9-2 Sistema general de esfuerzos y momentos que actúan en el dinamómetro. (Godwin 1992)

La figura 5.9-2 muestra el sistema de fuerzas actuando sobre el dinamómetro. El caso considerado es el caso general en el cual un sistema de fuerzas ortogonal actúa en el punto C a una distancia, d , bajo el eje central de simetría OO' el cual es horizontal y a una distancia, a , desde el plano vertical a través del eje de simetría. Las fuerzas ortogonales mostradas se producen de las tres componentes apropiadas de las fuerzas que actúan sobre el implemento de labranza, la fuerza de tiro, F_d , la fuerza vertical F_v , y la fuerza lateral F_l .

Las fuerzas actuando en C pueden ser reemplazadas por fuerzas iguales actuando en el punto A sobre el eje de simetría y el plano vertical C normal a OO' , junto con los momentos apropiados, respecto de los ejes ortogonales los momentos son

1. $F_v a$ y $F_l d$ respecto del eje de simetría (OO'),
2. $F_d a$ respecto del eje vertical YY' a través de A y
3. $F_d d$ respecto del eje horizontal a través de A normal al eje de simetría.

El sentido de los momentos respecto a la fuerza F_v y F_l depende de la dirección de estas fuerzas.

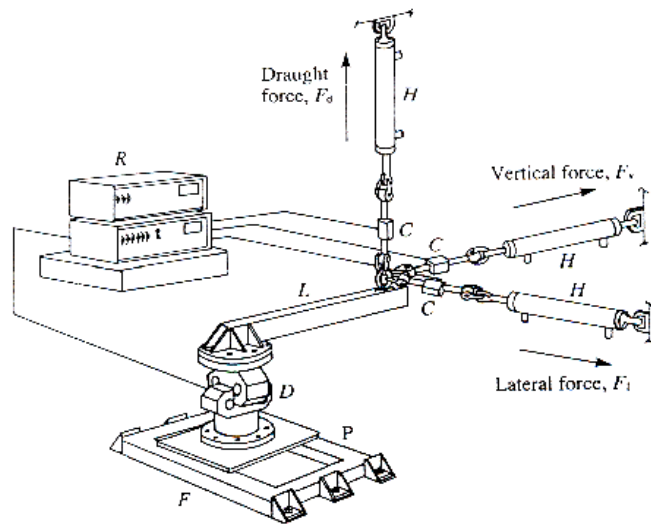


Fig. 5.9-3 Dinamómetro y equipo de calibración. (Godwin, 1992)

La figura muestra el equipo utilizado para la calibración del dinamómetro. H, brazos hidráulicos; C celda de tensión de la carga; L brazo de carga; D, dinamómetro; P, plato de montaje; P, marco atornillado a los rieles del piso; R, fuente de poder de las galgas extensiométricas, amplificador y equipo de registro.

5.10 Desgaste y erosión

5.10.1 Desgaste.

(Shackelford, 1995) El desgaste es una forma física de degradación del material. Específicamente el desgaste puede definirse como la remoción de material superficial como resultado de la acción mecánica. Aunque el estudio sistemático se ha confinado a las últimas décadas, varios aspectos clave de este fenómeno están ahora bien caracterizados. Cuatro formas principales de desgaste se han identificado.

El desgaste adhesivo se presenta cuando dos superficies suaves se deslizan una sobre otra y fragmentos son arrancados para adherirse de una superficie a la otra. El adjetivo para esta categoría viene del fuerte enlace o fuerzas “adhesivas” entre los átomos adyacentes a través de las superficies en contacto íntimo.

El desgaste abrasivo se presenta cuando una superficie dura y

rugosa se desliza sobre una superficie mas suave. El resultado es una serie de ralladuras en el material suave y la formación resultante de partículas de desgaste.

El desgaste superficial por fatiga se presenta durante un deslizamiento repetido o rodado sobre un riel. La formación de grietas en la superficie o subsuperficie lleva a la ruptura de la superficie.

El desgaste corrosivo tiene lugar con el deslizamiento en un ambiente corrosivo y, de echo, suma la degradación química a los efectos físicos del desgaste.

Además de la descripción cualitativa del desgaste dada anteriormente, se han hecho algunos progresos en la descripción cuantitativa. Para las formas más comunes de desgaste, el desgaste adhesivo,

$$V = \frac{k Px}{3H}$$

Donde **V** es el volumen del material desgastado, bajo una carga **P** deslizándose sobre una distancia **x**, siendo **H** la dureza de la superficie que esta siendo desgastada, el termino **k** se conoce como el coeficiente de desgaste y representa la probabilidad de que se forme un fragmento adhesivo. Al igual que el coeficiente de fricción, el coeficiente de desgaste es una constante adimensional. La tabla 5.5 da los valores de **k** para un amplio rango de combinaciones de deslizamiento. Uno debe observar que **k** raramente es mayor de 0.1.

Combinación	$k (\times 10^3)$
Cinc sobre cinc	160
Acero al bajo carbono sobre acero al bajo carbono	45
Cobre sobre cobre	32
Acero inoxidable sobre acero inoxidable	21
Cobre sobre acero al bajo carbono	1.5
Acero al bajo carbono sobre cobre	0.5
Fenolformaldehido sobre fenolformaldehido	0.02

Tabla 5.10-1 Valores del coeficiente de desgaste (k) para varias combinaciones (Shakelford, 1995)

(Avner, 1983) La calidad de la mayoría de los productos de metal depende de la condición de sus superficies y del deterioro de la

superficie debido al uso. El deterioro suele ser el factor principal que limita la vida y el desempeño de los componentes de una maquina. El desgaste se puede definir como el deterioro no intencional resultante del empleo o del ambiente; puede considerarse como un fenómeno de superficie. El desgaste es una de las influencias más destructivas en los metales.

El desplazamiento y separación de las partículas mecánicas de una superficie mecánica puede llevarse a cabo por contacto con:

- a) Otro metal (desgaste adhesivo metálico).
- b) Un abrasivo metálico o no metálico (abrasión).
- c) Líquidos o gases en movimiento (erosión).

El desgaste que implica un solo tipo es raro, y en la mayoría de los casos ocurren el desgaste abrasivo y el adhesivo. Cada forma de desgaste esta afectada por una variedad de condiciones, incluyendo ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas acopladas, lubricante, temperatura, dureza, acabado, presencia de partículas extrañas, etc.

5.10.2 Desgaste por adherencia.

(Askeland, 1994) Este desgaste, conocido también como rayado o raspado ocurre cuando dos superficies sólidas deslizan una sobre otra bajo presión, las salientes superficiales o asperezas, son plásticamente deformadas y finalmente soldadas por las altas presiones locales. Conforme continua el deslizamiento se rompen estas uniones, produciendo cavidades en las superficie, partes proyectantes sobre la segunda superficie y con frecuencia diminutas partículas abrasivas, todo lo cual contribuye a un mayor desgaste de las superficies.

Hay varios factores que ayudan a minimizar el grado del desgaste por adherencia.

1. Las cargas bajas reducen el grado de desgaste de las superficies.
2. Si ambas superficies tiene altas durezas que sean

aproximadamente las mismas, el grado de desgaste es bajo.

3. Las superficies lisas reducen la posibilidad de que las asperezas se unan, proporcionando un desgaste más lento.
4. Impedir la adhesión minimizar el desgaste. Algunos materiales absorben gases o forman óxidos en las superficies lo cual evita la adhesión, particularmente en pequeñas cargas. La fundición de hierro gris contiene hojuelas de grafito que proporcionan una excelente auto lubricación en las superficies, particularmente cuando la matriz es perlita en lugar de ferrita suave. Finalmente el desgaste adhesivo es menor cuando se utiliza un lubricante.

5.10.3 Desgaste abrasivo

(Askeland, 1994) El desgaste por abrasión ocurre cuando el material se elimina de la superficie al contacto con partículas duras, las cuales pueden encontrarse presentes en la superficie de un segundo material o como, partículas sueltas entre las dos superficies. A diferencia del desgaste por adherencia no ocurre unión. Este tipo de desgaste es común en maquinas y equipos como arados, cuchillas de niveladoras, trituradoras y molinos para el manejo de materiales abrasivos, y puede ocurrir también cuando intencionalmente se introducen partículas duras entre las partes móviles de la maquinaria. El desgaste abrasivo es utilizado también en operaciones de molido para eliminar material intencionalmente.

Los materiales con alta dureza y alta resistencia en caliente son más resistentes al desgaste abrasivo. Los materiales típicos utilizados para las aplicaciones de desgaste abrasivo incluyen los aceros templados y revenidos, los aceros carburizados o endurecidos superficialmente, los aceros al manganeso que se endurecen por trabajo durante el uso, las aleaciones de cobalto como la estelita (stellite), los materiales compuestos, las fundiciones de hierro blanco y las superficies duras producidas por la soldadura.

5.10.4 Desgaste en los discos:

El desgaste que se presenta en los discos es el desgaste abrasivo, el cual ocurre cuando partículas duras (partículas del suelo) se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, o cuando una superficie dura se frota a través de otra. Las partículas

desgastadas por rozamiento del objeto mas duro tienden a rasguñar o acanalar al material más suave.

El desgaste y erosión eliminan material de un componente a través del deterioro mecánico de sólidos o líquidos. La corrosión y la falla mecánica contribuyen también a este tipo de deterioro.

5.11 Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas.

(Ortiz-Cañavate, 1989) Los suelos agrícolas son objeto de una serie acciones por parte de los vehículos y maquinas agrícolas. para su mejor utilización, los diseñadores y usuarios han de conocer la respuesta del suelo a todo tipo de operación mecánica en la que este implicado además de las condiciones propias del mismo (tipo de suelo, pedregosidad, humedad, cobertura vegetal, etc)

La utilización de equipos e implementos inadecuados tiene una incidencia negativa en el crecimiento y desarrollo del cultivo, consumo de energía, facilidad de erosión, desgaste prematuro del equipo, tiempo de trabajo y desde luego un aumento en los costos y una disminución de la productividad entre otros factores.

(Ortiz-Cañavate 1989) las variables mas importantes a tomar en cuenta para medir los efectos del suelo sobre el desempeño de los discos de arado serán:

- Compactación
- Estados de consistencia
- Esfuerzo cortante
- Resistencia al deslizamiento metal-suelo
- Resistencia a la penetración
- Condiciones generales del suelo (tipo de suelo, pedregosidad, humedad , cobertura vegetal)

5.11.1 Compactación.

(Ortiz-Cañavate, 1989) El proceso por el cual se genera una disminución del volumen del suelo bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico o natural se le denomina compactación, la cuantificación del estado de compactación se realiza en base a los valores que toman una serie de propiedades del suelo, tales como: porosidad, índice de huecos, densidad aparente y densidad real. (Para mejor referencia vaya al apéndice 2)

5.11.2 Estados de consistencia.

(Ortiz-Cañavate 1989) El concepto de consistencia del suelo incluye las manifestaciones de una serie de fuerzas internas que se producen en la masa de suelo para diferentes grados de humedad. Dichas manifestaciones se refieren al comportamiento de las siguientes acciones:

- a) Acción de la gravedad, presión, empuje y tracción.
- b) Aptitud para adherirse a otros cuerpos.

(Anexo B)

5.11.3 Cohesión.

(Ortiz-Cañavate 1989) En el análisis de la plasticidad de los suelos, así como su resistencia al esfuerzo cortante, una de las variables dinámicas que más influye es la cohesión. Se puede definir como la unión entre las partículas del suelo debida a fuerzas de tracción mutuas que surgen de mecanismos fisicoquímicos. (Apéndice B)

5.11.4 Rozamiento interno.

(Ortiz-Cañavate, 1989) El rozamiento interno es un concepto que nos indica la resistencia que ofrecen las partículas de un suelo a desplazarse sobre otras. Depende básicamente de la naturaleza de las partículas, aquellas que presente superficies rugosas ocasionan una presión más elevada que las lisas. (Anexo B)

5.11.5 Adherencia y fricción suelo-metal.

(Ortiz-Cañavate, 1989) En los proceso de laboreo, fundamentalmente cuando la herramienta de trabajo penetra en el suelo, además de la resistencia propia que este le opone para llevar a cabo la correspondiente fragmentación, hay que contar con una nueva variable que es la que se refiere a la resistencia las superficies de trabajo metálicas, al deslizamiento sobre ellas de la masa del suelo. Al igual que con el esfuerzo cortante, la relación suelo-metal viene caracterizada por dos variables:

- a) *Coefficiente de adherencia (Ca)* Fig. 5.11-1

Representa las fuerzas de atracción que se producen en la

interfase suelo-metal debido a la presencia de humedad. El agua forma un conjunto de meniscos que se adhieren a las partículas del suelo y a la superficie metálica, de modo que la tensión superficial generada se opone al deslizamiento del suelo sobre el metal. A su vez, esta resistencia depende del número de meniscos formados, que aumentan con la humedad hasta un valor máximo próximo al límite líquido. Entre ambas superficies aparece una película continua de agua que ejerce un efecto lubricante. Es por eso que el coeficiente de adherencia disminuye de forma drástica para pequeños incrementos de humedad.

C_a toma valores relativamente bajos, el máximo que puede alcanzar es del orden de $25-30 \text{ kN/m}^2$ para arcillas plásticas húmedas.

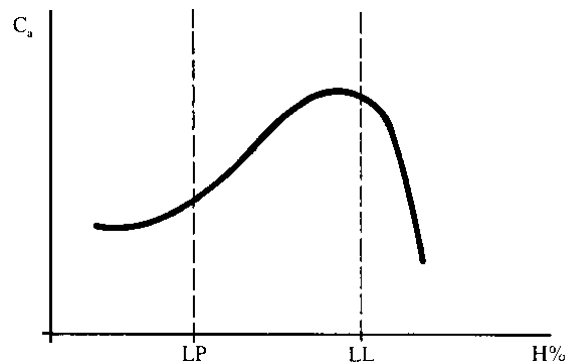


Fig. 5.11-1 Variación del coeficiente de adherencia suelo-metal con la humedad. (Ortiz-Cañavate, 1989)

b) *Coefficiente de fricción o de rozamiento externo.* (ρ) Fig. 5.11-2

El rozamiento suelo-metal es el factor más importante desde el punto de vista de la resistencia que se genera al deslizamiento del suelo. Depende principalmente de la rugosidad de las superficies de trabajo de los aperos, y del tipo de materiales que integran el suelo. Una superficie mal pulimentada u oxidada puede generar unos ángulos de rozamiento de 20° a 25° mientras que con baja rugosidad se puede llegar a 10° .

