

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE TRABAJO Y CONSUMO DE ENERGÍA DEL
MULTICULTIVADOR MODIFICADO MCC 3-5-7 CON DIFERENTES ARREGLOS.**

Por:

ADELFO CRUZ LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MÉCANICO AGRÍCOLA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE TRABAJO Y CONSUMO DE ENERGÍA
DEL MULTICULTIVADOR MODIFICADO MCC 3-5-7 CON DIFERENTES
ARREGLOS.**

Por:

ADELFO CRUZ LÓPEZ

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

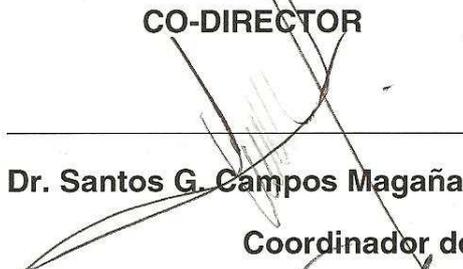
Aprobado por el comité de tesis

DIRECTOR DE TESIS



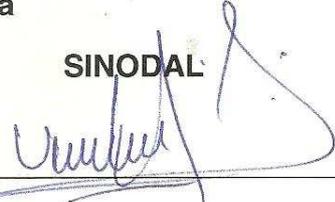
Dr. Martín Cadena Zapata

CO-DIRECTOR



Dr. Santos G. Campos Magaña

SINODAL



Dr. Jesús R. Valenzuela García

Coordinador de la División de Ingeniería



M.C LUIS RODRIGUEZ GUTIERREZ

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. AGOSTO DE 2011

INDICE

INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE CUADROS.....	VII
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
RESUMEN.....	X
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. HIPOTESIS.....	6
II. REVISION DE LITERATURA.....	7
2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL.....	7
2.2. EVALUACION DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA.....	12
2.3. MEDICION DE FUERZA Y ENERGIA.....	14
2.4. PROTOCOLOS PARA EVALUAR IMPLEMENTOS.....	16
2.5. CALCULO DE ENERGIA Y CALIDAD DE TRABAJO EN LA LABRANZA.....	17
III. MATERIALES Y METODOS.....	25
3.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	25
3.2. DATOS GENERALES DE LOS IMPLEMENTOS A EVALUAR.....	25
3.3. CARACTERISTICA DEL TRACTOR EMPLEADO.....	26
3.4. CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES.....	27
3.5. GENERALIDADES CONSIDERADAS ANTES DE LA LABOR.....	27
3.5.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA.....	27
3.5.2. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.....	28
3.5.3. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE CAMPO.....	29
3.6. PARAMETROS CONSIDERADOS DURANTE LA LABOR.....	31
3.6.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	31
3.6.2. VELOCIDAD DE AVANCE.....	32
3.7. VARIABLES CONSIDERADOS DESPUES DE LA LABOR.....	34
3.7.1. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DISTURBADA.....	34
3.7.2. ANCHO DE TRABAJO.....	35
3.7.3. PROFUNDIDAD DE TRABAJO.....	36

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
4.1. VARIABLES CONSIDERADOS ANTES DE LA LABOR.....	37
4.1.1. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.....	37
4.1.2. MEDICIÓN DE LA TEXTURA.....	39
4.1.3. HUMEDAD DEL SUELO.....	40
4.2. PARÁMETROS CONSIDERADOS DURANTE LA LABOR.....	40
4.2.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	40
4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA.....	41
4.3. VARIABLES CONSIDERADAS DESPUÉS DE LA LABOR.....	44
4.3.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DISTURBADA.....	44
4.4. RESISTENCIA ESPECÍFICA DEL SUELO.....	45
4.5. ANCHO DE TRABAJO.....	46
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
VI. BIBLIOGRAFIA.....	48
VII. ANEXOS.....	55

INDICE DE FIGURAS

Fig. (2.1) Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.	10
Fig. (2.2) Tipos de brazos del subsolador.	11
Fig. (2.3) Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo del subsolador, el ancho de aflojamiento, y el espaciamiento entre brazos.	12
Fig. (2.4) Área típica de suelo disturbado con arado de cincel (izquierda) y arado de discos (derecha).	18
Fig. (2.5) Relación entre el consumo de combustible y la potencia entregada por el tractor en laboratorio.	20
Fig. (2.6) Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas.	22
Fig. (2.7) Esquema del perfilómetro para determinar el área disturbada por las herramientas.	22
Fig. (3.1) Propuesta de rediseño del implemento MCC-3/5/7 para tener cuerpos frontales someros.	25
Fig. (3.2) Rediseño del cajón para portar timones delanteros.	26
Fig. (3.3) Acondicionamiento del tractor John Deere 6403.	26
Fig. (3.4) Calibración de los sensores a través del banco de prueba.	28
Fig. (3.5) Muestras de suelo.	30
Fig. (3.6) Determinación del largo a trabajar.	31
Fig. (3.7) Sistema para medir consumo de combustible.	31
Fig. (3.8) Medición de la velocidad de avance.	32
Fig. (3.9) Medición de la fuerza a través del sensor octagonal.	33
Fig. (3.10) Sistema de adquisición de datos.	33
Fig. (3.11) Medición del área disturbada.	35
Fig. (3.12) Medición del ancho de trabajo.	35
Fig. (3.13) Medición de la profundidad de trabajo.	36
Fig. (4.1) Comportamiento en la calibración de los sensores.	37

Fig. (4.2) Calibración de los sensores.....	38
Fig.(4.3) Sensores empleados en la determinación de la fuerza de tiro. (a) sensor de tiro de 40 kN. (b) sensor integral de 80 kN.	42
Fig. (4.4) (a) grafica obtenida por dinamómetro de tiro de 40 kN. (b) grafica obtenida empleando el dinamómetro integral de 80 KN.	42
Fig. (4.5) (a) Se aprecia la aplicación del perfilometro para la determinación del área disturbada. (b). profundidad máxima de trabajo.	44

INDICE DE CUADROS

Cuadro (2.1) Comparación de medias de los parámetros estudiados. ensayo discos dobles y cinceles.	23
Cuadro (3.1) Diseño de arreglos entre espacio de timones para cada cincel... ..	28
Cuadro (4.1) Constantes de calibración de los sensores.....	38
Cuadro (4.2) Sensitividad del sensor integral bajo condiciones de laboratorio.. ..	39
Cuadro(4.3) Porcentaje del contenido de humedad.....	40
Cuadro (4.4) Consumo de combustible ($l-ha^{-1}$) de los implemento evaluado con diferentes arreglos.	41
Cuadro (4.5) Fuerzas medias ejercidas por los implementos de 3, 5 y 7 cinceles con diferentes arreglos.	43
Cuadro (4.6) Comparación de medias para el área de suelo disturbado (m^2) para los siguientes implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.....	45
Cuadro (4.7) Resistencia especifica del suelo para implementos con 3, 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.	46
Cuadro (4.8) Anchos de trabajo máximos del implemento y promedios por arreglo.....	46

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por darme la oportunidad de vivir una etapa tan importante en mi vida, por permitirme culminar con éxito mis estudios y darme la dicha de cumplir este sueño.

A mi **ALMA MATER** por darme los conocimientos necesarios para enfrentar la vida y albergarme durante estos años de licenciatura siempre te recordare.

Al **Dr. Martin Cadena** y al **Dr. Santos G. Campos** por sus consejos, conocimientos y amistad brindados, además de sus asesoramientos y facilidades prestadas para la realización de la presente tesis.

A todos los **Maestros** de la universidad que me brindaron sus conocimientos a través de las clases, en especial a los del departamento de Maquinaria Agrícola que siempre me apoyaron.

A mis **compañeros y amigos de la generación CX** por los momentos que convivimos, de fiesta y reunión durante estos años, por brindarme su confianza y apoyo pero sobre todo por su amistad.

A todos aquellos que de alguna forma intervinieron en la realización de la presente tesis sobre todo en las pruebas de campo.

¡GRACIAS!

DEDICATORIAS

A mis padres:

José Gabriel Cruz González y Amalia López Ríos

Con amor para mis padres, por darme la vida y saber guiarme durante todo este tiempo, por sus consejos brindados, por su amor, siempre los llevo en mi mente y corazón, estoy muy agradecido con ustedes por su apoyo incondicional y sobre todo por la confianza que depositaron en mi, los quiero.....

“DIOS LOS BENDIGA SIEMPRE”.

A mis hermanos:

Yareli B. Cruz López, Víctor M. Cruz López, Yaneth Cruz López

Por todo su apoyo y cariño brindado y por los momentos compartidos. LOS QUIERO MUCHO y les deseo lo mejor en sus vida.

A mi abuelito:

Audelio López Duran (†)

Por su apoyo incondicional y consejos brindados a lo largo de mi vida pero sobre todo por su cariño y amor siempre te recordare.

A todos mis familiares y amigos:

Por sus palabras de aliento que me impulsaban a seguir adelante y por el apoyo brindado gracias...

RESUMEN

La presente investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se evaluó un prototipo modificado del multicultivador MCC 3-5-7 implementos de labranza vertical (subsolador) proporcionado por la empresa TECNOMECA AGRICOLA S.A. de C.V. la evaluación consistió en medir variables antes de la labor, (humedad del suelo, textura, resistencia a la penetración) durante la labor (fuerza horizontal y vertical, consumo de combustible), y después de la labor de dicho implemento (ancho y profundidad de trabajo, área disturbada).

Se llevaron a cabo las evaluaciones con 6 arreglos de timones acoplados a la doble barra y a una distancia de 60 centímetros entre ellos. La profundidad de trabajo para los diferentes arreglos fue de 20 a 30 centímetros. El tamaño de la parcela empleado durante la evaluación fue de 50 metros de largo por 2 metros de ancho, en la cual se hicieron 2 repeticiones para cada arreglo. La textura del sitio de evaluación fue limoso- arcilloso, con los contenidos de fracciones minerales de: 34% de arena, 35% de limo y 31% arcilla.

Los resultados obtenidos muestran que para los arreglos profundos en relación a los arreglos someros, aplicando la profundidad critica, con 7 timones se aprecia una reducción del 9% de consumo de combustible y para 5 timones una reducción del orden del 30%. Lo cual indica ahorros de consumo de combustibles aplicando dicha teoría. La resistencia específica media para los arreglos con cinceles frontales profundos es mayor que los arreglos con cinceles frontales someros en el orden del 13% al 45%. Lo cual indica la variabilidad de la profundidad de trabajo. De lo anterior observado se recomienda poner al prototipo ruedas controladoras de profundidad y emplear un tractor de capacidad de tiro de al menos 150 caballos de potencia para tracción sencilla o bien uno 120 caballos de potencia de doble tracción.

Palabras clave: Evaluación, Implementos, Labranza Vertical, Energía.

I. INTRODUCCION

Existe confusión en la literatura acerca de la terminología de la labranza, porque muchos de los términos utilizados son muy generales, y porque además existe un gran número de diferentes sistemas que varían en los implementos, las combinaciones de los implementos y las intensidades de laboreo (FAO, 2000).

En la actualidad, la labranza de conservación se utiliza extensivamente en la agricultura de México. Por lo que los complejos mecanizados revisten de gran importancia en las condiciones modernas de desarrollo y crecimiento de la economía agrícola. No obstante, la productividad y eficiencia de los nuevos implementos juegan un papel determinante en el proceso de la producción de alimentos. Para lograrlas, es necesario “buscar” reservas que permitan al productor incrementar sus cosechas y disminuir los costos mediante el uso racional de los recursos suelo y agua (Gutiérrez *et al.*, 2004).

La labranza convencional es un programa de labranza completa que consta de operaciones primarias secundarias. Involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de cultivaciones o herbicidas. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión (FAO, 2000).

La labranza reducida se refiere al cultivo de toda el área del suelo pero con la eliminación de uno o más laboreos en comparación con los sistemas convencionales de labranza. Esto se refiere a un rango amplio de sistemas distintos, como por ejemplo:

- rastra de discos o cultivadora, luego sembrar;
- arado de cincales o cultivadora, luego sembrar;
- rotocultor, luego sembrar.

Dependiendo de los implementos utilizados y el número de pasadas, la labranza reducida puede ser clasificada como un sistema conservacionista o no conservacionista según la cobertura de rastrojos que queda al momento de la siembra. Por lo tanto, no todos los sistemas de labranza reducida son sistemas conservacionistas. De los tres ejemplos citados anteriormente, es probable que solamente el arado de cincales o cultivadora luego de sembrar, pudiera ser clasificado como un sistema conservacionista (FAO, 2000).

La labranza conservacionista es un término general que ha sido definido como "cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de la labranza convencional" (Lal, 1995). Normalmente se refiere a un sistema de labranza que no invierte el suelo y que retiene rastrojos sobre la superficie.

Otra definición de labranza conservacionista utilizada es "cualquier sistema de labranza o siembra que mantenga al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra, para reducir la erosión hídrica" (Ungeret *al.*, 1995).

La configuración de los tractores e implementos es un factor importante para el ahorro de energía en la preparación del suelo, para ahorrar energía se deben realizar una configuración del equipo de manera que la potencia requerida por la herramienta este cerca de la potencia nominal del tractor. Si el tractor se opera a un nivel de potencia nominal mientras que el motor

opera a su velocidad nominal, la eficiencia se reduce y el consumo de combustible será más alto de lo necesario. (Hughes, 1981).

Para las labores de establecimiento de cultivos, se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible, esto es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción (Kichler *et al.*, 2007). Para muchos agricultores, antes que una conciencia conservacionista, la principal razón de la adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos (Steiner, 1998).

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícolas es un tema de gran importancia pues contribuye al éxito financiero de los mismos y con la disminución de subsidios y una gran competencia en el mercado globalizado, los agricultores consideran actualmente opciones de reducción de labores y gasto de energía para bajar costos (Derspch, 2007).

La eficiencia global con la que se aplica esta energía a la tierra es cerca de 0.25 %, principalmente debido a problemas en la fabricación de implementos de labranza eficaz para romper el suelo. Debido a que los insumos de energía a otros aspectos de la producción agrícola, particularmente en la agricultura de regadío, tienden a enana insumos de labranza de la energía, cambios en los insumos de energía labranza debe ser visto en términos de la eficiencia energética global del sistema de producción de los cultivos. Generalmente, esto significa que los cambios para hacer más eficiente la energía de labranza deben ser aquellos que no reducen los rendimientos.

Tomando en cuenta lo anterior, un problema a resolver en los sistemas actuales de producción incluyendo los de conservación, es reducir al mínimo el uso de energía, por lo que se debe desarrollar tecnología de implementos que cada vez sean más eficientes. En México de acuerdo al SIAP (2006) se sembraron 15,486,121 ha de cultivos cíclicos que son en los cuales se realiza una labranza de mayor intensidad es decir con una alta aplicación de energía. Las necesidades de reducción de aplicación de energía y de conservación de los

recursos suelo y agua se dan con mayor prioridad en la superficie antes mencionada; ya que por ejemplo estudios de las labores en los sistemas de producción de cultivos cíclicos como sorgo y maíz, señalan que la labranza puede representar hasta el 60 % de los costos de producción debido a la alta demanda de energía de la misma (Báez, 2001).

En la labranza de conservación, los mejores implementos son los llamados de labranza vertical, sin embargo aun demandan una alta potencia (Hoogmoed 1999). Para poder proponer el desarrollo de implementos más eficientes, con menor demanda de potencia, es necesario conocer con mayor detalle cuales son los factores inherentes a la geometría y diseño de los mismos que interactúan con los factores ambientales como tipo de suelo, contenido de humedad, y con los factores operativos como la velocidad, profundidad para obtener el resultado esperado en uso de energía. Se debe generar la información anterior para en forma racional y eficiente establecer los diseños futuros de implementos de labranza.

Las practicas de manejo de suelo entre estas la labranza de conservación, son herramientas disponibles para mitigar el efecto de eventos climáticos extremos: son efectivas para el control de la erosión, promueven la infiltración y almacenamiento de agua, reducen escurrimiento y evaporación desde la superficie del suelo (Triplett y Dick, 2008, Endaleet *al.*, 2009).

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos del suelo y agua principalmente donde se escasa, lo que ha traído un cambio de actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuo. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal. La determinación de las fuerzas que los implementos agrícolas requieren de la fuente de potencia ha sido de suma importancia e interés, ya

que se encuentra involucrado en numerosas investigaciones realizadas a través de muchos años (FAO, 2000).

Es de sumo interés la evaluación de los implementos agrícolas por que a través de ello se adquiere un buen conocimiento sobre el manejo de las practicas de laboreo del suelo, el cual se traduce en términos de disminución de los costos de la reparación, conservación de la humedad del perfil, y principalmente provee un conocimiento para prevenir la erosión hídrica y eólica, pero sobre todo para demostrar las ventajas y así fomentar la adopción de nuevas tecnologías por los agricultores (Uribe *et al.*, 2002).

En los sistemas que ahorran energía se usan arados de cinceles que requieren menos tracción, generalmente un tractor capaz de tirar un arado de vertederas de 6 cuerpos, y 40 cm de ancho puede también tirar un cultivador de cobertura de rastrojo de 3.30 m. o mayor, a una velocidad igual o un poco mas rápido, de esta manera se puede trabajar mayor terreno en el mismo periodo de tiempo (Buckingham, 1976).

La función básica del arado de cincel ha cambiado poco desde la época en que los hombres primitivos empujaban palos de horquilla través del suelo, hace miles de años. Las aleaciones de acero han reemplazado la madera y los tractores han reemplazado la fuerza muscular de hombres y animales, pero el propósito sigue siendo el de remover y airear el suelo con una inversión mínima (FAO, 2000).

1.2. OBJETIVOS

- Determinar la demanda de tiro, potencia, eficiencia de laboreo, tamaño medio de agregados, consumo de combustible y capacidad de trabajo.
- Determinar la calidad de trabajo de subsuelos para labranza vertical con diferentes arreglos espaciales de los cuerpos de un cincel de labranza vertical.

1.3. HIPOTESIS

Es posible disminuir el índice de fuerza requerida por sección transversal de suelo disturbado (kNm^2), mediante arreglos espaciales óptimos de cuerpos de cada subsuelo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL

Los sistemas de labranza constituyen un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas de las actividades posteriores afectan de forma directa al cultivo ya establecido y que dependen en gran medida del sistema de labranza aplicado a la preparación del terreno (Martínez, 1999).

Dentro de los sistemas de labranza esta aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal, 1995). Existe también un sistema que se caracteriza por preparar la tierra con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación, esta labranza se considera como labranza vertical (Martínez, 1999).

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie (FAO, 2000).

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que se tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80%

más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Baberet *al.*, 1993).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Baberet *al.*, 1993).

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador (FAO, 2000).

Los arados de cincel son implementos en los sistemas de captación de humedad, cuyo diseño le permite penetrar en suelos firmes y romper capas compactas. La superficie se deja partida y abierta para atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de estas herramientas tales como los arados de cincel y los subsoladores, ocurre cuando el Angulo de elevación es de 20° entre la superficie de la herramienta y a horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

Las fuerzas que actúan sobre un cincel en el suelo dependen mucho de la forma y sobre todo del ángulo de ataque. Un ángulo de ataque agudo mejora la penetración y reduce la fuerza de tracción. Además mejora el efecto de la roturación y la mezcla del suelo porque lleva una parte del material del suelo de horizontes inferiores hacia arriba (FAO, 2000).