Asimismo la dureza del material tiene influencia sobre el coeficiente de rozamiento ρ . Nichols (1931) estableció una función de tipo empírico para los aceros de las herramientas de trabajo sobre

muestras de suelo con bajo contenido de humedad:

$$\rho = 0,37 - 0,00015 \cdot H$$

En donde H es la dureza Brinell

Con el coeficiente de adherencia y el de rozamiento podemos conocer la resistencia al deslizamiento por unidad de superficie:

$$\tau_p = C_a + \sigma_n \cdot \text{tg } \alpha$$

Siendo α el ángulo de rozamiento entre suelo y metal y σ_n el esfuerzo normal entre ambos. Dicha resistencia a su vez es función de la humedad del suelo. Fig. 5.11-2

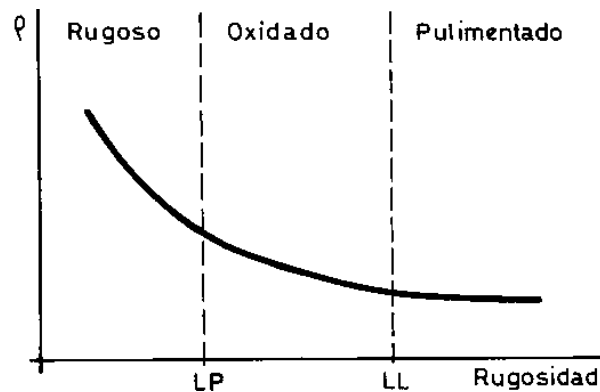


Fig. 5.11-2 Variación del coeficiente de fricción según el estado de la superficie de la herramienta en contacto con el suelo.(Ortiz-Cañavate, 1989)

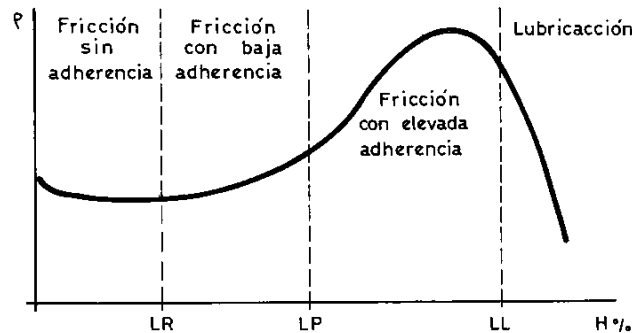


Fig. 5.11-3 Tensión de deslizamiento suelo-metal en función de la humedad.(Ortiz-Cañavate 1989)

5.11.6 Resistencia a la penetración.

(Ortiz Cañavate, 1989) La resistencia de un suelo a la penetración de una determinada herramienta de sondeo, constituye una variable que aglutina otras propias del suelo tales como compactación, cohesión y rozamiento interno. Nos da una idea de la dureza de ese suelo para las condiciones específicas que se encuentran en un determinado momento.

Aunque los valores obtenidos no reflejan mas que un índice, que a su vez dependen de la forma del elemento que se ha introducido en el suelo (placas, semiesferas, conos, etc.), siempre podemos encontrar una relación entre la resistencia a la penetración y la que opone un suelo a una acción diferente producida bien por un neumático, arrastrado o motriz, a una herramienta de trabajo agrícola.

Hoy gran parte de las líneas de investigación que se llevan a cabo para establecer ecuaciones de predicción en relación a lo que se acaba de comentar, pasan por considerar como variable principal la resistencia a la penetración o el índice de cono.

La ventaja de introducir esta variable para los diferentes estudios de comportamiento del suelo ante acciones externas, estriba en el gran número de mediciones que se pueden efectuar en un corto espacio de tiempo.

VI. MARCO METODOLOGICO

6.1 El proceso de diseño

El proceso de diseño es una creatividad aplicada. Se han definido varios procesos de diseño para ayudar a organizar el ataque sobre un problema no estructurado, es decir aquel para el cual la definición del problema aún es vago y para el que hay muchas soluciones posibles. La metodología empleada para el desarrollo del banco de pruebas esta basada en el enfoque del proceso de diseño mecánico dado por David G. Ullman. Y apoyada con otros autores que se indican en su momento.

(Shigley, Mishke, 1990) “Diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda humana”. Mas adelante definen los términos Diseño Mecánico y Diseño en Ingeniería Mecánica

Diseño Mecánico. “El diseño mecánico es el diseño de objetos y

sistemas de naturaleza mecánica: maquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada”

Diseño en Ingeniería Mecánica. “Incluye el diseño mecánico pero, es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica incluso las ciencias térmicas y de los fluidos”

Desarrollar un producto para fabricación desde la necesidad misma de solucionar un problema no es una tarea fácil. El proceso es diferente de producto a producto, y no existe un camino único para llegar a la solución de un problema el mejor camino y solución para un caso específico puede ser diferente de persona a persona o de industria a industria.

El proceso de diseño es una especie de mapa que nos guía desde la concepción de una idea hasta la obtención del producto final de manera que se puedan ir tomando las mejores decisiones a través de todo el proceso de diseño a fin de obtener un producto de alta calidad que sea desarrollado rápida y económicamente.

La Fig. 2-1 del capítulo 2 muestra un diagrama genérico dado por Ullman (1992) donde se muestran desglosadas las 3 primeras etapas del ciclo de vida del producto las cuales son de importancia crítica debido a que de estas etapas depende en gran medida el éxito del diseño y además por la importancia que tiene la documentación del proceso de diseño, desde sus etapas iniciales.

(Ullman, 1992) Cada producto sin importar si este es un diseño para una pieza simple de equipo de producción o un diseño producido en masa como un reproductor de casetes , tiene un ciclo de vida consistente en seis etapas”.

1. Desarrollo de especificaciones / Planeación.
2. Diseño conceptual
3. Diseño del Producto.
4. Producción
5. Servicio
6. Retiro del producto.

6.2 Desarrollo de especificaciones / Planeación.

6.2.1 Comprensión del problema

6.2.1.1 Necesidad

Antes de diseñar un producto se debe empezar por establecer cual es la necesidad de desarrollar este. Como se puede ver en la Fig. 2-1 existen tres fuentes:

1. Una necesidad del mercado.
2. El desarrollo de nueva tecnología.
3. Una mejora de un producto existente.

El asunto que ocupa a este trabajo es el desarrollo de los requerimientos de diseño para "*El diseño de un banco de pruebas para discos de arado*" además de establecer una propuesta de diseño del banco como un primer acercamiento a lo que será el producto final. En relación a un equipo de laboratorio que nos permita estimar la durabilidad de discos de uso agrícola no se han encontrado antecedentes por lo que podemos decir que estamos desarrollando nueva tecnología.

Por otra parte, en relación con las necesidades que dan origen a un proyecto Gómez-Senant (2001) señala. Todo proyecto surge por que algún tipo de necesidad humana no esta satisfecho plenamente. Cuando hablamos de necesidad humana se debe tomar en cuenta en un sentido mas amplio porque, si bien hay proyectos que vienen a satisfacer algún tipo de necesidad humana en la que todos estaríamos de acuerdo, existe otros que parecen emprenderse con objetivos puramente económicos o en las que las necesidades a cubrir no se aprecian. Aun en estos casos al menos para el usuario del proyecto, este representara un determinado beneficio y, por lo tanto, vendrá a satisfacerle de algún modo.

6.2.1.2 La necesidad del diseño del banco de pruebas

En una industria la intención principal al desarrollar un producto es hacer un negocio que redunde en ganancias, para ello las industrias se aseguran que exista una verdadera necesidad en el mercado para dicho producto o un nuevo mercado es desarrollado para este.

En el caso del presente trabajo no es la intención obtener un beneficio económico directo sino mas bien a través de esta investigación podamos obtener un método alternativo de evaluación de la calidad de los discos agrícolas que nos permita

a mediano plazo definir formas más eficientes en la utilización de algunos equipos para labranza primaria.

Una vez obtenidas estas especificaciones para el diseño, se deberá continuar en un trabajo posterior con la etapa de diseño conceptual y posteriormente con la fabricación y evaluación de un prototipo que nos defina finalmente la factibilidad de fabricar un banco de pruebas, para su utilización como un equipo capaz de estimar la vida útil de los discos de arado y que a su vez este equipo nos permita encontrar formas de optimizar el uso de los discos y mejorar su productividad.

6.2.2 Establecimiento del equipo.

(Ullman 1992) Una vez que se ha tomado la decisión de desarrollar un nuevo producto el siguiente paso será establecer quienes participarán en el proyecto y que deberá hacer cada miembro del equipo. Es muy difícil encontrar en la actualidad que el diseño de un producto incluso de un sistema de un equipo más complejo ha sido realizado por una sola persona.

Los especialistas involucrados en el desarrollo de un producto diseñado tal como los define Ullman (1992) se presentan a continuación

Ingeniero de Diseño del Producto. Las principales responsabilidades del diseño son llevadas a cabo por el ingeniero de diseño del producto. Este debe asegurarse que las necesidades del producto han sido claramente comprendidas y que los requerimientos de ingeniería son desarrollados y reunidos en el producto. El ingeniero de diseño debe tener los conocimientos acerca del proceso de diseño y acerca de la tecnología específica del diseño.

Gerente del Producto. En muchas compañías el gerente de producto tiene la responsabilidad final del desarrollo del producto y representa el principal enlace entre el producto y el cliente. Puesto que el gerente de producto también es responsable del éxito del producto en el mercado, el o ella es también a menudo referido como *Gerente de Ventas* o *Gerente de Ventas del Producto*.

Ingeniero de Manufactura. No es posible para el ingeniero de diseño tener la suficiente amplitud o profundidad de conocimientos acerca de los diferentes procesos de

manufactura envueltos en los diversos productos. Este conocimiento es provisto por el ingeniero de manufactura, quien debe tener una comprensión no solo de las capacidades de manufactura dentro de la fabrica si no además de lo que la industria en general tiene para ofrecer.

Detallista. En varias compañías el ingeniero de diseño es responsable del desarrollo de especificaciones, planeación, diseño conceptual, y de una etapa temprana del diseño del producto. El proyecto es entonces turnado al detallista (a menudo llamado diseñador), quien finaliza el detalle del producto y desarrolla la documentación para la fabricación y ensamble.

Ingeniero de Calidad / Inspector de aseguramiento de calidad. Un especialista en control de calidad tiene entrenamiento en técnicas para medir una muestra significativa estadísticamente, para determinar que tan bien reúne sus especificaciones. Esta inspección es hecha en materias primas, partes manufacturadas por otros y vendidas a la planta, y piezas manufacturadas en la misma planta.

Un especialista en aseguramiento de calidad se asegura que los productos reúnen cualquier código pertinente o estándar.

6.2.2.1 El equipo del banco de pruebas

Para llevar a cabo las primeras etapas de desarrollo del banco de pruebas es necesario que el equivalente a un ingeniero de producto se encargue de estudiar el problema, buscar posibles soluciones, definir objetivos, planear, documentar, analizar información, desarrollar las especificaciones del diseño, y llevar a cabo los cálculos y diseños detallados del banco de pruebas, tomando en cuenta en todo momento que las especificaciones deben ser reunidas en el diseño, es de suma importancia también que el ingeniero de producto mantenga una constante comunicación con los detallistas y el ingeniero de manufactura de tal manera que el diseño no encuentre obstáculos al momento de su fabricación, es necesario que el ingeniero de manufactura informe al diseñador sobre las posibilidades ventajas y desventajas de llevar a cabo algún proceso de fabricación de acuerdo con las características especificadas en los planos de detalle, de tal

forma se evitara que el problema se presente en el momento mismo de su fabricación y no en una etapa mas temprana donde se podrían buscar otras soluciones lo que evitaría tener tiempos perdidos y reduciría costos.

Por otra parte en el caso del banco de pruebas los procesos de fabricación, requeridos deben ser muy sencillos de tal forma que las especificaciones no tengan altas exigencias y puedan ser llevadas a cabo en un taller medianamente equipado con procesos de soldadura convencionales, equipos de medición, maquinado, corte, y acabados, de uso común, el banco por lo tanto podrá ser desarrollado por los investigadores y alumnos de la Universidad hasta sus etapas de fabricación y evaluación apoyándose en algunos talleres de la localidad.

Una vez establecidas las especificaciones y llevado a cabo el diseño conceptual, un ingeniero de aseguramiento de calidad deberá dar seguimiento a cada componente individual del banco con base en lo especificado en los planos, reportes y especificaciones, debidamente documentados, además de las normas aplicables.

6.2.3 Planeación de la etapa desarrollo de especificaciones.

Planificar significa establecer las líneas fundamentales para llegar a algo, antes de iniciar con el trabajo de investigación será necesario definir el que, como, cuando, y quien va a resolver las diferentes tareas, que se presentaran durante el proyecto, de tal forma que se pueda dar el seguimiento adecuado, encontrar las etapas criticas antes de que estas se presenten, asignar recursos, definir tiempos y fechas de cumplimiento llevar a cabo acciones correctivas en caso de ser necesario y al final poder alcanzar los objetivos establecidos en tiempo y forma.

(Gómez-Senent 2001) A pesar de las diferencias entre unos proyectos y otros y entre proyectistas, existe un conjunto de actividades que en mayor o menor medida siempre se llevan a cabo. Cada grupo de actividades lo llamamos etapa. Estas etapas no definen exhaustivamente el proceso de resolución de un proyecto pero lo enmarcan lo suficiente como para realizar una primera aproximación a él. Ello nos permite ir conociendo aspectos del proyecto que mas adelante se utilizaran con frecuencia.

La figura 6.2-1 Muestra las diferentes etapas del diseño de un producto industrial desde el punto de vista del proyecto tradicional dadas por Gómez-Senent. (2001) Como ya se a planteado cada proyecto o diseño es diferente uno de otro por lo que es posible que no todas las actividades que señala el grafico sean llevadas a cabo, por otra parte algunas en mayor o menor grado debieran desarrollarse.