El cuerpo de un cincel corta verticalmente a través del suelo. El suelo se mueve hacia arriba y a lo largo de la curva del cincel y es detallado por la fuerzas de

empuje hacia arriba. Los resultados del efecto de la vibración lateral (comienzan a ser pronunciados hacia la superficie) aflojan completamente la parte baja del suelo. Un aflojamiento y mezcla satisfactoria se asegura cuando el suelo se encuentra relativamente seco, el cual es roto hacia arriba en forma perpendicular a la dirección del corte en un ángulo aproximado de 50° desde la superficie (Krause *et al.*, 1984).

La movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión-tensión, situación en que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede llevar a la compactación (Aluko y Seig, 2000).

Los subsoladores trabajan mejor en el suelo firme y su estado friable donde capas más duras impiden la penetración adecuada de la humedad y el desarrollo de las raíces. La inclinación de los cuerpos y puntas del subsolador afectan a tracción, penetración, y fragmentación del suelo; cuando los soportes se inclinan hacia adelante, levantan y fragmentan el suelo mejor que cuando están casi o totalmente verticales (Buckingham, 1984).

La subsolación se puede hacer solamente cuando el suelo está seco hasta ligeramente húmedo lo cual es más difícil en suelos arcillosos. La subsolación en el estado seco requiere mucha potencia y frecuentemente deja agregados y vacíos grandes entre ellos o sea, condiciones no favorables para la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. La subsolación de suelos arcillosos en estado húmedo crea un hueco donde pasa la punta del subsolador sin aflojar el perfil o romper la capa compactada. (Ver Fig. 2.1.) que muestra la diferencia en el grado de aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas) (Baberet *et al.*, 1993).

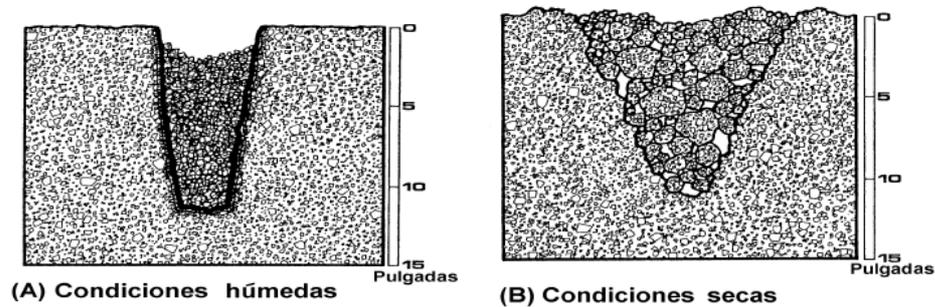


Fig. 2.1 Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas.

Para cinceles existe una profundidad de trabajo crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que ésta depende del ancho del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar en profundidades mayores a la crítica, es recomendable el uso de aletas laterales en la punta del cincel, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo (McKyes, 1985).

El subsolador consta de tres o más brazos montados sobre una barra de herramientas. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25-30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable. (Ver Fig. 2.2. para ejemplos de los diferentes tipos de brazos). Las puntas de los brazos normalmente son de 1,5 pulgadas de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces la subsolación no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas (Baberet *et al.*, 1993).

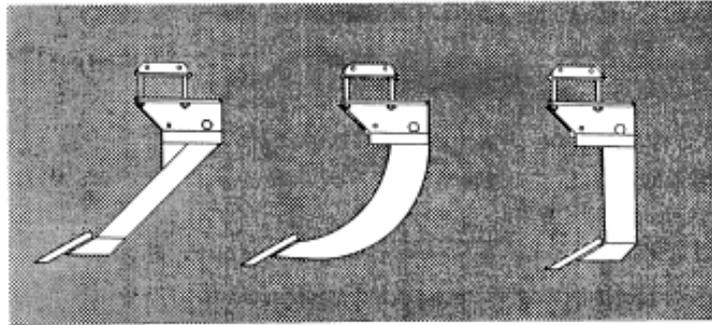


Fig. 2.2. Tipos de brazos del subsolador.

El número de brazos y el espaciamiento entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular (Fig. 2.3). El ancho del área de aflojamiento en la superficie se aproxima a la profundidad de penetración; para asegurar que la capa compactada esté bien aflojada, la profundidad de penetración de los brazos debería igualar 1,5 veces la profundidad del límite inferior de la capa compactada. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo. La potencia requerida por cada brazo varía con el estado de compactación del suelo, con el tipo de subsolador y especialmente con el estado de la punta. Por lo general se requieren 20-30 HP/brazo (Baberet *al.*, 1993).

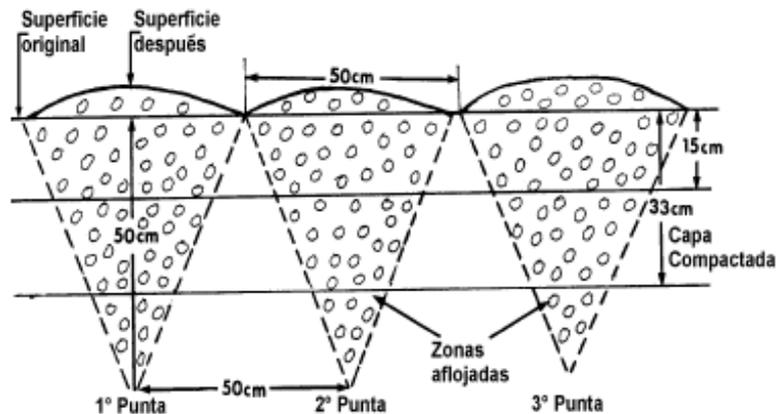


Fig. 2.3. Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo del subsolador, el ancho de aflojamiento, y el espaciamiento entre brazos.

2.2. EVALUACION DE IMPLEMENTOS DE LABRANZA

Es trascendental conocer los diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo con el fin de disminuir su impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo, con objeto de obtener cambios en la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, he aquí la importancia de la evaluación de los implementos (Camacho *et al.*, 2007).

El objetivo principal de las evaluaciones en los implementos es conocer los efectos que ocasionan los diferentes métodos de labranza sobre las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, entre otras) para saber los resultados favorables o no favorables mostrando efectos beneficiosos no beneficiosos para los cuales se ven reflejados directamente en el desarrollo del cultivo (Ohepet *al.*, 1998).

Una evaluación involucra la medición del comportamiento de una maquina bajo condicione agrícolas reales; el propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue

diseñado (Crossley y Kilgour 1983), ya que las pruebas realizadas sobre condiciones ideales a veces no permite conseguir datos directamente relevantes a las condiciones agrícolas y dada la gran variedad de condiciones de trabajo y niveles de sofisticación de los implementos agrícolas, se ha dificultado la compilación de procedimientos de prueba de estos (Smith y Sims, 1990).

En una comparación que hicieron (Cadena et al, 2004) la labranza vertical (multiarado y vibrocultivador) con la labranza convencional (arado de discos y rastra de discos) en términos de la calidad y consumo de energía que los implementos desarrollan al labrar el suelo. Consideran que la labranza vertical son de menor costo para la preparación del suelo; pues el multiarado puede sustituir al arado de discos (labranza primaria) y para la labranza secundaria el vibrocultivador a la rastra de discos puesto que realiza las mismas labores pero de una mejor calidad traducidos en menor consumo de combustible por área reducción en la densidad aparente, un mayor ancho de trabajo, menor esfuerzo unitario y distribución energética, tamaño de agregados óptimos y una menor inversión del suelo.

(Chichester et al., 1985), evaluando sistemas de fertilización localizada mediante combinaciones de discos y cinceles, a velocidades de 4; 7; y 10 km h⁻¹, encontraron que la mayor remoción de suelo se presentó a una velocidad de 7 km h⁻¹, siendo tres veces mayor a 0,10 m de profundidad que a 0,05 m. Sin embargo, otros autores encontraron que la remoción del suelo y la fuerza horizontal son poco afectadas por variaciones de la velocidad, principalmente dentro del intervalo de operación en que normalmente se utilizan los cinceles y subsoladores (Lanças y Benez, 1988; Coelho, 1998; Rahman y Chen, 2001). Spoor y Godwin, (1978) afirmaron que la movilización del suelo depende de la profundidad de trabajo, del tamaño del cincel (largo y ancho), además de la humedad y densidad del suelo.

La combinación de discos dobles y de cinceles escarificador, se presentan como alternativas para prácticas de cultivo, ya que el comportamiento de la fuerza vertical facilitaría el corte de residuos en la superficie, además de permitir el manejo de capas compactadas a una mayor profundidad sin aumentar los requerimientos de potencia (Camacho y Magalhães, 2002).

Al evaluar 3 implementos de labranza primaria en sus resultados muestran que el arado de cincel rígido es energéticamente más eficiente para preparar el suelo, con una resistencia específica baja y una mayor área transversal de suelo disturbado (Camacho y Rodríguez, 2007).

Al estudiar diferentes conformaciones de herramientas de labranza profunda, determinaron un incremento del 47% de la área disturbada al agregar alas en la parte inferior de un subsolador convencional, y un incremento de sólo 17% de la área disturbada al trabajar con un subsolador convencional sin alas combinado con método previo de dientes rígidos y encontraron menor densidad aparente del suelo que la lograda con el equipo con alas (Di Prinzio *et al.*, 1997).