Es importante resaltar que en base a la grafica de la figura 6.2-1 propuesta por Gómez-Senent el alcance de esta primera fase del proyecto “Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Discos de Arado” comprende las primeras dos etapas, “Estudio Preliminar” y “Diseño Básico”

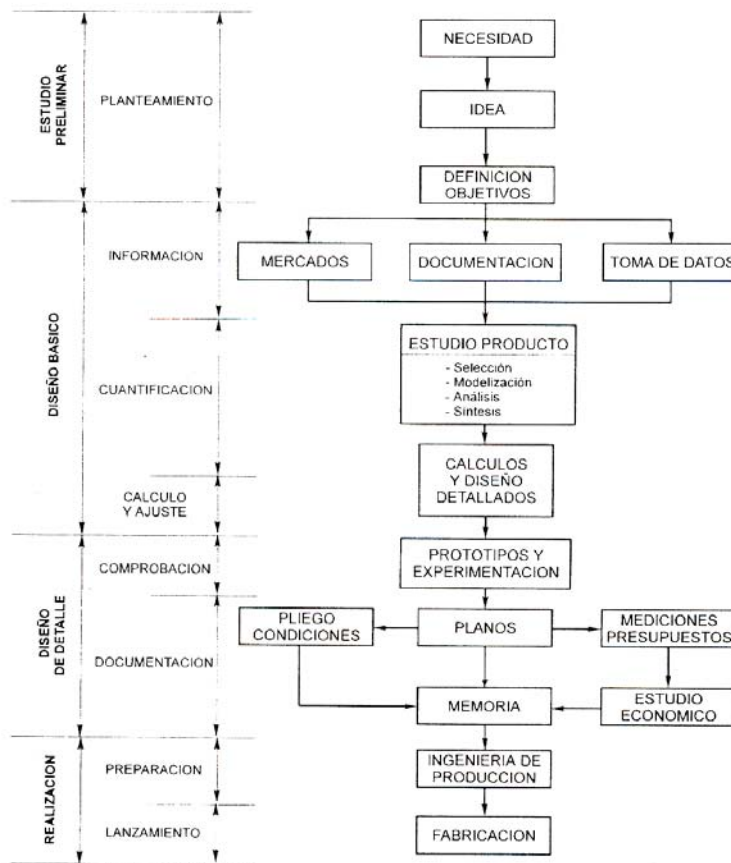


Fig. 6.2-1 Etapas del diseño de un producto industrial. (Gómez-Senent 2001)

La grafica 6.2-2 Es una grafica de Gantt que muestra la

programación de cada una de las de las actividades del proyecto, esta grafica nos da una imagen general del mismo y nos permite identificar rápidamente la duración, fechas de inicio y termino de cada actividad así como su relación con las demás actividades, esta es una herramienta muy útil ya que nos permite dar seguimiento al proyecto de manera que podamos identificar retrasos de las fechas de cumplimiento, asignar los recursos a tiempo, y en general tener un mayor control de las actividades.

6.3 Documentación e información

Cuando se tiene el antecedente de un producto similar diseñado con anterioridad, se va a llevar a cabo lo que se conoce como reingeniería, o se va a mejorar un producto existente, se cuenta con la experiencia acumulada durante el proceso de diseño anterior, cuando se va a desarrollar por primera vez un producto diferente a cualquier otro existente el riesgo que hay que asumir por el uso de recursos diversos (tiempo, recursos humanos, dinero) es considerablemente mayor, de ahí la importancia de documentar cada parte del proceso, pues de esta manera se puede regresar revisar y corregir errores cometidos en etapas mas tempranas.

La experiencia del diseñador en este punto cobra una relevante importancia puesto que al identificar y encontrar el mejor camino para solucionar cada problema se estarán ahorrando una gran cantidad de recursos.

Por otra parte aun cuando no se cuente con una gran experiencia como diseñador de productos, existen herramientas metodologicas, que nos ayudan a desarrollar eficientemente un diseño, estas técnicas aseguran que el problema sea bien comprendido y que los requerimientos del diseño expresados por el cliente o usuario final sean convertidos en especificaciones de ingeniería los cuales sean completamente medibles y evaluados.

(Gómez-Senent 2001) La búsqueda de información y su tratamiento es la base de todo el proceso de resolución de problemas. La búsqueda de información es tan importante que puede ser un factor clave en la rentabilidad o no del proyecto.

Gómez-Senent divide la etapa de información como sigue:

1. Mercados
2. Documentación
3. Toma de datos

6.3.1 Mercados

En el caso del banco de pruebas un estudio de mercado no es necesario la demanda potencial que este equipo pueda tener puede no ser muy alta pero su utilidad podría de alcanzarse los objetivos justifica ampliamente la investigación por otra parte los recursos empleados en esta primera etapa que además definirá la viabilidad de la fase de fabricación de un prototipo, evaluación y producción del banco, son relativamente bajos y la rentabilidad que podría tener justifica su desarrollo.

6.3.2 Documentación.

(Gómez-Senent 2001) La documentación es el conjunto de información, fundamentalmente escrita en papel o magnética (CD-ROM, por ejemplo) que tiene relación directa con el proyecto y que no precisa elaboración previa para su tratamiento en el proyecto, aunque si durante el proceso proyectual.

La etapa de documentación comprende la búsqueda y selección de la información siguiente:

- Libros y revistas
- Catálogos
- Normas y leyes
- Enciclopedias y Extractos (abstracts)
- Proyectos anteriores
- Estudios previos

La mayor parte de esta información para el caso particular del banco de pruebas de encuentra en el Capitulo 5 (Marco Teórico) y anexos de este trabajo.

6.3.3 Toma de datos.

La toma de datos es el conjunto de información no escrita que ha de obtener la ingeniería para poder fijar los parámetros del proyecto.

En el caso del banco de pruebas esta información fue

obtenida de los fabricantes de maquinaria, el CENEMA, profesores e investigadores de la UAAAN, información tomada directamente en campo y algunos otros centros como COMIMSA que apporto algunas ideas y facilito algunas normas útiles al proyecto.

6.4 Cálculos y diseños detallados.

Con el análisis de la información recabada se debe proceder a llevar a cabo los cálculos y ajustes necesarios para desarrollar el diseño conceptual o básico del banco de pruebas.

(Gómez-Senent, 2001) La primera etapa de la fase de diseño de detalle o proyecto, tiene un fuerte contenido tecnológico, comprendiendo todas las operaciones de cálculo y ajuste necesarias para que el diseño básico quede definido hasta su último detalle.

6.5 Documentación del proyecto

(Gómez-Senent, 2001) Los documentos constan de figuras, planos, formulas y escritos estructurados de manera que puedan ser interpretados por todos los interesados correctamente.

Y continua, Los documentos son el instrumento de comunicación mas importante del proyecto, sirviendo de base de entendimiento entre todos los grupos que intervienen en el, cliente, ingeniería, constructor, fabricantes, técnicos de obra etc.

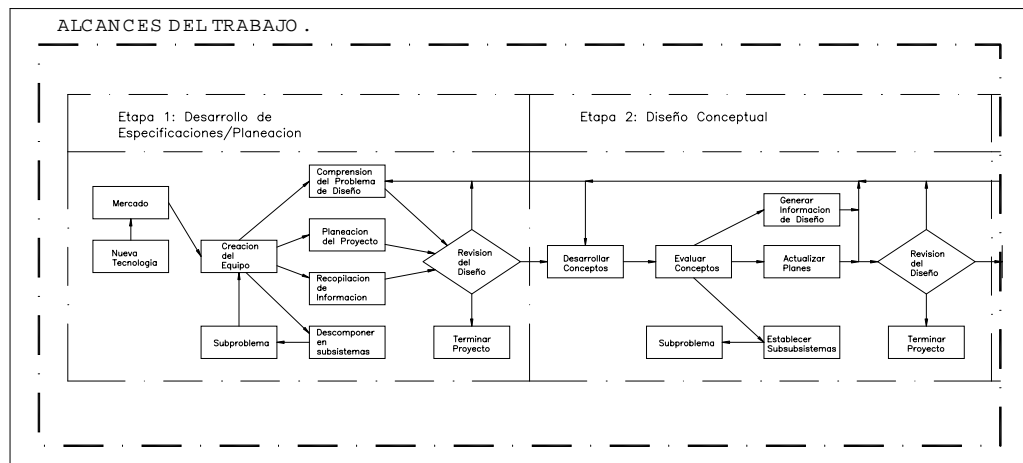
En esta etapa y de acuerdo a los alcances establecidos para este proyecto la documentación generada será una propuesta de diseño para un banco de pruebas que incluirá una serie de planos, y especificaciones de los componentes del mismo y algunas recomendaciones acerca del seguimiento de las etapas de fabricación y evaluación del prototipo.

VII. ANALISIS DE INFORMACION.

7.1 Comprensión del problema de diseño.

De acuerdo con lo propuesto por Ullman (1992), existe un orden general de tareas para el desarrollo de un producto, ya sea que éste inicie desde la sola idea o necesidad de crear uno nuevo o porque se pretenda mejorar alguno ya existente. En éste orden general de tareas a realizar, algunos pasos pudieran no ser aplicables para una situación en particular o éstos pudieran no seguir la secuencia definida, lo anterior, debido a que cada problema de diseño es diferente de producto a producto.

La grafica 7.1-1, muestra a continuación las etapas 1 y 2 del proceso de diseño mecánico (Ullman 1992), éstas son las etapas que se desarrollan en este trabajo. Como ya se comentó la intención de este trabajo nace de la necesidad de disponer de un equipo para evaluar el desempeño y la vida útil de los implementos utilizados en la labranza convencional, es decir de disponer de algo que no existe y por lo tanto se puede decir que se está desarrollando una tecnología nueva.



Grafica 7.1-1 Etapas 1 y 2 del proceso de diseño

Para poder entender el problema de diseño se puede partir de las razones por las que estamos interesados en desarrollar el banco de pruebas.

Ya se ha comentado que el CENEMA está buscando una forma de evaluar el desempeño y la vida útil de los implementos de labranza.

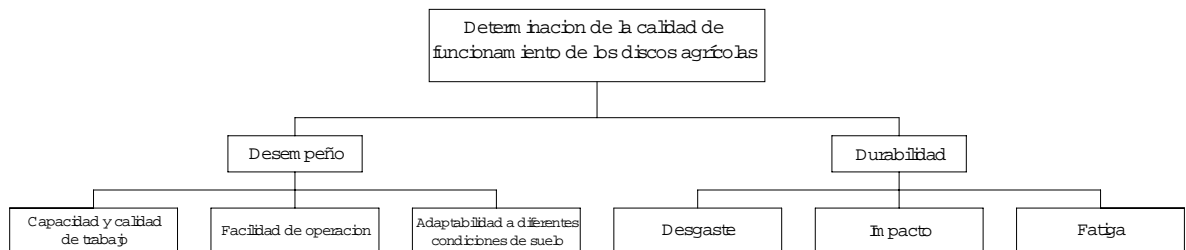
Con éste trabajo se busca un método alternativo que nos reduzca los

tiempos y costos utilizados en la aplicación de los procedimientos, durante la evaluación de los componentes de arados establecidos en la norma mexicana de arados y rastras de discos. Por tanto es el manual de pruebas de arados de discos y las normas aplicables, los que marcara la orientación de la investigación.

Conjuntamente con el CENEMA, se establecieron las siguientes justificaciones para la implementación de este proyecto.

1. Determinar si la calidad que los diferentes fabricantes de implementos de labranza ofrecen, es congruente con la calidad real de sus productos.
2. Evaluar de forma sencilla y económica el desempeño y la vida útil de los discos agrícolas y de esta forma determinar si el desempeño de una marca específica es mas eficiente para determinadas condiciones, así como estimar su vida útil
3. Emitir recomendaciones para el uso de las diferentes marcas apoyados en la información de las evaluaciones.
4. Establecer exigencias mínimas a los fabricantes (certificación de acuerdo a normas), como requisito para que sus productos sean adquiridos a través de subsidios aportados por los programas de gobierno de apoyo al campo.

Ahora bien, se han hecho las aclaraciones sobre los alcances de éste proyecto, de tal forma que hemos acotado nuestro problema dentro del marco de evaluación de la vida útil de los discos de arados. La grafica de bloques de la Fig. 7.1-2 nos ayudará a una mejor comprensión del problema general.



Grafica 7.1-2 Planteamiento general del problema.

En la grafica se puede apreciar que existe un problema general del cual se desprenden dos grupos de incógnitas, como se indica. El problema

planteado es la determinación de la calidad de funcionamiento (desempeño), de donde se derivan a su vez dos problemas generales:

1. Evaluación del desempeño (Bajo condiciones de campo)
2. Estimación de la vida útil (Durabilidad)

El alcance de éste trabajo queda enmarcado en lo que se refiere a la evaluación de la vida útil de los discos agrícolas, de donde se derivan tres líneas de investigación.

1. Evaluación del desgaste.
2. Resistencia al impacto
3. Resistencia a la fatiga.

Determinar la vida útil como consecuencia del desgaste del disco es tal vez el problema sobre el cual se tiene menos certeza y sobre el cual existen menos procedimientos de evaluación en el caso de las herramientas agrícolas. El banco de pruebas se debe diseñar para proveer información confiable, sobre los rangos de desgaste que sufren los discos agrícolas en condiciones específicas.

El problema a resolver es diseñar un banco de pruebas para discos de arado que nos permita determinar de una forma sencilla y económica la vida útil de los discos utilizados en la labranza primaria en donde la vida útil del disco está directamente relacionada con la reducción de su diámetro y ésta reducción a su vez es consecuencia de la pérdida de material bajo condiciones abrasivas.

Los beneficios que se buscan son:

1. Poder determinar si la calidad de los discos agrícolas ofrecida por los fabricantes de discos y arados de discos es real.
2. Determinar si una marca en particular nos ofrece mayores beneficios con respecto de otras para condiciones de trabajo específicas.
3. El banco será un método alternativo que nos permita sustituir algunos de los procedimientos de evaluación de arados de disco en lo que respecta a las pruebas de operación continua y pruebas de durabilidad.

Como se estableció en la hipótesis:

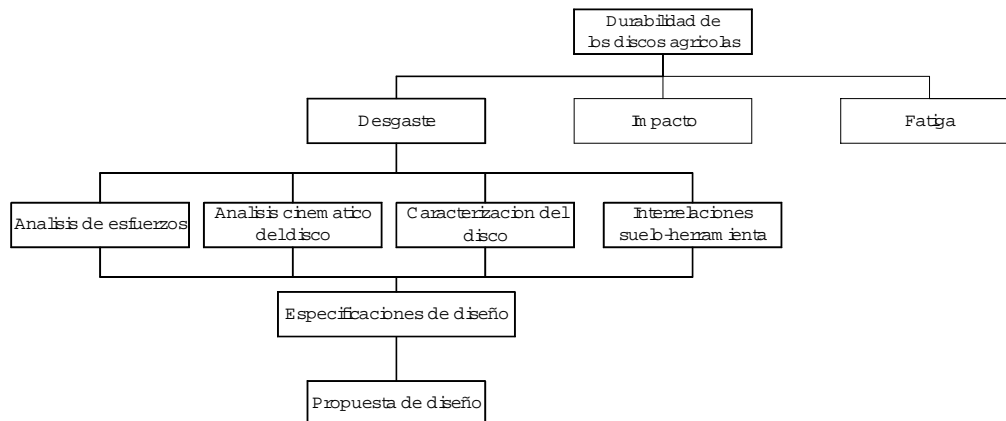
Es posible diseñar un banco de pruebas para implementos de labranza que simule las condiciones de campo y se obtenga información confiable acerca de la vida útil de los componentes en contacto con el suelo.