2.3. MEDICION DE FUERZA Y ENERGIA.

Para desarrollar tecnología de implementos que cada vez demanden una menor fuerza de las fuentes de potencia, es necesario estudiar ahora en forma integral todos los factores que se conoce influyen en la mencionada demanda. Entre los factores que inciden para que una herramienta de labranza requiera una menor o mayor fuerza de arrastre están, la humedad en el suelo al momento de la labor, el ángulo de inclinación entre la punta de la herramienta y el plano horizontal del suelo, el filo de la punta, el tipo de suelo, la profundidad y la velocidad de trabajo así como la geometría de las partes y aditamentos del implemento y la configuración cuando se trata de una combinación de

herramientas como en la siembra directa (Spoor y Godwin 1990, Fielke 1996, Tong y Ballel 2006, Godwin y O`Dogherty, 2007).

El estudio de la demanda de energía en las operaciones requeridas por los cultivos, es una herramienta de planeación al considerar el costo-beneficio de cada uno, en este aspecto estudios del costo de la labranza basado en energía requerida es muy importante pues se puede determinar cuál es la más eficiente combinación entre tractor implemento (Serrano *et al.*, 2007).

El contenido de agua del suelo afecta los requerimientos de fuerza de tracción, el área de suelo disturbada, la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo y la resistencia específica para todos los implementos estudiados (Camacho y Rodríguez, 2007).

Es de sumo interés la evaluación de los implementos agrícolas porque a través de ello se adquiere un buen conocimiento sobre el manejo de las prácticas de laboreo del suelo, el cual se traduce en términos de disminución de los costos de la preparación, conservación de la humedad de perfil, y principalmente provee un conocimiento para prevenir la erosión hídrica y eólica, pero sobre todo para demostrar las ventajas y así fomentar la adopción de nuevas tecnologías por los agricultores. Estos autores compararon tres tipos de manejo del suelo sobre la disponibilidad de humedad en los distintos estratos del perfil del suelo, asociada a períodos determinados por los estados fenológicos del cultivo (Uribe *et al.*, 2002).

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta, aumentando entonces la adhesión

de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Mouazen y Ramón, 2002).

La evaluación energética es un procedimiento de análisis que consiste en la identificación y medida de las cantidades de energía asociada a los productos y equipos que intervienen en la producción de un determinado bien (Chapman, 1974) y (Pimentel, 1980).

2.4. PROTOCOLOS PARA EVALUAR IMPLEMENTOS

Etimológicamente, “protocolo” viene del latín y antes del griego con el significado de hoja que se pegaba en un documento para darle autenticidad, propiamente “lo pegado en primer lugar”. El protocolo crea realidad; es el producto de un discurso que define y evalúa solo lo que se propone evaluar.

Actualmente existen varios protocolos de evaluación de implementos de labranza que han sido desarrollados por investigadores de distintos países entre los que se encuentran Gran Bretaña, Estados Unidos de Norteamérica y Cuba.

El primer protocolo generado en el año de 1990, lleva por nombre Evaluación Técnica de Equipos para Pequeños Productores llevadas a cabo en el taller teórico – práctico ofrecido en el Campo Experimental de Cotaxtla, Veracruz, México aprobado por el PROGRAMA DE COOPERACION TECNICA México – Gran Bretaña en marzo de 1990.

Este protocolo establece las especificaciones mínimas de calidad y el método de prueba general para evaluar el funcionamiento, durabilidad, comportamiento, adaptabilidad, facilidad y seguridad de operación de los equipos que comprende la labranza primaria y labranza secundaria, así también, las sembradoras y plantadoras, aspersoras (de mochila y de campo), fertilizadoras (de ancho

completo y centrifugas), trilladoras y desgranadoras, bombas (manuales y motorizadas); no obstante, a partir de esta fecha dio inicio con la generación más estructural de las normas para evaluación de equipos en el área de mecanización agrícola en nuestro país.

La propuesta de procedimiento para evaluar los implementos de labranza vertical planteado por el Comité Técnico Nacional de Normalización de Maquinaria, Accesorios y Equipo Agrícola (COTENMAEA) es adecuada parcialmente por que a través de su evaluación se obtuvieron resultados favorables que los caracteriza como tal para su óptimo desempeño como implemento de labranza vertical (Morales, 2009).

El Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) fue creado en marzo de 1999 bajo un acuerdo de cooperación técnica entre los gobiernos de México y Japón, con el objetivo de ayudar al desarrollo y extensión del uso de maquinaria agrícola adecuada y segura para pequeños y medianos productores. Para lograr lo anterior se pretende fortalecer el sistema de pruebas y evaluación aunado al mejoramiento de la técnica para la conducción de pruebas de maquinaria agrícola. Para lograr esto se ha implementado una estrategia que involucra a usuarios, fabricantes, distribuidores, importadores de maquinaria agrícola, así como investigadores, académicos, diseñadores y en general todos los sectores de interés en el desarrollo tecnológico de la maquinaria agrícola (Aragón *et al.*, 2000).

2.5. CALCULO DE ENERGIA Y CALIDAD DE TRABAJO EN LA LABRANZA

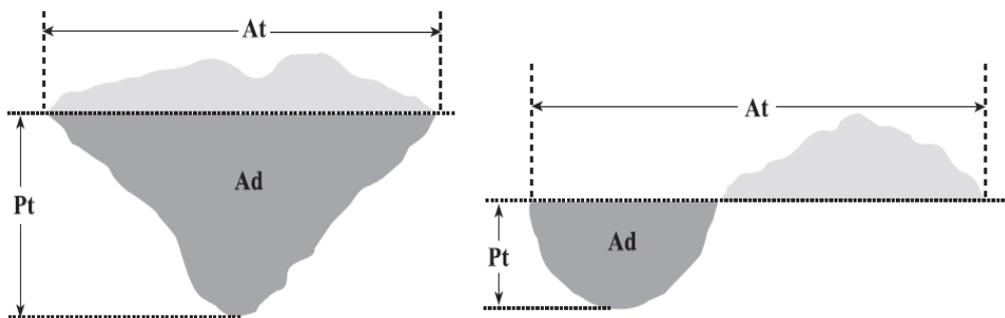
La producción agrícola depende en gran medida del consumo de energía, específicamente en las labores agrícolas como es el caso de la preparación de suelo y, dentro de ella, su proceso fundamental: la aradura o rotura que representa un consumo cerca del 30 al 35% de los costos de producción y

aproximadamente el 40% de los gastos energéticos de los trabajos agrícolas, por lo que la aradura debe realizarse con la máxima calidad, con un estricto cumplimiento de las exigencias agrotécnicas y con el propósito de optimizar los gastos económicos y energéticos, debido a su gran influencia en los rendimientos y los costos de producción (Gonzalez *et al.*, 2009).

Gaytán (2003). Encontró que en el desempeño tractor-implemento la rastra y el vibrocultivador tienen una mayor capacidad teórica, así como un menor consumo de combustible por área, así como un menor requerimiento de potencia, por lo que estadísticamente son diferente a los tratamientos de arado y multiarado.

Es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo.

Antes de realizar las pruebas en campo, se establece el índice de cono (IC) con el fin de determinar la resistencia a la penetración del suelo en cada lote de ensayo, para posteriormente determinar el área de suelo disturbada (A_d), el ancho de trabajo (A_t), la profundidad de trabajo (P_t), considerados de acuerdo con la Fig. (2.4). y determinados mediante un perfilómetro de 30 varillas, distanciadas 50 mm entre una y otra. (Camacho y Rodríguez, 2007).



A_d = área disturbada; A_t = ancho de trabajo; P_t = profundidad de trabajo.

Fig. 2.4. Área típica de suelo disturbado con arado de cincel (izquierda) y arado de discos (derecha).

La menor área disturbada se presentó con el cincel vibratorio y el disco, los cuales no difirieron estadísticamente para un mismo contenido de agua del suelo, pero al comparar estos implementos con el cincel rígido, se observó que son estadísticamente diferentes y que el cincel rígido presenta la mayor área disturbada para todas las condiciones de contenido de agua del suelo y velocidades de operación evaluadas.

Considerando el ángulo de ataque de los cinceles, (Wildman *et al.*, 1978) encontraron que la movilización del suelo fue mayor cuando el ángulo de ataque fue de 24.9809. (Chaudhuri 2001) concluyó que el incremento del ángulo de ataque en un cincel aumenta los requerimientos de fuerza horizontal, y que los valores más bajos de este parámetro se presentan cuando el ángulo de ataque está entre 24.9809° y 30.0229°.

Lickso y Harrison (1988) y Campos (1995) describieron la necesidad de un sistema de alta velocidad de muestreo para la reproducción de la fuerza de reacción. La combinación de discos dobles y de cinceles escarificador, se presentan como alternativas para prácticas de cultivo, ya que el comportamiento de la fuerza vertical facilitaría el corte de residuos en la superficie, además de permitir el manejo de capas compactadas a una mayor profundidad sin aumentar los requerimientos de potencia (Camacho y Magalhães, 2002). del suelo, que incluye transductores de magnitudes de fuerzas y su localización, acondicionadores de señales y convertidores analógicos digitales. El anterior sistema permite reproducir en términos de energía lo que está sucediendo en la interacción suelo - herramienta.

(Ashraf y Kushwaha, 2003) realizaron una extensa revisión de modelos que tratan de predecir las fuerzas que requieren los implementos de labranza

considerando una gran cantidad de factores, sin embargo al igual que (Tong y Ballel, 2006) señalan que se deben hacer mediciones o cuantificaciones en campo para validar los modelos y/o verificar su confiabilidad para realizar aplicaciones en condiciones particulares.

La Fig. (2.5). muestra la relación entre el consumo de combustible y la potencia entregada por el tractor en laboratorio. Una relación polinomial de segundo orden predice la potencia a la toma de fuerza obtenida con el consumo de combustible. La relación está representada por $y = -15.8 + 9.6x - 0.5x^2$ con un coeficiente $r^2 = 0.99$ para una velocidad del motor de 1500 rpm y por $y = -20.3 + 11x - 0.6x^2$ con un coeficiente $r^2 = 0.99$ para una velocidad de 1600 rpm. Estas relaciones se utilizaron para calcular la potencia total entregada por el tractor en campo de acuerdo con el consumo de combustible, como se describió anteriormente (Cadena et al, 2003).

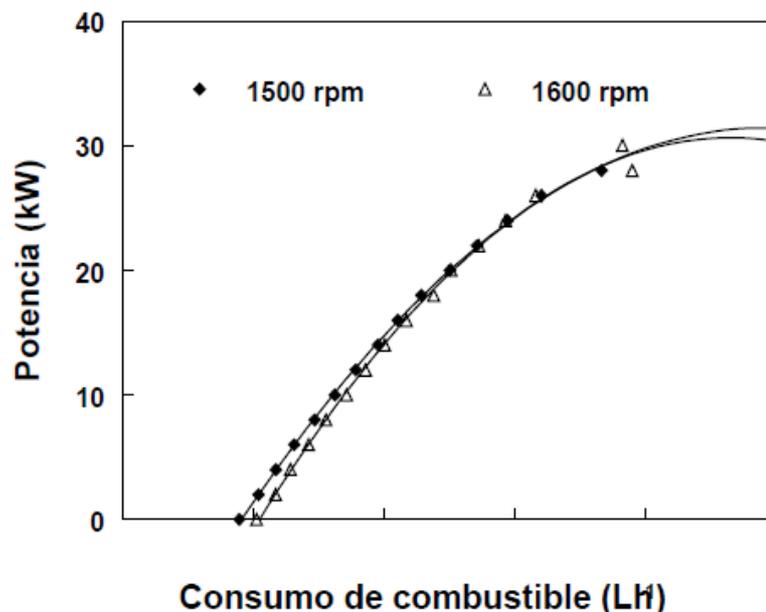


Fig. 2.5. Relación entre el consumo de combustible y la potencia entregada por el tractor en laboratorio.

Mojica (2000) describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

(Hinojosa, 2003) Desarrollo dos transductores empleando galgas extensiométricas (transferencia de peso y de tiro) capaces de medir la fuerza requerida al evaluar diferentes implementos con un sistema de adquisición de datos en tiempo real el cual podía graficar el comportamiento de las fuerzas durante la labor (Fig. 2.6.) para interpretarlas y analizarlas para llegar a un cuadro de resultados de la prueba Cuadro (2.1.).

Para el análisis de las fuerzas horizontal (F_h) y vertical (F_v) (Camacho y Magalhães, 2002), utilizaron un anillo octogonal extendido, diseñado y construido por (Magalhães y Souza, 1990), cuyas características estáticas de trabajo fueron: fuerza horizontal máxima de 19,6 kN; fuerza vertical máxima de 7,84 kN y un momento máximo de 13,05 kN m; error total combinado para compresión de 1,4% para la fuerza horizontal y de 2,08% para la fuerza vertical. Este anillo octogonal consta de ocho extensiómetros (strain gauge) y la medición de las fuerzas se realiza en forma indirecta a través del momento resultante que actúa sobre el anillo octogonal, considerando que tanto las fuerzas horizontal y vertical actúan en un punto dado de la herramienta, como se observa en la Fig. (2.6).

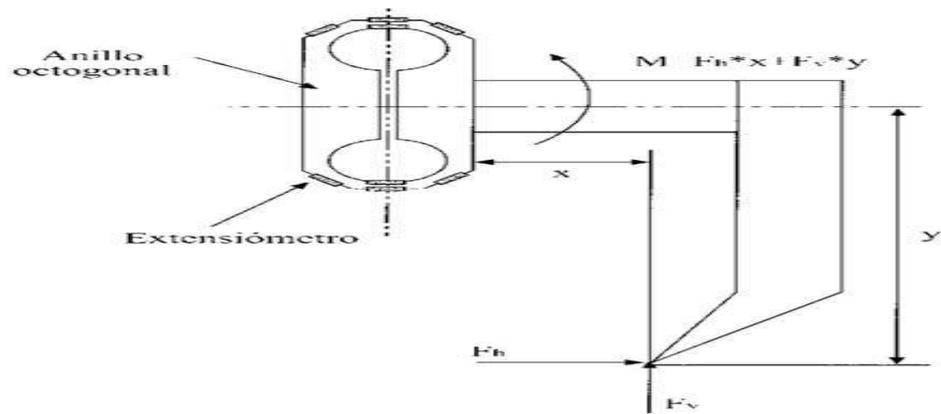


Fig. 2.6. Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas.

Este anillo octogonal se encontraba conectado al acondicionador de señales (Spider8, Hottinger Baldwin, Messtechnik, Dinamarca), para realizar la adquisición de datos a una tasa de 400 Hz. Para el cálculo del área disturbada (A_m) y de la profundidad de trabajo (P_t), se utilizó un perfilómetro de 80 varillas, distanciadas 10 mm entre sí, realizando las lecturas después de cada ensayo (Fig. 2.7). La resistencia específica (R_E), definida como fuerza media horizontal por unidad de área de suelo disturbado, fue determinada con los datos obtenidos para cada tratamiento. Los ensayos fueron realizados a una velocidad aproximada de $0,5 \text{ m s}^{-1}$.



Fig. 2.7. Esquema del perfilómetro para determinar el área disturbada por las herramientas.

En el Cuadro (2.1.) se muestran los resultados medios obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento del estudio realizado por (Camacho y Magalhães, 2002).

Cuadro 2.1. Comparación de medias de los parámetros estudiados. Ensayo discos dobles y cincelos.

Tratamiento	Parámetro				
	F_h , kN	F_v , kN	A_m , m ²	P_t , m	R_E , kPa
<u>Dd</u>	0,73 d	1,17 a	0,0046 c	0,078 c	166,39 a
<u>Cc</u>	1,30 cd	-0,99 bc	0,0385ab	0,200 b	34,06 b
<u>Ce</u>	2,35 ab	-1,69 cd	0,0545 a	0,266 a	44,50 b
<u>DdCc</u>	1,83 bc	0,45 a	0,0290 b	0,184 b	67,87 b
<u>DdCe</u>	2,09 abc	0,05 ab	0,0515 a	0,281 a	41,61 b
<u>DdCcCe</u>	2,39 ab	-0,03 ab	0,0491 a	0,288 a	49,18 b
<u>CcCe</u>	2,99 a	-2,82 d	0,0473 a	0,276 a	64,02 b
<u>CV</u> , %	21,3	-98,9	19,3	10,9	38,3

Valores seguidos de letras distintas en cada columna indican diferencias significativas, según prueba de Tukey ($P < 0,05$). **Dd**: disco doble; **Cc**: cincel corto; **Ce**: cincel escarificador; **DdCc**: disco doble y cincel corto; **DdCe**: disco doble y cincel escarificador; **DdCcCe**: disco doble, cincel corto y cincel escarificador; **CcCe**: cincel corto y cincel escarificador. ; **F_h**: fuerza horizontal; **F_v**: fuerza vertical; **A_m**: área disturbada; **P_t**: Profundidad de trabajo; **R_E**: resistencia específica. ; **CV**: coeficiente de variación.

El área disturbada se incrementa con la incorporación de rejas aladas en la parte inferior de un subsolador combinado, sin aumentar el consumo de combustible de la labor (Di Prinzio *et al.*, 2001).

La disposición de las alas en la parte inferior del subsolador, o el uso de dientes de acción superficial ubicados delante del mismo, incrementan la remoción del suelo especialmente en profundidad, reduce el coeficiente de labranza e incrementa la profundidad crítica, permitiendo un mejor reacomodamiento de las partículas del suelo (Spoor y Godwin, 1978).

La incorporación de cuerpos someros al frente y profundos atrás con alas hacen que el ancho de trabajo y la calidad de labor así como el tamaño de agregados sean mayores que en cinceles rígidos normales (Spoor y Godwin, 1978).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL SITIO EXPERIMENTAL

Las evaluaciones se realizaron dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en la ex – hacienda de Buenavista, localizado a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, sobre la carretera 54 (Saltillo – Zacatecas). Cuyas coordenadas geográficas son 100° 59´ 57” longitud oeste y 25° 23´ 42” latitud norte, con una altura sobre el nivel del mar de 1743 metros. La región tiene un clima templado, con verano caliente e invierno frío, con una temperatura media anual de 19.8°C y una precipitación anual promedio de 417 mm.(Gonzales, 1999).

3.2. DATOS GENERALES DE LOS IMPLEMENTOS A EVALUAR.

El prototipo evaluado es de tipo integral marca “BISON” de la empresa TECNOMECA AGRICOLA (ubicada en Aguascalientes), utilizando como referencia el modelo: MCC-3/5/7, (fig. 3.1) con sus respectivos timones. Los datos de dimensiones se muestran en el anexo (A 1).

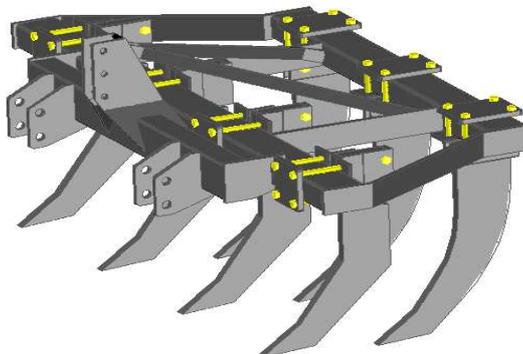


Fig. 3.1. Propuesta de rediseño del implemento MCC-3/5/7 para tener cuerpos frontales someros.