7.2 Desarrollo de las especificaciones de diseño

Para el desarrollo del diseño del banco se han detectado las siguientes tareas o problemas a resolver:

1. Caracterización de los discos utilizados en las operaciones de labranza primaria. (Determinación de las características geométricas, composición química, tratamientos térmicos, dureza etc)
2. Caracterización de la geometría de un cuerpo de arado de discos.
3. Caracterización de la cinemática del implemento de labranza y en particular del disco de trabajo. (velocidad de trabajo promedio, particularidades del movimiento del disco, rotación, desplazamiento)
4. Las magnitudes y direcciones de las fuerzas involucradas en los procesos de abrasión y desgaste entre el suelo y las herramientas de labranza (suelo-disco).
5. Las características abrasivas de los suelos agrícolas.
6. Materiales que puedan simular las características abrasivas del suelo.

La grafica 7.1-3 que se muestra a continuación nos permite apreciar en forma global el planteamiento del problema en particular.



Grafica 7.1-3 Planteamiento del problema

7.3 Caracterización de los discos agrícolas.

Es necesaria la caracterización de los discos, entre otras cosas por que de su forma, composición química, dureza y acabado dependen en mayor o menor grado su capacidad para resistir el desgaste abrasivo del suelo.

7.3.1 Geometría

La geometría de los discos agrícolas tiene una gran importancia en la forma como éstos trabajan en el suelo, y como el suelo reacciona sobre el disco

Al respecto (Abo, 1986) señala. El tamaño físico y la forma de un disco, su colocación relativa a la dirección del movimiento a través del suelo y las propiedades del suelo en si mismas determinan sus características de desempeño.

Es decir las características de desempeño de un disco dependen del movimiento de éste dentro del suelo, así como de su forma, por ejemplo, la geometría de un disco es aprovechada para llevar a cabo el trabajo de corte y pulverización del suelo en condiciones más severas que en las que trabaja un arado de vertederas, ya que éstos últimos por su configuración oponen mayor resistencia a las fuerzas de reacción del suelo y por consecuencia son mas susceptibles de sufrir un grado de deterioro mayor.

(Kepner, 1978) señala: Las hojas de los discos de rastras y discos de arado son cóncavas, generalmente representan la sección

de una esfera hueca. La acción de la hoja cóncava del disco es en cierta forma similar a la acción de la parte baja de una vertedera de arado en el sentido que el suelo es levantado, pulverizado, parcialmente invertido, y desplazado hacia un solo lado. Los discos de arado mueven todo el suelo hacia el mismo lado en tanto que los discos de rastras tienen un equipo que mueve el suelo en una dirección opuesta.

Por otra parte (Ortiz-Cañavate 1995) señala. El disco constituye el elemento fundamental en los arados de discos, ya que es el que realiza el trabajo. Se trata de un casquete esférico que puede girar sobre un eje diametral. Estos casquetes tienen diámetros y radios de curvatura de dimensiones diversas, adaptadas a las distintas labores del suelo.

El tipo de discos que se podrán evaluar en el banco de pruebas son, por su geometría y dimensiones y de acuerdo a la norma mexicana, NMX-0-189-1984, MAQUINARIA AGRICOLA - IMPLEMENTO - DISCOS PARA MOVER TIERRAS (para mayor referencia vaya a la sección 5.2), discos cóncavos, esféricos con fondo plano cónico, de perímetro liso, y filo interior o exterior, con un barreno central y varios barrenos equidistantes colocados en forma radial.

El tamaño de los discos a probar son todos aquellos que cumplan con las especificaciones anteriores y que además se encuentren en los rangos especificados que se indican en la figura 1 y tabla 2 de la norma NMX-0-189-198.

7.3.2 Composición química.

El grado de desgaste que puede sufrir un objeto sujeto a fuerzas abrasivas depende, además de dichas fuerzas, de su capacidad para soportar tales efectos abrasivos. Los discos agrícolas son fabricados de materiales altamente resistentes al desgaste, es necesario conocer la composición química de los discos para determinar como ésta afecta el grado de desgaste (pérdida de material) durante el trabajo.

(Askeland, 1995) Los materiales con alta dureza y alta resistencia en caliente son más resistentes al desgaste abrasivo. Los materiales típicos utilizados para las aplicaciones de desgaste abrasivo incluyen los aceros templados y revenidos, los aceros carburizados o endurecidos superficialmente, los aceros al manganeso

que se endurecen por trabajo durante el uso, las aleaciones de cobalto como la estelita, los materiales compuestos, las fundiciones de hierro blanco y las superficies duras producidas por la soldadura.

(Ortiz-Cañavate 1995) señala: Los discos se construyen a partir de una chapa de acero laminada, la cual es troquelada, estampada y tratada térmicamente para conseguir mediante ésta última operación, la dureza superficial necesaria par evitar en lo posible, el desgaste, sobre todo en el borde.

La composición química de los discos a probar deberá cumplir con las especificaciones de la norma NMX-0-189-1984. Ver Capitulo 5.

7.3.3 Dureza y acabado

La dureza y acabado de los discos a probar deberán cumplir con la especificaciones de la norma NMX-0-189-1984 (Capitulo 5 sección 5.2)

7.4 Geometría de cuerpo de arado

El cuerpo de arado (también llamado brazo portadisco) se compone de varios elementos que transmiten las cargas del disco al bastidor, algunos de éstos componente permiten que el disco sea orientado en diferentes posiciones, respecto a la línea de avance del tractor (ángulo de ataque), así como con respecto al eje vertical del disco (ángulo de inclinación). El banco de pruebas debe tener la posibilidad de orientar el disco en el rango de posiciones posibles. Una solución simple a este problema es adaptar un cuerpo de arado estándar que incluya ajustes para ángulo de ataque y ángulo vertical.

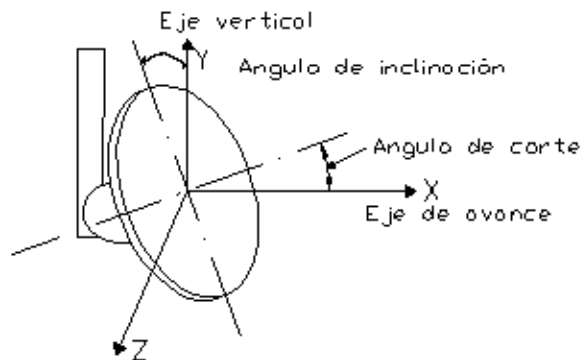


Figura 7.4-1 Angulo de corte y ángulo de inclinación (Ochoa 2002)

El ángulo de ataque se forma en el plano horizontal entre los ejes “X y Z”, considerando que el eje “X” es el eje de avance del arado y el eje “Y” es el eje vertical.

El ángulo de inclinación se forma entre el eje vertical (eje “Y”) y la línea de inclinación formada por el filo del disco, la cual pasa por el centro del mismo

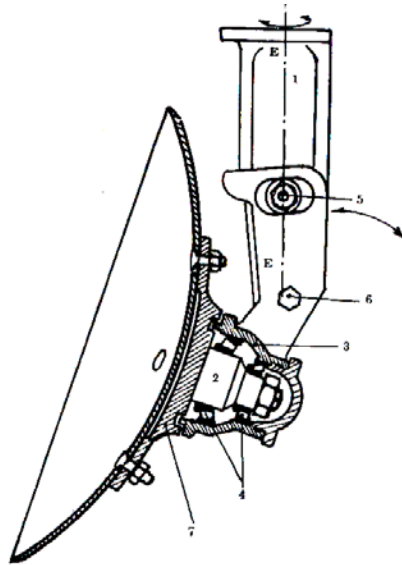


Figura 7.4-2 Esquema del brazo portadisco. (OrtizCañavate 1995)

(Ortiz-Cañavate, 1995) El brazo portadisco es un conjunto de elementos que unen al disco con el bastidor del arado, como se muestra en la figura 7.4-2

Consta de un brazo central (1) en cuyo extremo lleva un eje (2) solidario al disco, que gira con éste cuando trabaja. se une a la carcasa (3) mediante unos rodamientos (4) que facilitan el movimiento de rotación; éstos, con el tiempo, se desgastan, debido fundamentalmente a las cargas a que están sometidos durante el trabajo, produciendo una serie de holguras por las cuales se aumenta el riesgo de rotura. Como puede verse, existe una tuerca de regulación (5) que permite inclinar más o menos el disco hacia delante, girando alrededor del perno (6). Entre la carcasa (3) y la placa soporte del disco (7), existe una junta de goma que impide el paso de elementos abrasivos que pueden dañar los rodamientos.

Otra característica del brazo portadisco, es que debe tener la posibilidad de girar alrededor de un eje vertical EE, a fin de poder modificar la posición del disco en sentido lateral.

En el caso particular del banco de pruebas, es necesario producir un par sobre el eje (2), solidario al brazo principal, que actué en contra de las fuerzas normal N y de fricción μ , que simulan las reacciones del suelo sobre el disco. Mas adelante se discutirán en detalle estos aspectos.

El cuerpo de arado (brazo portadisco) que se utilizará como parte del diseño del banco de pruebas es el Modelo ARH 800-3, de un arado de discos marca New Holland, con el eje del plato modificado para adaptar un motor que produzca un par con respecto al eje del disco. Figuras 7.4-3 y 6.4-4 (

para mayor referencia vaya al plano general **BP013**).

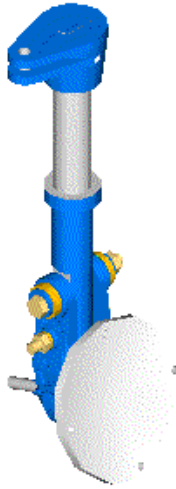


Figura 7.4-3 Brazo portadisco New Holland modelo ARH 800-3, con eje de plato modificado.

7.5 Caracterización de la cinemática del disco de trabajo

El análisis de la cinemática del disco nos permitirá determinar las velocidades a las que el disco en condiciones normales de trabajo funciona, ésta información desde luego que nos es de gran importancia para determinar la relación velocidad de trabajo-desgaste. Por otra parte, no hay que olvidar que uno de los objetivos del banco es la reducción de los costos durante las pruebas de durabilidad, para ello es necesario que los recursos utilizados tengan un valor menor y además, que la duración de la prueba sea menor. El banco deberá entonces, a través de una prueba de desgaste acelerado, proporcionar la información necesaria para estimar la durabilidad de los discos de trabajo, para ello debemos establecer la relación entre velocidad de trabajo, fuerzas actuantes, (incluidas las fuerzas de fricción metal-suelo) y tiempo contra volumen de material perdido, un método utilizado para medir la abrasión en materiales metálicos explicado en la norma ASTM G65 nos puede aportar algunas ideas al respecto (ver Capítulo 5 sección 5.4, de este trabajo y la norma indicada).

Ahora bien, es muy difícil establecer un modelo matemático para determinar, como éstas variables (velocidad, fuerza, tiempo, características de material) inciden en la respuesta al desgaste abrasivo de los discos de arado. Este modelo deberá desarrollarse mediante la información técnica adecuada (velocidad y par del motor impulsor, fuerzas aplicadas,

características abrasivas de los materiales utilizadas en el banco, condiciones generales en que se efectúa la prueba, etc.), y los trabajos experimentales que deberán de llevarse a cabo una vez construido el banco.

En relación con el movimiento del disco, a través del suelo, Nartov (1985) señala lo siguiente: La superficie de trabajo del disco tiene un funcionamiento complejo, al mismo tiempo que se mueve en dirección del movimiento del tractor. Los discos rotan sobre sus ejes bajo la acción de las fuerzas de reacción del suelo, es decir, el movimiento del disco, a través del suelo puede dividirse en dos partes, (Nartov 1985). El desplazamiento del disco de la posición I a la posición III (Fig. 5.8-3) puede ser dividido en 2 partes, una en el plano del filo de corte del disco a lo largo de la línea I - II y el segundo es perpendicular al primero, a lo largo de la línea II-III. Durante el movimiento del segmento I – II, el disco no únicamente se mueve hacia delante, sino que rota sobre su eje (Ver capítulo 5 sección 5.8).

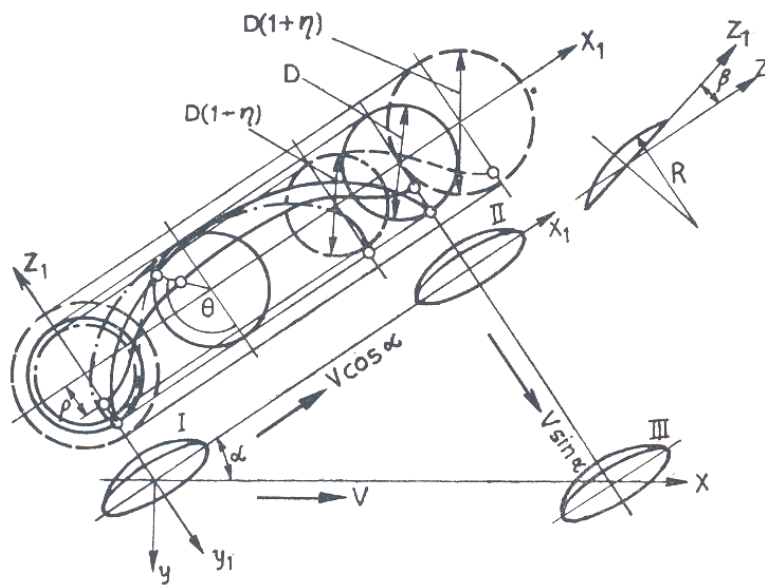


Fig. 5.8-3 Cinemática del disco de trabajo (Nartov 1985)

El banco de pruebas proporcionará un par motor mediante el acoplamiento de un motor impulsor al eje del plato del disco mediante las adecuaciones apropiadas. ver Fig. 7.5-1 y plano general.

Lo anterior con el propósito de simular, de acuerdo con Nartov el movimiento del disco respecto del plano del filo de corte que va de la posición I a la posición II de la Fig. 5.8-3. (Esta figura ya ha sido referenciada en el capítulo 5 y se incluye aquí para comodidad del

lector).

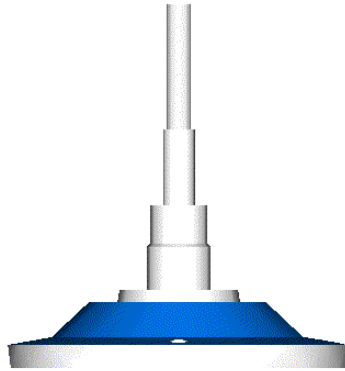


Fig. 7.5-1 Plato del disco con flecha modificada para acoplamiento de motor impulsor.

Dos casos de rodamiento del disco son posibles.(Nartov,1985)

1. Rodamiento puro, en el cual la velocidad circunferencial lineal del filo del disco es igual a la velocidad de avance V_1 del disco, a lo largo de la línea I – II (Es decir donde no existe patinaje)

$$V_1 = V \cos \alpha$$

Donde V es la velocidad de avance de la maquina.

La velocidad angular de rotación del disco en este caso es igual a

$$\omega = V_1 / D / 2 = 2 V \cos \alpha / D$$

(Ortiz-Cañavate 1995) Las velocidades de trabajo típicas para Arado de discos o vertedera son del orden de 5 a 9 km/hr. Ortiz-Cañavate señala también que los valores mas comunes para el ángulo de corte varían entre 40° y 45° .