Además del marco del implemento también se rediseñaron unos cajones para portar los timones delanteros (Fig. 3.3), esto con el fin de hacerlos ajustables para evaluarlos a diferentes profundidades.

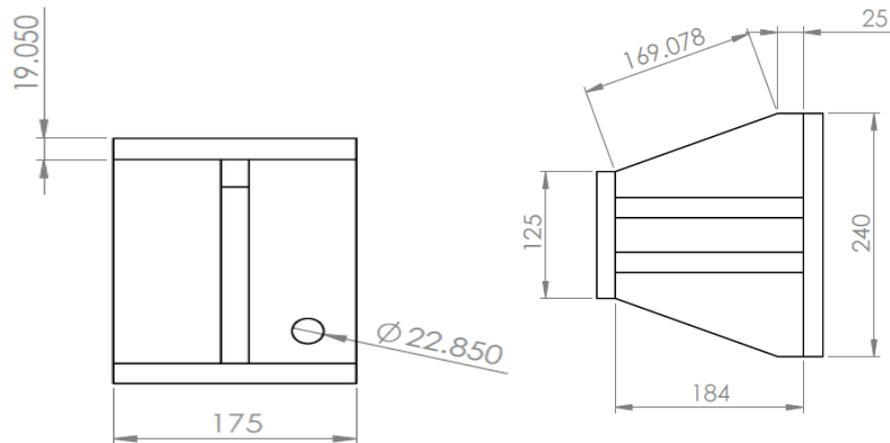


Fig. 3.2. Rediseño del cajón para portar timones delanteros.

3.3. CARACTERISTICA DEL TRACTOR EMPLEADO

Para la evaluación del implemento se utilizo un tractor de la marca John Deere 6403 (Fig. 3.3) con una potencia 95 hp respectivamente.

Fig. 3.3. Tractor John Deere acondicionado con el equipo de adquisición de datos.



Fig. 3.3. Acondicionamiento del tractor John Deere 6403.

3.4. CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES.

Para las evaluaciones se utilizaron tres sensores diferentes, uno de tiro y dos de octagonal extendido. El sensor de tiro tiene una capacidad de 45 kN y se utilizó para determinar la fuerza de tiro que necesita el tractor para jalar el implemento en el laboreo. El sensor de octagonal extendido con capacidad de 80 kN, se utilizó para medir las fuerzas que actúan en el implemento acoplado directamente en el tractor.

3.5. GENERALIDADES CONSIDERADAS ANTES DE LA LABOR.

3.5.1. PREPARACIÓN DE LA PRUEBA

Para la preparación de la evaluación se elige primero el terreno sobre el cual se trabajará, los instrumentos y las herramientas necesarias para dicha actividad. El terreno se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Esta deberá contar con por lo menos 25 m de largo para que el implemento haga la labor. Los instrumentos a utilizar serán acondicionados para su buen funcionamiento en campo tal es el caso del equipo para la obtención de datos, computadora, sensores.

Otros parámetros que se prepararon antes de las pruebas fueron los arreglos de distancias entre cuerpos del cincel así como el número de timones con los que se hicieron las evaluaciones Cuadro (3.1).

Cuadro 3.1. Diseño de arreglos entre espacio de timones para cada cincel.

ARREGLO	NUM.DE CINCEL	DISTANCIA ENTRE CINCELES	PROFUNDIDAD DE CINCELES
1	3	60*60(F) 60*60(T)	30 (F)
2	3		20 Y 30 (F)
3	5		30(F)*30(T)
4	5		20(L)*30(M)*30(T)
7	7		30(F)*30(T)
8	7		30(L)*20(M)*30(T)

POSICION DE CINCELES: F=FRONTAL: T=TRASERO: L=LATERAL: M:MEDIO

3.5.2. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

Las calibraciones se realizaron con el fin de encontrar la constante de calibración, la cual nos sirve para transformar los datos de voltaje a Newton. Para la calibración se utilizo un banco de prueba el cual simula la fuerza que ejerce el cincel sobre el suelo.



Fig. 3.4. Calibración de los sensores a través del banco de prueba.

3.5.3. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE CAMPO.

El terreno elegido deberá ser caracterizado, en términos de humedad de suelo y textura. Lo anterior para obtener una referencia y así explicar los resultados que se obtienen de ello, realizando comparaciones entre parámetros y variables consideradas.

3.5.3.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO.

Se utilizó el método gravimétrico, el principio de este método se basa en la determinación de la masa de agua contenida en la masa de sólidos de una muestra de suelo, ese método se considera estándar o de referencia, pues con el se mide directamente el contenido de humedad del suelo, el cual se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$pw = \left[\frac{PSH - PSS}{PSS} \right] 100$$

Donde:

Pw= Contenido de humedad (%)

PSH= Peso de suelo húmedo (g)

PSS= Peso del suelo seco (g)

Se tomaron muestras representativas (Fig. 3.5) de 100 a 150 gramos a las profundidades de trabajo del cincel, se llevaron a laboratorio y se pesan (PSH), para después meterlos a la estufa en la cual permanecerán 24 horas a una

temperatura de 105 °C. pasado este tiempo se retiraron las muestras y se pesan nuevamente obteniéndose así el peso del suelo seco (PSS).



Fig. 3.5. Muestras de suelo.

3.5.3.2. MEDICIÓN DE LA TEXTURA.

La textura se refiere al porcentaje de arena limo y arcilla que integran el suelo; es una característica muy importante que afecta a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Para determinación de la textura del suelo se empleó el análisis mecánico con el método del hidrómetro (Bouyoucos). Se tomaron muestras de suelo en diferentes puntos del terreno y se llevaron al laboratorio para su análisis.

3.5.3.4. DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA A TRABAJAR.

Antes de meter el implemento a la labor se midió la distancia a trabajar (50 m) según era el caso, en cada extremo se metió el implemento para aflojar el terreno y poder hacer la penetración del implemento más fácil durante el inicio de la evaluación (Fig. 3.6).



Fig. 3.6. Determinación del largo a trabajar.

3.6. PARAMETROS CONSIDERADOS DURANTE LA LABOR.

3.6.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

La medición del consumo de combustible se realizó mediante un sistema electrónico construido por (González, 2008), que consiste en un par de medidores de flujo y sensores que determinan el flujo de entrada y retorno del motor calculando así el consumo de combustible durante la labor (Fig. 3.7).



Fig. 3.7. Sistema para medir consumo de combustible.

Para calcular los litros consumidos por hectárea es cuestión de realizar una sencilla conversión utilizando los ml. por área trabajada.

3.6.2. VELOCIDAD DE AVANCE.

La velocidad de avance se calculo tomando el tiempo que tardo el tractor en recorrer la distancia especificada de trabajo (50m), esto también nos sirvió para determinar el número aproximado de datos por segundo a obtener en la prueba (Fig. 3.8).

Para calcular la velocidad de avance se utilizo la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V= Velocidad de avance (ms^{-1})

d= distancia recorrida por el tractor (m)

t= tiempo en recorrer la distancia especificada (s)



Fig. 3.8. Medición de la velocidad de avance.

Para el caso del implemento rediseñado se evaluó con otro tipo de sensores (octagonal extendido), para este caso solo se utilizó el tractor John Deere puesto

que los sensores son integrales y a este se integra el implemento como se ve en la Fig. 3.9. Cabe mencionar que solo se tomo lectura con un solo octagonal y la transferencia de peso puesto que el otro octagonal tendrá las mismas lecturas.



Fig. 3.9. Medición de la fuerza a través del sensor octagonal.

Para todos los sensores utilizados se utilizo el mismo sistema para la adquisición de datos similar al utilizado por (Hinojosa, 2003) (Fig. 3.10).

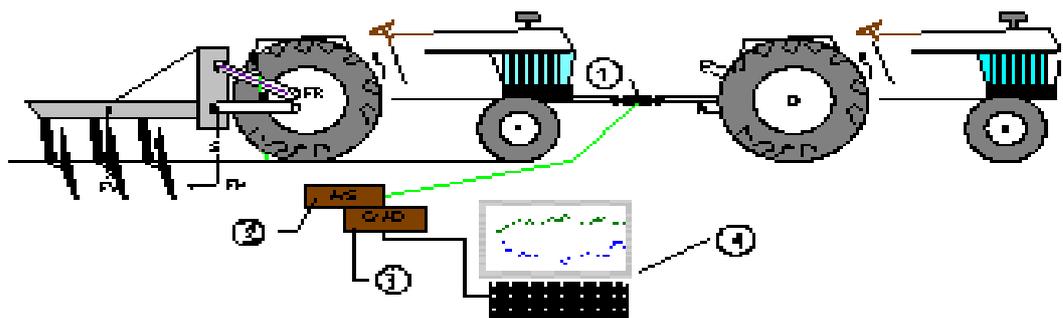


Fig. 3.10. Sistema de adquisición de datos.

1.- Transductor: convierte una fuerza física en una señal eléctrica y de su funcionamiento depende la reproducción de la señal analógica (dinamómetro de

tiro, ring de penetrometro, dinamómetro de transferencia de peso, octagonales extendidos).

2.- Amplificador- acondicionador: amplifica la señal del transductor y proporciona una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla al convertidor analógico digital (DBK-16 con dos canales y un DBK-43A con 8 canales ambos de IOtech, inc.) este ultimo utilizado solo en los sensores octagonales.

3.- Convertidor analógico digital: es un modulo que se conecta al puerto paralelo de una computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora (Daq Book 200 de IOtech, inc).