Tomando en consideración ésta información y considerando un disco de 28”(711 mm) de diámetro y una velocidad de 5 km/hr, la velocidad angular promedio de éste disco si no existe patinaje y el ángulo de corte es de 42.5° es:

$$\omega = 2V \cos \alpha / D = [(2)5000m \cos 42.5^\circ / 0.711m] / 3600 s = 2.88 \text{ Rad/s}$$

Convirtiendo a RPM tenemos

$$1 \text{ radian} = 180/\pi \text{ Grados} \quad (2.88)(180)/\pi = 165^\circ$$

$$360^\circ = 1 \text{ Rev} \quad 165^\circ/360^\circ = 0.4584 \text{ Rev/s}$$

$$(0.4584 \text{ Rev}) (60 \text{ s}) = 27.5 \text{ RPM}$$

Haciendo el mismo análisis para una velocidad de avance 9 km/hr tenemos que la velocidad de rotación del disco en RPM es:

$$49.5 \text{ RPM}$$

Si consideramos el valor mínimo recomendado para el ángulo de corte, donde la velocidad de giro es máxima, el disco de diámetro mas pequeño de acuerdo a la norma NMX-0-189-1984 14" (356 mm) y velocidad de avance máxima recomendada encontramos que la velocidad de rotación máxima de un disco sin que exista patinaje es:

$$\omega = 2V \cos \alpha / D = [(2)9000m \cos 40^\circ / 0.356m] / 3600 \text{ s} = 10.759 \text{ Rad/s}$$

Convirtiendo a RPM tenemos

$$1 \text{ radian} = 180/\pi \text{ Grados} \quad (10.759)(180)/\pi = 616.45^\circ$$

$$360^\circ = 1 \text{ Rev} \quad 616.45^\circ/360^\circ = 1.712356 \text{ Rev/s}$$

$$(1.712356 \text{ Rev}) (60 \text{ s}) = 102.74 \text{ RPM.}$$

Por otra parte, al considerar el deslizamiento del disco en el suelo, debemos tomar en cuenta el coeficiente de deslizamiento η (Nartov, 1985)

$$\omega = 2V \cos \alpha / D (1 \pm \eta) \quad (\text{Ver sección 5.8})$$

Esta información nos proporciona una idea aproximada de las velocidades de rotación del disco en condiciones normales de trabajo, sin embargo no podemos derivar de esto una estimación del desgaste del disco aun conociendo las características abrasivas del suelo contra la herramienta esto como ya se ha comentado debe derivarse además de un análisis experimental.

Por otra parte si deseamos reducir el tiempo necesario para la prueba será necesario aumentar la velocidad de rotación del disco respecto a su velocidad en condiciones normales de operación el motor impulsor deberá entonces tener la potencia suficiente para generar dichas velocidades y vencer las fuerzas que se oponen a su

movimiento.

Durante la etapa experimental debe de considerarse el calor producido por las fuerzas abrasivas disco-material de desgaste a una velocidad de giro mayor que en condiciones de campo, además la influencia de otros factores como la humedad, y lubricación en el disco pueden ser importantes.

7.6 Magnitudes y direcciones de las fuerzas involucradas en los procesos de abrasión y desgaste del disco.

(Kepner, 1978) El efecto neto de todas las fuerzas actuando sobre un disco como resultado de la operaciones de corte, pulverización, elevación e inversión del corte del surco, además de cualquier otra fuerza parásita puede ser expresada en varias formas. (Ver Capitulo 5 sección 5.7)

Una de las formas de expresar como estas fuerzas actúan sobre el disco puede verse en la figura 7.6-1.

Fig. 7.6-1(Kepner1978) Fuerzas resultantes del suelo actuando sobre un disco de 61 cm (24 pulgadas) en condiciones normales de campo en un suelo de textura media, los efectos totales son presentados por dos fuerzas no intersectantes. Una fuerza de empuje **T** paralela al eje del disco mas una fuerza radial **U**

Al respecto Kepner (1978) señala. La influencia de diferentes variables sobre las reacciones del suelo ha sido investigada en una serie de pruebas hechas bajo un cuidadosos control de las condiciones del suelo del suelo en la USDA's National Tillage Machinery Laboratory.

En estas pruebas se utilizaron dos tipos de suelo uno

ligeramente pesado arcilloso con un contenido de humedad de 14.9 a 17.6 % y uno fino arcillo arenoso con un 8.5 a un 10.7% de humedad la mayoría de las pruebas fueron echas con un disco de arado de 660 mm y un radio de curvatura de 569 mm , otras características de la prueba y los resultados obtenidos pueden verse en la sección 5.7 y la figura 5.7-5

De acuerdo con estas pruebas la relación máxima de fuerzas utilizadas en los discos de arado para un suelo arcillosos son de 0.6 kN para la fuerza vertical (**V**) y de 2.6 kN para un ángulo de corte de 45° y para un ángulo vertical de 15°, todo esto a profundidades de 15 cm , la relación entre la fuerza de tiro (**L**) y la fuerza vertical (**V**) es como es de 4.3 veces

El valor máximo para las fuerzas **L** y **V** en las condiciones especificadas pueden verse en la Fig. 5.8-4 de la sección 5.8.

Obteniendo dicha relación tenemos que

$$\mathbf{L} / \mathbf{V} = 2.6 / 0.6 = 4.3 \text{ veces}$$

Por otra parte (Hunt 1991) indica que la fuerza de tiro (**L**) para diferentes tipos de suelo por metro de ancho de corte fluctúa entre un máximo de 3.2 kN para suelos ligeros y un 16.6 kN para suelos pesados (Tabla 7.6-1) de la relación obtenida de Kepner tenemos que el valor de **V** fluctúa en el orden de 0.74 kN a 3.86 kN por metro de corte.

Fig. 7.6-1 Requerimiento de potencia para implementos de labranza (Hunt 1991)

Requerimientos de potencia de Maquinaria de Campo a 4.8 Km/hr [3 mph]					
Maquina		Tiro, fuerza por anchura unitaria kN/m [lb/pie]		Energia de trabajo kWxhr/ha [HPxhr/a]	
Implementos de labranza					
Arados de vertedera o de disco (18cm [7 pulg]) de profundidad					
Suelos ligeros		3.2-6.3	220-430	8.7-17.5	4.7-9.5
Suelos medios		5.3-9.5	350-650	14.6-25.8	7.9-14
Suelos pesados		8.5-16.6	580-1140	22.1-46.1	12.0- 25

$$\mathbf{V} \text{ (para suelos ligeros)} = 3.2 / 4.3 = 0.74 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{V} \text{ (para suelos pesados)} = 16.6 / 4.3 = 3.86 \text{ kN/m}$$

Si consideramos un ángulo de trabajo promedio de 45° en un disco de diámetro máximo 813 mm (32") obtenemos un ancho máximo

de corte de 300 mm, tomando en cuenta el traslape entre discos.

$$(0.74 \text{ kN/m}) (0.3\text{m}) = 0.22 \text{ kN}$$

$$(3.86 \text{ kN/m}) (0.3\text{m}) = 1.16 \text{ kN}$$

De acuerdo con Kepner (1978) y Nartov (1985) las fuerzas que actúan sobre el filo del disco figura 7.6-1 son una fuerza normal (**V**) y la fuerza de fricción (**M**) donde **M** es producto de **V** x μ . y μ es el ángulo de fricción metal suelo.

Dichas fuerzas son las fuerzas involucradas en los procesos de desgaste por abrasión y son las que consideraremos para el diseño del banco.

(Ortiz-Cañavate, 1989) El rozamiento metal-suelo es el factor mas importante desde el punto de vista de la resistencia que se genera al deslizamiento del suelo. Depende principalmente de la rugosidad de las superficies de trabajo de los aperos, y del tipo de materiales que integran el suelo. Una superficie mal pulimentada u oxidada puede generar unos ángulos de rozamiento de 20° a 25° mientras que con baja rugosidad se puede llegar a 10°.

Para valores de ángulo de rozamiento que van de 10° a 25° tenemos que:

$$\text{Tan}^{-1} 10^\circ = 0.18$$

$$\text{Tan}^{-1} 25^\circ = 0.466$$

Por lo que el valor para μ varia de 0.18 a 0.466.

Finalmente los rangos de las fuerzas **U** que actúan en el filo del disco y que dependen de las fuerzas **V** y **M** (Fig. 7.6-1) las podemos obtener cómo sigue:

$$\text{Para } V = 0.22 \quad \mu = 0.18$$

$$[(0.22)^2 + [(0.22)(0.18)]^2]^{1/2} = 0.22 \text{ kN}$$

$$\text{Para } V = 1.16 \quad \mu = 0.466$$

$$[(1.16)^2 + [(1.16)(0.466)]^2]^{1/2} = 1.27 \text{ kN}$$

Al considerar este rango de fuerzas y el disco de diámetro mayor 813 mm (según NMX-0-189-1984) tenemos que el par demandado para vencer dichas fuerzas es:

Momento de un par = $F \times d$

Donde: F = Fuerza .

d = distancia del brazo.

Luego:

$$0.22 \times .813/2 = 89.43 \text{ Nm}$$

$$1.27 \times .813/2 = 516 \text{ Nm}$$

Que es el rango de par respecto al eje del disco. Para lograr simular el par que afecta el movimiento del disco se utilizara un motor hidráulico mas adelante se dan las especificaciones de dicho motor.

7.7 Las características abrasivas de los suelos agrícolas.

Durante los procesos de corte y pulverización del suelo por parte de los discos de trabajo, además de las fuerzas de corte existe una fuerza adicional que se opone al deslizamiento de la herramienta a través del suelo, esta fuerza es debida al rozamiento entre las superficies del disco y la porción del suelo que esta siendo cortado y es la principal responsable del desgaste en los discos de trabajo. Esto ocurre cuando partículas mas duras del suelo "rayan" el material mas suave del disco y traen como consecuencia una perdida del material. Esta perdida de material en el disco trae como consecuencia que progresivamente las dimensiones y resistencia del disco vayan disminuyendo hasta llegar a un punto en el cual el disco no trabaja adecuadamente. De acuerdo con Ortiz-Cañavate (1989) existen dos variables que influyen en la resistencia de las superficies de trabajo al deslizamiento de ellas sobre la masa del suelo. (Capitulo 5 sección 5.12)

1. El coeficiente de adherencia. Representa las fuerzas de atracción que se producen en la interfase suelo-metal debido a la presencia de humedad
2. El Coeficiente de fricción o de rozamiento externo. Es el rozamiento metal suelo y es el factor mas importante desde el punto de vista de la resistencia que se genera al

deslizamiento del suelo.

Como consecuencia del rozamiento externo se presenta desgaste en los discos y el grado de desgaste que sufren los discos es consecuencia de la magnitud de las fuerzas involucradas y de la capacidad abrasiva de los suelos en que se este trabajando.

(Askeland 1994) El desgaste por abrasión ocurre cuando el material se elimina de la superficie al contacto con partícula duras la cuales pueden estar presentes en la superficie de un segundo material o como, partículas sueltas entre las dos superficies. Este tipo de desgaste es común en maquinas y equipos como arados, cuchillas de niveladoras, trituradoras y molinos para el manejo de materiales abrasivos.(Capitulo 5 sección 5.11)

La tabla 2 del apéndice B muestra valores de ángulos de rozamiento interno para diferentes tipos de suelo. Se puede observar claramente que los suelos arenosos son los que presentan el mayor ángulo de rozamiento (hasta 35° - 40°) en tanto que los suelos arcillosos presentar rangos menores (hasta 10° a 15°)

Nuevamente como ya se ha comentado las características abrasivas del suelo son otro parámetro que determina el grado de desgaste en el disco pero al interactuar con las fuerzas actuantes velocidades, materiales del disco, y área de contacto como factores mas significativos. Obtener una predicción de desgaste mediante una análisis matemático debería considerar como en la formula de desgaste adhesivo (Capitulo 5 sección 5.11).

El coeficiente de fricción metal-suelo (o metal material de prueba).

Las fuerzas normales (V) en las superficies en contacto.

La distancia recorrida sobre el área de deslizamiento.

La dureza del material del disco.

(Shakelford. 1992) Una forma cuantitativa de determinar el desgaste, para las formas más comunes de desgaste adhesivo se ha desarrollado.

$$V = \frac{k Px}{3H}$$

Donde **V** es el volumen del material desgastado, bajo una carga **P** deslizando sobre una distancia x , siendo **H** la dureza de la superficie que esta siendo desgastada, el termino k se conoce como el coeficiente de desgaste y representa la probabilidad de que se forme un fragmento adhesivo. Al igual que el coeficiente de fricción, el coeficiente de desgaste es una constante adimensional.

La tabla 5.10-1 da los valores de k para un amplio rango de combinaciones de deslizamiento entre materiales (Capitulo 5)

7.8 Materiales abrasivos.

La norma ASTM G115 (Guía para la medición y reporte de coeficientes de fricción). Presenta información para asistir en la selección de un método para medir las propiedades de fricción entre diversos materiales. Esta guía puede servir para seleccionar un método para determinar los coeficientes de fricción entre el disco y diferentes materiales que pudieran ser empleados en el banco de pruebas. En la sección 5.5 y el Apéndice 4 se puede encontrar información de referencia, esta parte de la investigación es de suma importancia y requiere de un trabajo minucioso para seccionar los materiales mas adecuados para el banco de pruebas

Esta guía aplica a la mayoría de los materiales sólidos y a la mayoría de las técnicas de medición de fricción y equipos de prueba.

VIII. RESULTADOS

Como resultados del estudio se pudieron obtener las especificaciones, para el banco. Los requerimientos de ingeniería que debieran ser reunidos en el banco no tienen grandes exigencias técnicas de tal manera que, los investigadores y alumnos de la Universidad apoyados con algunos talleres de la localidad (principalmente talleres con maquinas-herramienta) pueden resolver los problemas de dichas exigencias.

1. Los tipos mas comunes de discos de arado a probar en el banco están especificados en la norma NMX-0-189-1984, MAQUINARIA AGRICOLA - IMPLEMENTO - DISCOS PARA MOVER TIERRAS, el banco estará adaptado para que discos desde 14" (356 mm) hasta 32" (813 mm) sean acoplados a un plato estandarizado donde se sujetara mediante tornillos de ajuste de cabeza cuadrada igualmente estandarizados. Para el diseño se tomo como base un cuerpo de arado de un arado New Holland Mod. ARH 800-3 con algunas modificaciones.

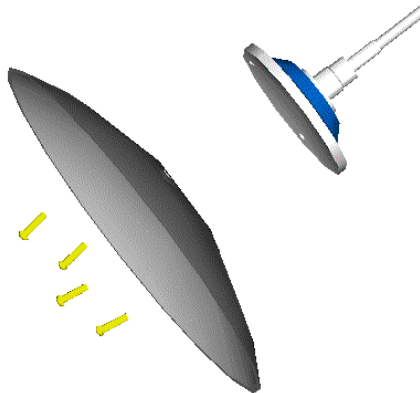


Figura 8.1 Plato portadisco para discos de 14" a 32" . En la figura se muestra un disco de 28" y 4 tornillos de sujeción (1/2" x 1-3/4")

2. El disco tiene la posibilidad de ajustar su posición respecto al plano horizontal y vertical en un rango igual al que se puede obtener en condiciones de trabajo en campo, esto se logra por el uso de un brazo portadisco Marca New Holland Modelo ARH 800-3 (cuerpo de arado) completo adaptado a una estructura de soporte, como se muestra en la figura 8.2 los ajustes horizontal y vertical pueden hacerse mediante la variación de la posición del brazo manivela y el buje con agujero excéntrico respectivamente.

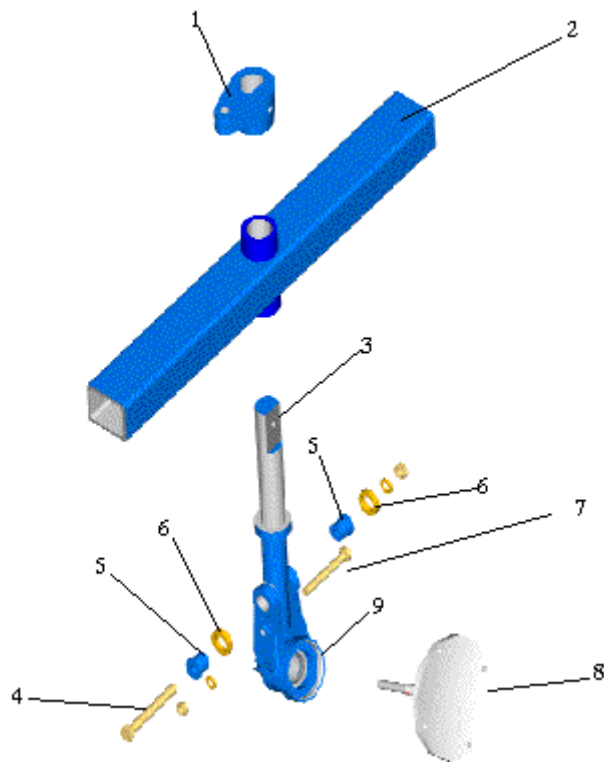


Fig. 8.2 Despiece de brazo portadisco del banco de pruebas. El brazo manivela (1) permite modificar el ángulo del disco con respecto a al plano vertical que pasa por su centro, en tanto que los bujes con agujero excéntrico (5) permiten variar el ángulo vertical al rotar el brazo del disco (9) con respecto al tornillo pivote (7) los bujes de aumento (6) han sido agregados al modelo original ARH 800-3 para eliminar dos guardas que protegen la masa del disco, la flecha del plato (8) también a sido modificada para acoplar motor y se le hizo un agujero a la tapa del brazo del disco por donde pasa la flecha modificada.

Para la selección del brazo solo se tomo en cuenta que tuviera la posibilidad de variar los ángulos vertical y horizontal tal como se varían en campo y el plato tuviera sujeciones estándar para adaptar el rango de discos ya especificados

3. La máxima velocidad posible dentro de las condiciones aceptables de trabajo que se encontró fue para un disco de 14" (Ver sección 7.5) 102.74 RPM la velocidad aproximada para discos de tamaño mas comúnmente utilizados 28" en condiciones normales de trabajo fue de 27.5 RPM
4. El valor máximo de par de torsión demandado para discos en las condiciones mas extremas se encontró que es de alrededor de 516 Nm . El análisis y los cálculos al respecto se muestran en la sección 7.6
5. La información generada en los puntos 3 y 4 nos llevo a la obtención de las especificaciones de un motor que nos provea la potencia, velocidad y torque demandados. Las especificaciones de un motor hidráulico comercial que reúne dichas características se muestra en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Especificaciones de motor hidráulico (Fuente Rexroth Industrial Catalog 1993)

Las velocidades y el par específicas para cada caso en particular serán determinadas en la etapa de evaluación y prueba, del prototipo.

6. El valor máximo encontrado para el esfuerzo normal V que actúa en el filo del disco fue de 1.27 kN Un rango de valores de carga normal V puede ser provista por un resorte colocado dentro de una caja o tambor y un mecanismo de palancas, dichos componentes han sido configurados para ejercer una fuerza máxima V en el disco de mayor diámetro (32") de 1.47 kN de alrededor de 150 Kgf Fig. 8.3 (Ver plano general **BP013**), a esta fuerza hay que agregar la fuerza producida por el peso del motor y carro del rodillo que de 12 kg promedio dependiendo de la altura del carro.

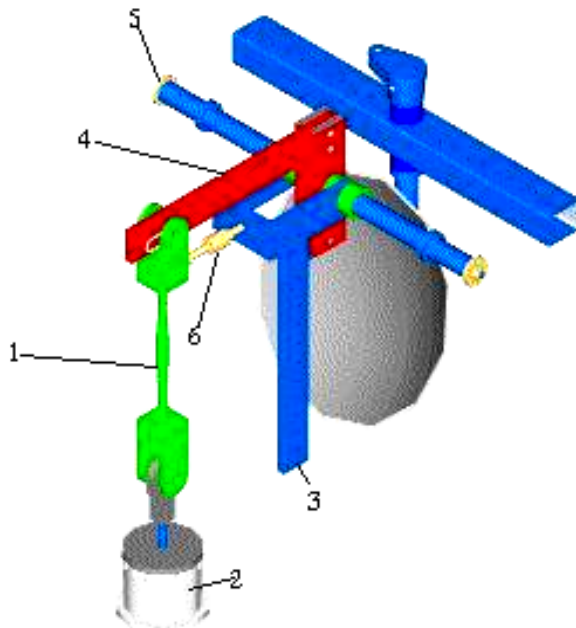


Fig. 8.3 Detalle de mecanismo de aplicación de carga (1) Mecanismo tensor; (2) Caja de resortes; (3); Brazo de carga (4) Palanca, (5) Barra deslizante; (6) Mecanismo de ajuste longitudinal

7. Como se puede ver en el plano general **BP013** los principios de

funcionamiento y operación del banco como se propone hasta este momento son como sigue: El disco de prueba (2) montado en el brazo portadisco (1) se ajusta con los 4 tornillos especiales en sus alojamientos abocardados cuadrados como en su ajuste normal (Fig. 8.1). El disco puede ser girado en sentido vertical modificando la posición del buje con agujero excéntrico diseñado para este propósito, el disco además puede ser girado con respecto del eje principal del brazo portadisco con la manivela de ajuste de ángulo horizontal (10); Una vez ajustado la posición del disco el brazo de carga se acerca al disco hasta que el rodillo de desgaste montado en el mecanismo de desgaste (12) tope con el filo del disco; El mecanismo de ajuste de carga (6) se calibra al valor de carga requerido por efecto de los resortes de compresión alojados en la caja porta-resortes (5); los motores (9) deberán ser ajustados para aportar la velocidad y torque requerido.

8. La prueba de desgaste en discos, de acuerdo al procedimiento del manual de evaluación implica el trabajo de un tractor trabajando 150 hrs de manera continua, el costo unitario promedio por hectárea es de \$450.00 pesos, si un tractor categoría II maquila aproximadamente 1 hectárea cada 3 horas, entonces se requiere trabajar un promedio de 50 hectáreas lo que representa \$22,500.00 pesos para cubrir el número de hectáreas y verificar la respuesta del efecto abrasivo del suelo sobre el disco (también hay que agregar el análisis de laboratorio previo y posterior a la prueba de aradura, pero esto también sería parte del procedimiento en el banco)

El número de tractores vendidos en México durante 1999 fue de 11,046 unidades (Fernández, 1999), de los cuales el 45% fue adquirido a través del programa de mecanización de alianza para el campo lo que representa 4,927 unidades, si consideramos que al menos un equipo de arado de discos se vende por cada tractor vendido estamos hablando de la misma cantidad de unidades de arado vendidas durante ese mismo año. La cantidad de discos utilizados en dichos arados considerando que por lo menos 3 discos son utilizados en cada arado es de por lo menos 14, 781 discos vendidos durante 1999, La tendencia en ventas de maquinaria a seguido creciendo por lo que se puede decir que el número de discos utilizados también es mayor. una investigación más detallada nos ofrecerá datos más precisos pero haciendo un análisis conservador el número de discos vendido durante ese año no puede ser menor a 15 000 unidades, por otra parte no se están considerando discos para otros propósitos como discos para rastras.

No está establecido el tamaño de la muestra para determinar

si un lote de discos es aprobado o no, pero si se considera que de la muestra mas conservadora de 15,000 unidades de discos producidas durante un año se prueba el 0.1% (lo cual representa 1 disco por cada 1000)

$$15 \times \$22,500.00 = \$337,500.00 \text{ pesos.}$$

El costo del material y mano de obra requerido para la fabricación de un prototipo fue estimado en cerca de \$ 65,000.00 pesos M. N. , desglosado como sigue:

Estructura de soporte	\$1,500.00
Brazo de palanca	\$800.00
Caja de resorte	\$1,800.00
Resorte	\$500.00
Mecanismo de Ajuste de carga	\$1000.00
Sistema de potencia (Motores, bomba de flujo variable válvulas, filtros etc.)	\$50,000.00
Mecanismo de ajuste longitudinal	\$600.00
Brazo porta disco	\$4,500.00
Barra de deslizamiento	\$500.00
Brazo de palanca	\$600.00
Mecanismo de desgaste	\$2500.00
Total	63,600.00

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. El desarrollo de esta primera etapa como ya se ha señalado es el primer paso para el desarrollo del banco de pruebas y aporta un

primer acercamiento a lo que será el diseño final, es decir como en cualquier nuevo producto existen aun áreas de mejora de esta primera propuesta y es necesario para alcanzar los objetivos finales continuar con este trabajo, sin embargo, de acuerdo con los resultados que se han obtenido hasta este momento se puede decir que existen los fundamentos suficientes para afirmar que un banco de pruebas para pruebas de desgaste en discos agrícolas, es viable desde los puntos de vista técnico y económico.

2. Para llevar a cabo una prueba será necesario que los disco sean verificados, medidos y pesados con instrumentos de precisión antes y después de la misma, además debe de registrar las condiciones específicas en el que se llevara esta a fin de determinar los cambios sufridos en dimensión y volumen, los discos a probar además deberán cumplir con los requerimientos de la norma NMX-0-189-1984, MAQUINARIA AGRICOLA - IMPLEMENTO - DISCOS PARA MOVER TIERRAS.
3. Debiera de ponerse especial atención en llevar acabo una investigación detallada acerca de materiales que pudieran utilizarse como material abrasivo en el banco de pruebas y su relación con las características abrasivas de los suelos agrícolas. Las normas ASTM G115 (Guía para la Medición y Reporte de Coeficientes de Fricción) y DIN-50324 (Pruebas de Fricción y Desgaste), presentan información para asistir en la selección de un método para medir las propiedades de fricción entre diversos materiales, otra normas que pueden ser útiles para este estudio se encuentran en el anexo C de este trabajo
4. Otra área de oportunidad muy importante por su utilidad en determinar las fallas por fatiga tanto en los discos como en los baleros de carga de la masa del disco, podría centrarse en encontrar los ciclos de carga a los que son sujetos los discos y en lugar de aplicar una carga fija mediante resortes o pesos podría aplicarse ciclos de carga mediante actuadores controlados electrónicamente. (esto nos permitirá determinar mediante pruebas destructiva la falla por fatiga en el disco y baleros de carga). Es importante señala que para lograr esto habrá de agregar además de la fuerza (V) considerada para desgaste, la fuerza de tiro y la fuerza lateral.
5. Con respecto a la capacidad de carga posible que puede ser aplicada por los mecanismos de resorte y palanca de empuje no se tomo en consideración el peso del motor ni el carro deslizante del rodillo de desgaste, los cuales debido al momento que

generan con respecto al eje que pasa por el centro de la barra deslizante producen una carga adicional sobre el disco de 12 kgf promedio dependiendo de la altura del carro.

6. Uno de los objetivos del banco de pruebas es reducir los tiempos de la evaluación dados en el Manual de Pruebas y Evaluación de Arados, para ello el banco llevara a cabo una prueba de desgaste acelerado, lo que implica que la velocidad de giro del disco deberá ser mayor que en condiciones normales de operación esta situación conjuntamente con las fuerzas de fricción entre el disco y el material abrasivo generaran calor por lo que debe determinarse como incide esta nueva variable en el proceso de desgaste, un sistema de enfriamiento con algún refrigerante pueda utilizarse para mantener esta variable controlada.
7. Ya se ha comentado que para poder desarrollar un modelo semi-empírico que nos permita cuantificar el valor del desgaste a partir de ciertos parámetros conocidos o medidos directamente es necesario obtener a través de la experimentación con diferentes materiales y condiciones de prueba (velocidad, carga, área de desgaste) un coeficiente de desgaste del material de prueba - disco.

Como en la formula para determinar desgaste adhesivo (Shakelford, 1992) una formula para obtener el valor del desgaste (en volumen o masa del material) en los discos debería tomar en consideración los siguientes parámetros.

El coeficiente de fricción metal-suelo (o metal material de prueba).

Las fuerzas normales (V) en las superficies en contacto.

La distancia recorrida sobre el área de deslizamiento.

La dureza del material del disco.

8. Con respecto a la rentabilidad del proyecto, como se puede apreciar en el punto 8 del Capitulo de resultados el costo de material necesario es menor al costo de llevar a cabo 3 pruebas con el procedimiento del manual, no se sabe cuanto costará llevar a cabo la prueba en el banco pero considerando por ejemplo un proceso de rectificación de una flecha en un taller mecánico es de alrededor de \$350.00 pesos, aun considerando que el costo de la prueba en el banco fuera 10 veces más cara esto representaría menos del 20% del costo de la prueba en campo. Por otra parte la inversión inicial se amortizara rápidamente en el primer año y se espera que la vida útil del banco será de por lo menos 10

años

9. Finalmente se debe reiterar que este primer acercamiento al diseño no es la propuesta definitiva y se debe seguir trabajando para afinar cada detalle.

BIBLIOGRAFIA

1. Askeland Donald R. 1994. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Grupo Editorial Iberoamericano, D.F. México
2. Colmenar, A; Castro M, Pérez J. Gestión de Proyectos con Microsoft Project 2000, 2001. Editorial Alfaomega Ra-Ma, Madrid, España
3. Ellman Rodríguez, C. I. 1995. Introducción a la Mecánica de los Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México
4. Folletos y Revistas Informativas New Holland, John Deere.