4.- Computadora. Los software utilizados para el procesamiento de los datos fueron: **Daq View:** Este software se utiliza para la obtención de los datos en el momento de la prueba y los guarda en la computadora y **MatLab:** Utilizando el programa “análisis” que contiene la transformada de Fourier se obtiene el análisis espectral de los datos.

3.7. VARIABLES CONSIDERADOS DESPUES DE LA LABOR

3.7.1. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DISTURBADA.

La medición del área disturbada se llevo a cabo con un perfilómetro de 20 varillas con una separación de 10 cm entre ellas el cual se colocaba después de sacar el suelo disturbado por el implemento tratando de cubrir todo el ancho de trabajo ver (Fig. 3.11). Con una cinta métrica se toma lectura de cada una de las varillas por todo el ancho de trabajo para su interpretación correspondiente en Excel.



Fig. 3.11. Medición del área disturbada.

3.7.2. ANCHO DE TRABAJO.

El ancho de trabajo se midió durante la obtención del perfil con una cinta métrica, se tomaba la distancia de todo lo ancho en el cual había pasado el implemento, estas medidas fueron tomadas en todas las muestras para posteriormente sacar un promedio de todas las corridas del mismo arreglo (Fig. 3.12). También el ancho de trabajo nos sirvió para calcular el consumo de combustible por hectárea.



Fig. 3.12. Medición del ancho de trabajo.

3.7.3. PROFUNDIDAD DE TRABAJO.

La profundidad de trabajo se determinó a través de las gráficas del perfil puesto que los implementos enterraban hasta donde el suelo y la potencia del tractor lo permitían. Para el implemento rediseñado se midió antes de la prueba la profundidad de trabajo ya que teníamos que manejar dos profundidades diferentes con el mismo arreglo, para esto se excavo un hoyo en el suelo y se tomó la distancia entre el nivel de la superficie y la profundidad del hoyo hasta tener una profundidad de 0.30 m para poner una marca en la palanca del levante hidráulico y que el implemento no bajara más de esta profundidad (Fig. 3.13).



Fig. 3.13. Medición de la profundidad de trabajo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. VARIABLES CONSIDERADOS ANTES DE LA LABOR.

4.1.1. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.

La calibración, del ring rojo, se realizó con el mismo método descrito en la sección (3.4.1). Graficando y obteniendo promedios en los datos estabilizados figura (4.1).

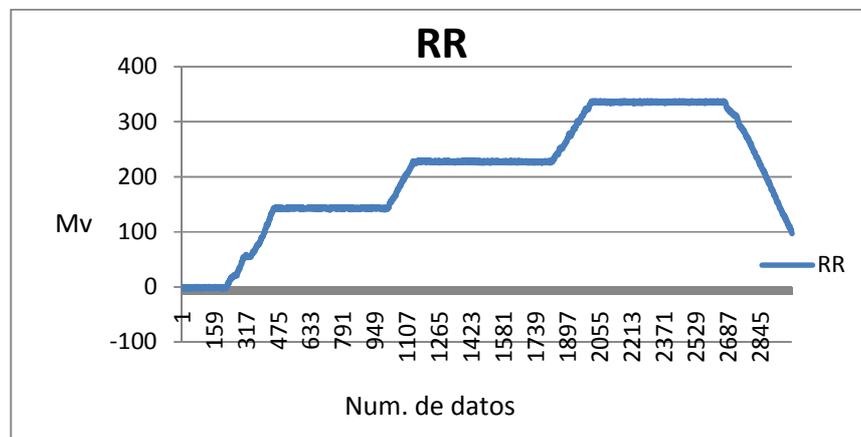


Figura (4.1) Comportamiento en la calibración de los sensores.

Después del análisis de los datos obtenidos en las gráficas se obtuvieron las siguientes constantes de calibración para cada uno de los sensores empleados mostrados en el cuadro (4.1)



Figura (4.2) Calibración de los sensores.

Cuadro (4.1) Constantes de calibración de los sensores.

<i>Sensor</i>	<i>Variable</i>	<i>Constante (Nm^v⁻¹)</i>
<i>Octagonal negro con peso</i>	<i>FX</i>	<i>1.065</i>
<i>Octagonal de energía</i>	<i>FX</i>	<i>4.26</i>
<i>Octagonal amarillo</i>	<i>FX</i>	<i>16.01</i>
<i>Octagonal verde</i>	<i>FY</i>	<i>54.18</i>
<i>Ring Rojo</i>	<i>TP</i>	<i>16</i>

FX=FUERZHORIZONTAL. FY= FUERZA VERTICAL. TP= TRANSFERENCIA DE PESO

CUADRO (4.2). SENSITIVIDAD DEL SENSOR INTEGRAL BAJO CONDICIONES DE LABAORATORIO.

SENSORES	OE	RR	OA	OE/RR	OE/OA
DISTANCIA (cm)	0.73	0.45	0	P	P
	8157	5296	9557	1.54	0.85
	8111	5280	9493	1.53	0.85
	8085	5280	9461	1.53	0.85
PROM.	8117	5285	9503	1.53	0.85

OE= OCTAGONAL DE ENERGIA RR= RING ROJO OA= OCTAGONAL AMARRILLO
P= PROPORCION OE/RR, OE/OA=DIVISION DE AMBOS OCTAGONALES PARA SACAR LA PROPORCION

4.1.2. MEDICIÓN DE LA TEXTURA.

La textura del terreno donde se realizaron las pruebas es de tipo arcillo-limoso, con los contenidos de fracciones minerales de 34% de arena, 35% de limo y 31% arcilla.

4.1.3. HUMEDAD DEL SUELO.

En el cuadro (4.3) se muestra los datos de campo y los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ecuación (1) para el cálculo de porcentaje de humedad.

CUADRO 4.3 PORCENTAJE DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

peso (sh) (gr)	peso (ss) (gr)	% de humedad
42.6	37.3	14.20
66.8	58.4	14.38
63	58	8.62
63.3	58.2	8.76
promedio		11.49

El contenido de humedad del suelo al momento de la evaluación fue de 11.49%.

4.2. PARÁMETROS CONSIDERADOS DURANTE LA LABOR.

4.2.1. CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

En el cuadro (4.4) se puede apreciar que el consumo de combustible se ve en disminución en función de la resistencia a la penetración del suelo, para las condiciones en que se llevaron a cabo las evaluaciones.

CUADRO (4.4) CONSUMO DE COMBUSTIBLE (L-HA⁻¹) DE LOS IMPLEMENTO EVALUADO CON DIFERENTES ARREGLOS.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE * ARREGLO * HA.				
	ARREGLO	AREA (A * L) (m.)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE * ARREGLO (lts.)	C. DE COMBUSTIBLE * HA (lts. * Ha)
1800 RPM	1	108	0.299	27.08
	2	91	0.272	29.89
	3	128	0.333	26.01
	4	130	0.313	18.41
	7	134	0.306	22.8
	8	111	0.231	20.8

RPM= Revolución por min. H= Ancho. L = Largo. m= Metro. Lts= Litros. Ha= Hectárea.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA.

En la figura (4.3) se muestran los diferentes sensores utilizados para la determinación de la fuerza requerida por los implementos.

Figura (4.3) Sensores empleados en la determinación de la fuerza de tiro.
(a) sensor de tiro de 40 kN. (b) sensor integral de 80 kN.



La figura (4.4) muestra las gráficas del comportamiento de las fuerzas ejercidas por el implemento a la hora de realizar la labor, estas graficas se obtuvieron mediante los diferentes sensores.

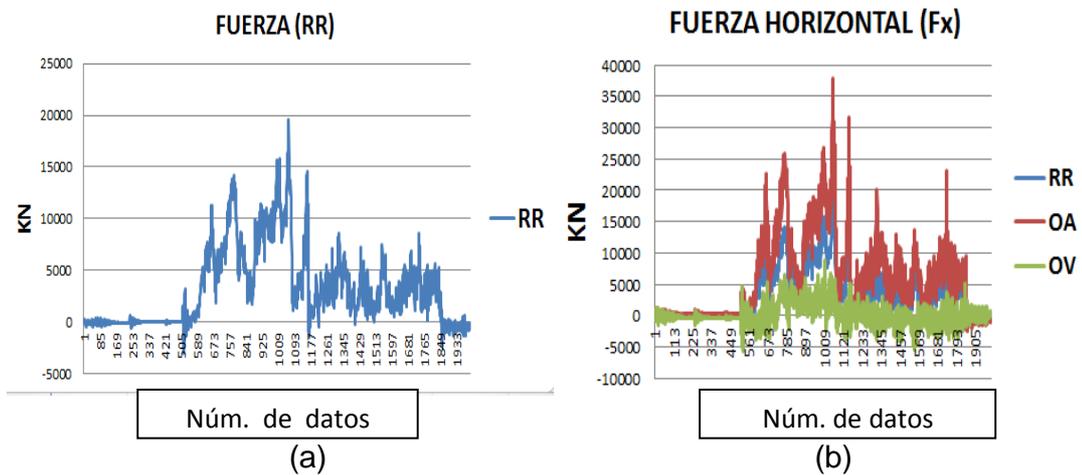


Figura 4.4. (a) grafica obtenida por dinamómetro de tiro de 40 kN. (b) grafica obtenida empleando el dinamómetro integral de 80 kN.

En los cuadros (4.5) se muestran las comparaciones de las fuerzas medias ejercidas por el MCC 3/5/7 rediseñado con sus respectivos arreglos así como también la potencia requerida por los mismos.

Cuadro (4.5) Fuerzas medias ejercidas por los implementos de 3, 5 y 7 cinceles con diferentes arreglos.