5. Godwin R. J. *et al*, 1993, A Triaxial Dynamometer for Force and Moment Measurements on Tillage Implements, Journal Agriculture Engineering Research, Number 55, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology, Silsoe, U. K.
6. Harrington, D; Burchard, B; Ptzer D. AutoCAD 2002 Editorial Prentice Hall. D. F. México
7. Hunt, D 1991. Maquinaria Agrícola. Editorial Limusa. D.F. México.
8. Kepner, R. A. , Bainer, R. Barger, E. L. 1978. Principles of Farm Machinery. Publishing Co. Connecticut, EUA
9. Lester J. S. 1966 Como Aumentar la Producción de Alimentos. México: Centro regional de Ayuda Técnica. Agencia Para el Desarrollo Internacional (A. I. D.). D.F. México
10. López Fernández J., Tajadura Zapirain A.1999. AutoCAD 2000 Avanzado Mc Graw Hill, Madrid España.
11. Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 1era edición 1999, Págs. 110, 80, 493. Chapingo, México.
12. Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 1era edición 2001, Págs. 157-162. Chapingo, México.
13. Nartov P.S. ,1985. Disk Soil-Working Implements. A. A. Balkema/Rotterdam. URSS
14. Norton R. I. ,1999. Diseño de Maquinas, Prentice Hall. Chicago USA
15. Norma Mexicana NMX-0-189-1984. Maquinaria Agrícola – Implemento- Discos para Mover Tierras. Chapingo, México.
16. Ochoa, J. G., 2002. Manual de Pruebas y Evaluación de Arados CENEMA. Chapingo, México
17. Ortiz-Cañavate, J., 1995 Las Maquinas Agrícolas y su Aplicación Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España
18. Ortiz-Cañavate J., Hernanz J. L. , 1989. Técnicas de la Mecanización Agraria. Ediciones Mundi Prensa 1989. Madrid, España

19. Shigley J. E. & Mischke R. V, 1992. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Mc Graw-Hill, Michigan EUA.
20. Ramírez Rodríguez, H, 1998. La agricultura y la globalización una experiencia personal, Memorias, II Semana de Agronomía Págs. 1-6, Saltillo, Mexico.
21. Ramos Silveira, Juan 1980. Maquinas Agrícolas. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
22. Hibbeler R. C. 1997, Mecánica de Materiales Prentice hall, D. F. México.
23. REXROTH, Industrial Hydraulics Catalog, 1993 The Rexroth Corporation Edition. 2315 City Line Road, Bethlehem, PA 18018. EUA
24. Shakelford J, 1992. Ciencias de Materiales para Ingenieros. Prentice Hall Hispanoamérica S. A., New York EUA
25. Ullman, G. D., 1992. The Mechanical Design Process. Mc Graw - Hill, Chicago EUA

ANEXOS

ANEXO A

Definiciones Agrotécnicas.

Labranza. (Hunt 1991) define la labranza como las actividades de volteo mecánico del suelo llevadas a cabo con el propósito de nutrir los cultivos. Mas adelante continua, la labranza ocupa más de la mitad de la potencia gastada en las granjas de los Estados Unidos.

Arados de vertedera. (Ortiz-Cañavate 1989) Los arados de vertedera son implementos de labranza básica que se componen de superficies combadas con bordes afilados que desmoronan e invierten el suelo. Un de dos sentidos es un arado reversible, que tiene bases orientadas tanto a la derecha como a la izquierda.

Arados de discos estándar. (Ortiz-Cañavate 1989) Los arados de discos estándar están compuestos de hojas de disco independientes de libre giro, inclinadas un ángulo respecto al suelo. Se usan en áreas problema, en las

que los suelos son extremadamente duros, abundantes en raíces y rocas, tiene características de socavación pobres o que son considerablemente abrasivas.

De la Norma Mexicana de Arados de Disco.

Timón: Es un disco colocado en la parte posterior del equipo de arado y que permite dar una dirección uniforme al avance del arado

Tiempo de trabajo: Se refiere al tiempo total (desde el inicio hasta el final del trabajo).

Estado de piso de arado: Es el subsuelo no trabajado por el arado (parte inferior) y se caracteriza por la dureza de su compactación después del paso del arado.

Ancho de trabajo: Es el ancho de trabajo que se mide directamente en el campo, ancho total de la parcela arada entre el número de trayectos realizados.

Ancho de trabajo real: Se refiere al ancho medido en la superficie de la tierra cuando se realiza un trayecto durante la prueba.

Ancho de trabajo teórico: Es la longitud que forman los extremos del primer y último disco, medidos durante la prueba de estructura.

Porcentaje del ancho de trabajo: Es igual a la división del ancho de trabajo real entre el ancho de trabajo teórico, por cien.

Angulo de inclinación de los discos: Es el ángulo que se forma entre el eje vertical (eje "Y") y la línea de inclinación formada por el filo del disco, la cual pasa por el centro del mismo, este ángulo se puede ver en la figura 6.1

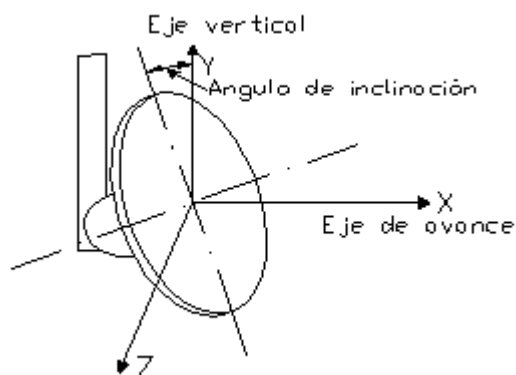


Figura1

Angulo de ataque: Es el ángulo que se forma en el plano horizontal entre los ejes "X y Z", considerando que el eje "X" es el eje de avance del arado y el eje "Y" es el eje vertical, este ángulo se puede ver en la figura 6.2.

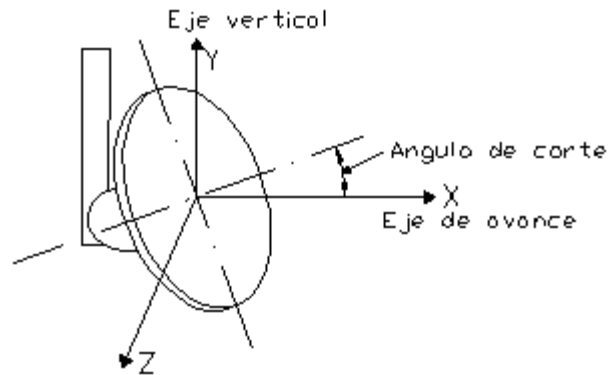


Figura 2

Rendimiento en campo: Es el tiempo trabajado por la unidad de superficie, excluyendo el tiempo parado por averías, dentro de las horas de trabajo.

Cantidad de trabajo en campo: Es la superficie trabajada por la unidad de tiempo de trabajo excluyendo los paros por averías.

Cantidad de trabajo teórico: Es la superficie trabajada por la unidad de tiempo en cierto ancho de arado en caso de haber sido en dirección recta.

Eficiencia de trabajo en el campo: Es la proporción de la cantidad de trabajo en el campo respecto a la cantidad de trabajo teórico.

Resistencia específica: Es la resistencia fraccional por unidad de superficie de corte de arado

De la Norma Mexicana de Discos para Arados

La norma NMX-O-189-1984 establece las siguientes definiciones.

Concavidad. En la medida que presenta la profundidad del disco, al medirse perpendicularmente del centro del mismo en su parte interior al plano formado por su perímetro.

Designación convencional. Es aquella serie de dígitos que identifica el tipo

de disco agrícola de acuerdo con sus dimensiones.

Direccionabilidad. Es la longitud de la trayectoria que sigue la fisura más larga, hecha al disco agrícola al haberse realizado la prueba de bola.

Excentricidad. Es aquella medida que representa la variación radial total, que se produce al hacer girar el disco agrícola con respecto a su propio eje, cuando éste conserva su perpendicularidad con respecto al plano del disco.

Ondulamiento. Es la medida que representa la variación axial total de distintos puntos en el perímetro del disco, medidos en un plano paralelo al eje del disco, cuando éste se hace girar sobre su propio eje.

Planeidad. Es aquella medida que representa la variación de una superficie, medida entre dos planos horizontales de referencia, paralelos a dicha superficie y además paralelos entre sí.

Dureza. Los discos agrícolas de la presente norma, deben cumplir con la dureza establecida en la tabla 1, comprobándose con lo establecido en 7.5 de la misma.

Dureza	Escala	Dureza
Rockwell	“C”	36 a 45
Brinell	Diametro de bola de acero	325 a 415

Tabla 1

Acabado. Los discos agrícolas deben estar libres de rebabas, escoria o cualquier otra deformación superficial. Los filos no deben tener marcas profundas, grietas o fracturas.

En su totalidad deben estar protegidos por una capa de inhibidor de oxidación o bien por una capa de pintura de color negro. Para cualquier otro tipo de acabado debe acordarse entre productor y comprador.

ANEXO B

Propiedades mecánicas de los suelos agrícolas.

(Ortiz-Cañavate,1989)Los suelo agrícolas son objeto de una serie acciones por parte de los vehículos y maquinas agrícolas. para su mejor utilización, los diseñadores y usuarios han de conocer la respuesta del suelo a todo tipo de operación mecánica en la que este implicado además de las condiciones propias del mismo (tipo de suelo, pedregosidad, humedad, cobertura vegetal, etc.)

La utilización de equipos e implementos inadecuados tiene una incidencia negativa en el crecimiento y desarrollo del cultivo, consumo de energía, facilidad de erosión, desgaste prematuro del equipo, tiempo de trabajo y desde luego un aumento en los costos y una disminución de la productividad entre otros factores.

Las variables mas importantes a tomar en cuenta para medir los efectos del suelo sobre el desempeño de los discos de arado serán:

- a. Compactación
- b. Estados de consistencia
- c. Esfuerzo cortante
- d. Resistencia al deslizamiento metal-suelo
- e. Resistencia a la penetración

- f. Condiciones generales del suelo (tipo de suelo, pedregosidad, humedad , cobertura vegetal)

Compactación.

(Ortiz-Cañavate 1989) El proceso por el cual se genera una disminución del volumen del suelo bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico o natural se le denomina compactación, la cuantificación del estado de compactación se realiza en base a los valores que toman una serie de propiedades del suelo, tales como: porosidad, índice de huecos, densidad aparente y densidad real.

El suelo esta formado por partículas sólidas que entre sí dejan unos espacios porosos, o huecos capaces de retener agua y aire en proporciones variables, esto nos lleva a considerar las tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

Cuando sometemos al suelo a la acción de una carga de compresión lo suficientemente grande como para originar un cambio de volumen, nos encontramos con que existen cuatro causas por las cuales ello se produce.

- a) Deformación debida a la compresión entre partículas que integran la fase sólida.
- b) Compresión de la fase gaseosa.
- c) Variación del contenido de liquido y gas en el espacio poroso.
- d) Reordenación de las partículas sólidas.

La cuantificación del estado de compactación se realiza en base a los valores de: Porosidad, Índice de huecos, Densidad aparente y Densidad real.

Para determinar la relación existente entre estas variables, se toma una muestra imaginaria de suelo de masa m que ocupa un volumen total V . Dicho volumen a su vez incluye los correspondientes a las tres fases, es decir :

$$V = V_s + V_l + V_g$$

De la misma manera: $m = m_s + m_l + m_g$, siendo m_g despreciable frente a las demás.

Llamamos *volumen de huecos, o poros*, V_v , al que ocupan

conjuntamente las fracciones líquida y gaseosa, o sea $V_v = V_l + V_g$.

Se define como *porosidad*, n , a la relación entre el volumen de poros y el total.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

El índice de poros, e , es la relación entre el volumen de los mismo y el que ocupa la fracción sólida:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

El *grado de saturación*, S , es la relación entre el volumen de líquido y el de poros.

$$S = \frac{V_l}{V_v}$$

De las definiciones anteriores podemos establecer una relación entre n y e como se muestra en la Fig. 1 ya que:

$$V = V_v + V_s \quad \text{y} \quad V_v = e V_s, \text{ por consiguiente:}$$

$$n = \frac{e}{e + 1}$$

En un suelo, cuanto mas compactado este, menores serán los valores de n y e . Ahora bien el método para establecer tales variables consiste en medir la densidad del suelo.

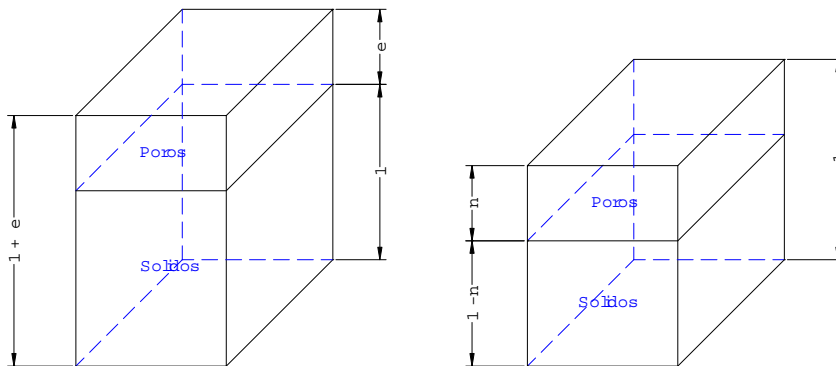


Fig. 1 Relación entre la porosidad n y el índice de huecos e .

Se define como *densidad aparente seca*, D_{as} , a la relación entre la masa de la fracción sólida y el volumen total:

$$D_{as} = \frac{m_s}{V}$$

La *densidad aparente húmeda*, D_{ah} , es otra de las variables utilizadas, si bien nos da una idea relativa del estado de compactación del suelo. Su valor es:

$$D_{ah} = \frac{m_s + m_l}{V}$$

Por último, la densidad real, D_r , corresponde exclusivamente a la fracción sólida y vale:

$$D_r = \frac{m_s}{V}$$

En tabla 1 se dan los valores medios de la densidad real para diferentes tipos de suelos.

Suelo	D_r (g/cm ³)	Suelo	D_r (g/cm ³)
Arenoso	2,65	Franco limoso	2,71
Arenoso-franco	2,66	Arcillo arenoso	2,70
Franco y limoso	2,67	Arcilloso	2,72

<i>Franco arcillo arenoso</i>	2,68	<i>Arcilloso limoso</i>	2,75
<i>Franco arcilloso limoso</i>	2,68	<i>Limoso húmico</i>	2,30
<i>Franco arcilloso</i>	2,69	<i>Turba</i>	0,8-2,1

Tabla 1 Densidad real media para diferentes tipos de suelos.

Si combinamos las ecuaciones anteriores tenemos:

$$D_{as} = (1-n) D_r,$$

de donde la porosidad puede también establecerse por la expresión:

$$n = 1 - D_{as} / D_r$$

Las muestras que se efectúan en campo par determinar el estado de compactación de un suelo se centran fundamentalmente en la obtención de la densidad aparente seca. No obstante los métodos tanto directos (cilindro de Kopecki), como los indirectos (rayos γ) nos dan la densidad aparente húmeda. La relación entre ambas densidades es:

$$D_{ah} = D_{as} (1 + h / 100)$$

Siendo h el contenido de humedad en tanto por ciento.

Puesto que la fase sólida y líquida son relativamente incompresibles bajo la acción de una carga, las variaciones en el estado de compactación dependen de los cambios de posición de las partículas.

En general podemos decir que la reorganización de los componentes de la fase sólida es consecuencia en primer lugar de un variación del volumen de huecos. En ensayos de compresión uniaxial sobre muestras de suelo se han podido establecer relaciones de tipo empírico entre dicha variación de volumen de huecos. En ensayos de compresión uniaxial sobre muestras de suelo se han podido establecer relaciones de tipo empírico entre dicha variación de volumen (cuantificada por la porosidad, índice de huecos o densidad aparente) y la presión hidrostática ejercida σ_n . Las mas utilizadas son:

$$e = e_0 - \lambda \log \frac{\sigma_n}{\sigma_0}$$

En donde e_0 es el índice de huecos a la presión inicial σ_0 , y λ la

pendiente de la curva en escala semilogarítmica.

Para suelos agrícolas la compactación puede ser descrita en forma similar en función de la porosidad:

$$n = n_0 k \ln \sigma_0$$

En donde n_0 es la porosidad obtenida tras compactar una muestra de suelo disgregado a la presión de 0,7 bar \cong (10 p.s.i.)

Estados de consistencia.

(Ortiz Cañavate 1989) El concepto de consistencia del suelo incluye las manifestaciones de una serie de fuerzas internas que se producen en la masa de suelo para diferentes grados de humedad. Dichas manifestaciones se refieren al comportamiento de las siguientes acciones:

- a. Acción de la gravedad, presión, empuje y tracción.
- b. Aptitud para adherirse a otros cuerpos.

Según los estudios de Atterberg en la mayor parte de los suelos se distinguen cuatro formas principales de consistencia.

1. Sólida. Se caracteriza por tener una gran dureza, consecuencia de las fuertes uniones de las partículas del suelo entre sí, que se producen al descender el contenido de humedad.
2. Semisólida. El suelo se fragmenta bajo pequeñas cargas sin apenas admitir deformación. El entramado estructural se debilita por la acción de la humedad, cuya cuantía es lo suficientemente baja para que no se formen películas continuas de agua en las zonas de contacto entre partículas que confieran al suelo plasticidad. Es el estado más favorable para la labranza de suelo (tempero).
3. Plástica. El estado plástico se caracteriza por admitir deformaciones permanentes bajo la acción de cargas externas. La plasticidad está estrechamente ligada al contenido de arcilla que permite a esta cambiar su forma sin romperse cuando se la somete a un esfuerzo de deformación.

La presión que se requiere para conseguir una deformación específica es un índice de la magnitud de las fuerzas internas que mantienen unidas las partículas; dichas fuerzas varían con el espesor de las películas de agua.

4. Líquida. La humedad produce una masa fluida con las partículas del suelo que se orientan y desplazan sin efectuar sobre ellas apenas esfuerzos.

Cohesión.

(Ortiz-Cañavate 1989) En el análisis de la plasticidad de los suelos, así como su resistencia al esfuerzo cortante, una de las variables dinámicas que más influye es la cohesión. Se puede definir como la unión entre las partículas del suelo debida a fuerzas de tracción mutuas que surgen de mecanismos fisicoquímicos. Estas uniones son debidas a:

1. Fuerzas de Van Der Waals, las cuales son inversamente proporcionales al cubo de la distancia entre partículas.
2. Fuerzas de tracción electrostáticas entre las superficies de las partículas de arcilla con distinta carga.
3. Fuerzas debida a puentes catiónicos.
4. Efecto cementante de la materia orgánica, óxidos y carbonato de aluminio y hierro, así como de otras sustancias.
5. Tensión superficial de las interfases agua-aire que existe siempre en suelos no saturados.

En un suelo se deben distinguir dos tipos de cohesión que se manifiestan según si se trata de medir tal variable sobre muestra inalterada, o por el contrario disgregada, en ambos casos la humedad tiene una influencia fundamental.

- a) Cohesión molecular,

La cohesión molecular C_m es debida a las uniones catiónicas, fuerzas de Van Der Waals y cementaciones entre los materiales del suelo.

Las partículas de arcilla tienen carga negativa, mientras que el dipolo de agua es positivo, lo que permite establecer uniones fuertes entre moléculas, tanto mayores cuando menor es el contenido de humedad.

Al agregar agua, se produce una separación en las moléculas de arcilla traduciéndose en una reducción en las fuerzas de atracción. En los suelos parcialmente secos e inalterados que nos encontramos a la hora de realizar las labores profundas, la cohesión molecular es una de las variables que mayor influencia tiene sobre la fragmentación, tamaño de los terrones y resistencia a la rotura.

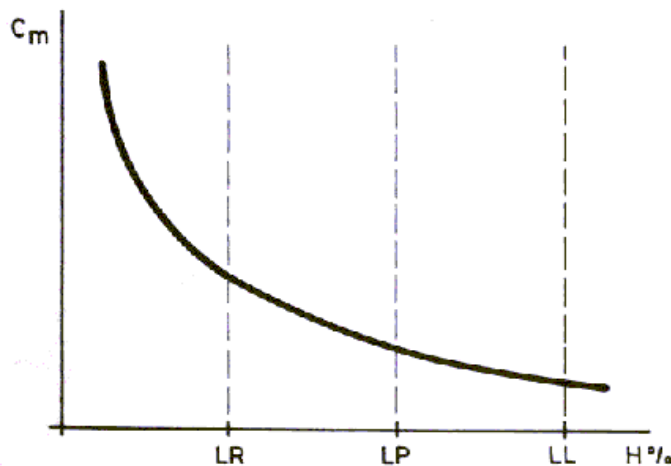


Fig. 2 Variación de la cohesión molecular con la humedad.

b) Cohesión superficial C_s (Fig. 3)

En un suelo suelto constituido por partículas y agregados de diferentes tamaños, se forma una red de huecos donde se aloja aire y agua. Esta se acumula próxima a las zonas de contacto entre partículas formando un menisco ya que, debido a la tensión superficial se produce una fuerza de atracción.

Cuando la humedad es baja, el número de meniscos formados es pequeño y por lo tanto su cohesión superficial también, pero a medida que el contenido de agua se hace mayor, aumenta asimismo este tipo de uniones y en consecuencia su cohesión. Si seguimos añadiendo agua llega un momento en que se reduce el número de meniscos, ya que se produce uniones entre ellos, con lo que la atracción entre partículas se reduce. La humedad que nos da la máxima cohesión superficial está comprendida entre los límites de Atterberg.

La cohesión, ya sea molecular o superficial se cuantifica en unidades

de fuerza partida por unidad de superficie.

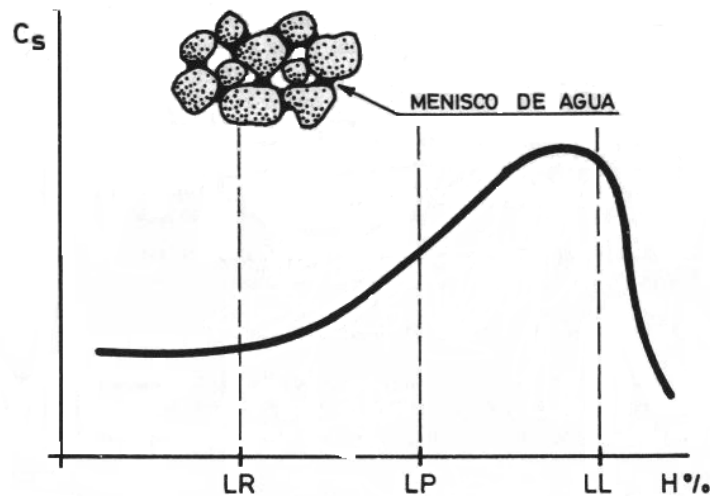


Fig. 3

Variación de la cohesión superficial con la humedad.

Rozamiento interno.

(Ortiz Cañavate 1989) El rozamiento interno es un concepto que nos indica la resistencia que ofrecen las partículas de un suelo a desplazarse sobre otras. Depende básicamente de la naturaleza de las partículas, aquellas que presente superficies rugosas ocasionan una presión más elevada que las lisas.

Para entender mejor este concepto, veamos el diagrama de cuerpo libre en la Figura 4. Si se comprime una muestra de suelo las partículas que componen la muestra se verán afectadas por fuerzas normales N_i que actúan en los puntos de contacto de unas con otras.

Si tomamos 2 partículas, entonces para que una se desplace sobre la otra es necesario que la fuerza T_i sea vencida .

Si la el coeficiente de rozamiento es:

$$\rho_i = T_i / N_i = \text{tg } \alpha_i$$

Siendo α_i el ángulo de rozamiento.

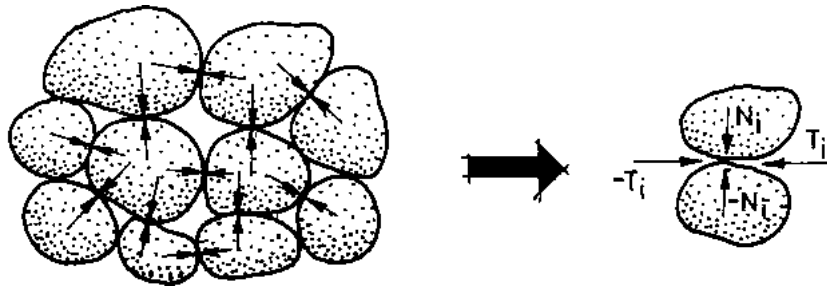


Fig. 4 Fuerzas que se originan entre las partículas del suelo al ser sometidas a una carga

Si la muestra de suelo, mediante el procedimiento apropiado, la sometemos a una acción tangencial hemos de vencer una resistencia inicial T que a su vez es la resultante de todas las resistencias tangenciales que se originan en la zona de contacto de las partículas. Lo mismo podemos decir de las cargas normales, de manera que:

$$T = \sum T_i \quad \text{y} \quad N = \sum N_i$$

El coeficiente de rozamiento del suelo entonces será:

$$\rho_i = T/N = \sum T_i / \sum N_i = \text{tg } \alpha_i$$

Siendo α_i el ángulo de rozamiento interno del suelo.

Dicho valor es elevado en los suelos arenosos, dada la rugosidad que existe entre partículas, reduciéndose cuanto mayor es el contenido de arcilla. Asimismo decrece, con la humedad y aumenta con el grado de compactación o, lo que es lo mismo, con la densidad aparente seca.

En la tabla 2 podemos ver los valores característicos para distintos suelos de la cohesión molecular y el ángulo de rozamiento interno. Ambas variables son de gran importancia a la hora de explicar el comportamiento mecánico de los suelos en los procesos de tracción de los vehículos y laboreo, constituyendo la base para establecer toda una serie de ecuaciones de predicción de esfuerzos sobre los elementos de trabajo.

Tipo de suelo	Estado	Cohesión molecular C_m (kN/m ²)	Angulo de rozamiento Interno, α_i
Arena gruesa	Compactado disgregado	Inapreciable	35° - 40° 30° - 35°
Arena fina	Compactado disgregado	Inapreciable	25° - 32° 18° - 22°
Franco arenoso	Desmenuzable plástico	20 - 25 10 - 18	24° - 28° 22° - 26°
Franco	Desmenuzable plástico	25 - 30 17 - 22	25° - 30° 17° - 22°
Arcillosos	Desmenuzable plástico	40 - 70 25 - 35	17° - 19° 10° - 15°

Tabla 2 Valores de la cohesión molecular y ángulo de rozamiento interno para distintos tipos de suelos

ANEXO C

Documentos de referencia. Norma ASTM G99

Estándares ASTM.

E 122 Practice for Choice of Sample size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process

E 177 Practice for Use of Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion.

Otros estándares.

DIN-50324 Testing Friction and Wear

Documentos de referencia Norma ASTM G 65

ASTM estándares

D 2240 Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness

E 11 Specifications for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes

E 122 Practice for Choice of sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot of Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion

Documentos de referencia . Norma ASTM G115

ASTM estándares

B 460 Test Method for Dynamics Coefficient of Friction and Wear of Sintered Metal Friction Materials Under Dry Conditions.

B 461 Test Method for Frictional Characteristics of Sintered Metal friction Materials Run in Lubricants.

B 526 Test Method for Coefficient of Friction and Wear of Sintered Metal Friction Materials Under Dry-Clutch Conditions

C 122 Test Method of Panel Spalling Testing Super Duty Firecklay Brick

C 808 Guideline for Reporting Frictional and Wear Test Results of Manufactured Carbon and Graphite Bearing and Seal Materials.

D 1894 Test method for static and Kinetic Coefficients of Friction of Plastic Film and Sheeting.

D 2047 Test Method for Static Coefficient of Friction of Polish-Coated Floor Surfaces as Measured by the James Machine.

D 2394 Method for Simulated Service Testing of Wood and Wood-Base Finish Flooring.

D 2714 Test Method for Calibration and Operation of the Falex Block- on-Ring Friction and Wear Testing Machine

D 3028 Test Method for Kinetic Coefficient of Friction of Plastic Solids

D 3108 Test method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material

D 3247 Test method for Coefficient of Static Friction of Corrugated and Solid Fiberboard (inclined Plane Method)

D 3334 Method for Testing Fabrics Woven From Polyolefin Monofilaments

D 3412 Test Method for Coefficient of Friction, Yarn-to-Yarn.

D 4103 Practice for preparation of Substrate Surfaces for Coefficient of Friction Testing

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot of Process

E 303 Test Method For Measuring Surfaces Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

E 305 Practices for Establishing and Controlling Spectrochemical Analytical Curves

E 510 Practice for Determining Pavement Surfaces Frictional and Polishing Characteristics Using a Small Torque Device.

E 670 Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using de Mu Method

E 707 Test method for Skid Resistance Measurements Using the North Carolina State University Variable Speed Friction Tester.

F 489 Test Method Static Coefficient of Friction of Shoe Sole and Heel Materials by Horizontal Pull Slipmeter (HPS)

F 695 Practice for Evaluation of Test Data Obtained by Using the Horizontal Pull Slipmeter (HPS) or the James Machine for Measurement of Static Slip Resistance of Footwear, Sole, Heel, or Related Material.

F 732 Practice for Reciprocating Pin-on-Flat Evaluation of Friction and Wear Properties of Polymeric Materials for Use in Total Joint Prosthesis

G 40 Terminology Relating to Wear and Erosion

G 65 Test method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus

G 143 Test method for Measurement of Web/Roller Friction Characteristics.