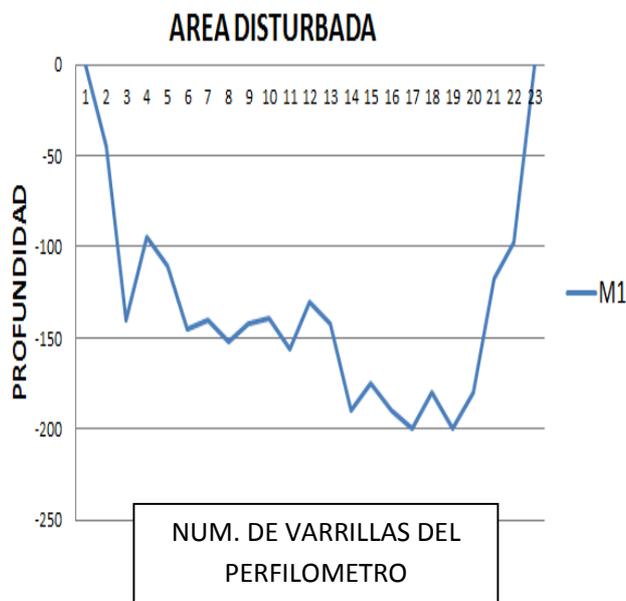
(Ring Amarillo)				
ARREGLO	MEDIA	PN	FT	Max
1	9490	1011	10501	15200
2	6916	675	7591	13079
3	13427	2121	15548	21475
4	9950	1282	11232	20153
7	19213	2061	21274	32754
8	5274	2535	7809	12571
(Ring Rojo)				
ARREGLO	MEDIA	PN	FT	MAX
1	7213	596	7809	10600
2	5510	621	6131	7282
3	9468	1408	10876	13523
4	7116	1235	8351	13559
7	4878	2104	6982	12234
8	1820	813	2633	6316
(Ring Verde)				
ARREGLO	MEDIA	PN	FT	MAX
1	3487	1110	4597	8840
2	3371	908	4279	5754
3	9535	1381	10916	8953
4	3177	1381	4558	7795
7	3263	484	3747	7473
8	279	609	888	5803

4.3. VARIABLES CONSIDERADAS DESPUÉS DE LA LABOR.

4.3.2. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DISTURBADA.

En figura (4.5) Se observa la determinación de área disturbada mediante la aplicación del perfilometro y en el cuadro (4.9 y 4.10) se observan los resultados obtenidos para el cálculo del área disturbada para los diferentes arreglos mediante los datos que nos proporcionaba el perfilometro.

Figura (4.5). (a) Se aprecia la aplicación del perfilometro para la determinación del área disturbada. (b). profundidad máxima de trabajo.



(a)



(b)

Cuadro (4.6) Comparación de medias para el área de suelo disturbado (m²) para los siguientes implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.

ARREGLO	NUM. DE CINCEL	MEDIA DEL ANCHO DE TRABAJO (m.)	DIST. ENTRE CINCEL (cm.)	MEDIA DEL AREA DISTURBADA (m².)	PROFUNDIDAD DE TRABAJO (CM)	MEDIA DEL C. DE COMBUSTIBLE (L/HA)	RELACIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE ENTRE ARREGLOS
1	3	1.30	60*60 (F) 60*60 (T)	1.08	12.4-27	27.08	
2	3	1.20		0.91	9.0-27.5	29.89	1.00:1.01
3	5	1.30		1.28	16.1-31.5	26.01	
4	5	1.40		1.30	17-33	18.41	1.00:0.71
7	7	1.81		1.34	13.1-26	22.8	
8	7	1.80		1.11	11.6-20	20.8	1.00:0.91

*la primera profundidad indica la media de trabajo y la segunda la máxima.
Relación del consumo de combustible: someros/profundos.

El cuadro (4.7) se aprecia que no hay diferencia significativa en la sección transversal disturbada de cada arreglo del implemento evaluado.

4.4. RESISTENCIA ESPECÍFICA DEL SUELO.

Los datos que se mencionan en el cuadro (4.7) se obtuvieron con la fuerza obtenida entre el área disturbada (kNm²).

Cuadro (4.7) Resistencia especifica del suelo para implementos con 3, 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.

Arreglo	Núm. de cincel	OA MED	OA MAX	Área disturbada m ²	Resistencia especifica (KNM ²)		Índice (Cp/cs)
					OAMAX	OAMED	
1	3	9490	15200	1.08	14.07	8.7	
2	3	6916	13079	0.91	14.32	7.6	0.87
3	5	13427	21475	1.28	16.77	10.4	
4	5	9950	20153	1.70	11.85	5.8	0.56
7	7	19213	32754	1.34	24.44	14.3	
8	7	5274	12571	1.11	11.32	4.7	0.33

FT= fuerza total. RR=Ring Rojo. OA= Octagonal amarillo. OV=Octagonal verde. CP=cincel profundo. CS=cincel somero

4.5. ANCHO DE TRABAJO.

Se tomaron los anchos de trabajo máximos del implemento y también se tomaron los promedios para cada arreglo de cuerpo, los resultados se muestran a continuación en el cuadro (4.13).

Cuadro (4.8). Anchos de trabajo máximos del implemento y promedios por arreglo.

Equipo	Núm. De arreglo	Núm. De timones	Distancia entre timones	Ancho máximo (cm)	Ancho promedio (cm)
Multicultivador MCC 3/5/7 rediseñado	1	3 timones	D1 y D2	183	179
	2	3 timones	D1 y D2	175	168
	3	5 timones	D1 Y D2	175	168
	4	5 timones	D1 y D2	150	148
	7	7 timones	D1 Y D2	216	207
	8	7 timones	D1 Y D2	245	226

D1= distancia de los timones con alas de 58 cm entre ellos. D2= distancia de los timones someros de 60 cm entre ellos

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El equipo empleado para la medición para la fuerza de tiro y la transferencia de peso tiene una confiabilidad del 93% con coeficiente de correlación del 99.5%.
- En relación a los arreglos 7 y 8 con 7 timones se aprecia una reducción del 9% de consumo de combustible y para los arreglos 5 y 6 una reducción del orden del 30%. Lo cual indica ahorros de consumo de combustibles aplicando la teoría de profundidad critica.
- La resistencia específica media para los arreglos 1,3 y 7 con cinces frontales profundos es mayor que los arreglos 2, 4 y 8 con cinces frontales someros en el orden del 13% al 45%.Lo cual indica la variabilidad de la profundidad de trabajo.
- De lo anterior observado se recomienda poner al prototipo ruedas controladoras de profundidad y emplear un tractor de capacidad de tiro de al menos 150 caballos de potencia para tracción sencilla o bien uno 120 caballos de potencia para doble tracción.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. Alcides P. Di Prinzio; Sergio N. Behmer; Guillermina L. Striebeck. 1997. perdurabilidad del subsolado en huertos frutales. Proyecto: La Mecanización Agrícola como Aporte a la Sustentabilidad de la Producción. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ciencias Agrarias, C.C. 85 (8303), Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.
2. Ashrafizadeh, S.R and R.L, Kushwaha. 2003. Soil model in front of a tillage tool action –a review. CSAE/SCGR. Paper No. 03-210 Canadian Society of Agricultural Engineers, Meeting, 2003 Montreal, Quebec. Canada.
3. Báez Almazán O. 2001. Análisis del gasto de energía, eficiencia y costo de las operaciones con maquinaria de los sistemas de producción de maíz y sorgo en el Norte de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila, Mexico.
4. Barber, R.G., Navarro, F. y Orellana, M. 1993. Labranza Vertical. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
5. Buckingham F. 1984. Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo. Deere&CompanyService Training. Moline, Illinois. E. U. A.
6. Cadena Z. M., Gaytan M. T., Zermeño G. A., 2004. Desempeño de implementos de labranza en terminos de consumo de energía y calidad de trabajo. Revista agraria - nueva época- año I – Vol.1 pp. 58-65.

7. Camacho, H. J y Magalhães P. S. G. 2002. A study of operational parameters of double discs and parabolic chisels for applications on areas with surface crop residues. Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas. Sao Paulo, Brasil.
8. CHAPMAN, P.F. 1974. "The energy cost: A review of methods", *Energy Policy*, 2(2): 91-103.
9. Chaudhuri, D. 2001. Performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills: a review. *J. Agric. Eng. Res.* 79:125-137.
10. Chichester, F.W., J.E. Morrison, and T.J. Gerik. 1985. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. *Trans. ASAE* 28:1013-1018.
11. Coelho, J.L.D. 1998. Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo. 71 p. Tesis Maestría Ingeniería Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, Sao Paulo, Brasil.
12. Crossley P., Kilgour J. 1983. Small farm mechanization for developing countries. Chichester. John Wiley, pp. 221-224.
13. Derspch, R. 2007. The no tillage revolution in South America. *FarmTechProceedings* 54-68.
14. FAO 2000. Manual de practicas integradas de manejo de conservacion de suelos. Roma, Italia, Cap 8 pp. 59-85.

15. Fielke, J.M. 1996. Interactions of the cutting edge of tillage implements with soil. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63 (1): 61-71.
16. Garner, T.H.; Dodd, R. B. ; Wolf Dan; Peiper, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three – point hitch dynamometer. *Transaction of the ASAE.* 31(4) :1047-1053.
17. Godwin, R.J. and M.J. O`Dogherty, 2007. Integrated soil tillage prediction models. *Journal of Terramechanics.* 44(1): 3-14
18. González V. R., Morejon M. Y., Morales R. D. García C. A. E. 2009. Evaluación energética de la labor de rotura con tracción animal y tractor MTZ-510. Estudio de caso: Granja Guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* Vol. 18 No. 3.
19. Hinojosa G. M. 2003. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II Basado en el diseño Octagonal extendido. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila, México.
20. Hoogmoed. W.B. 1999 Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
21. Jesús H. Camacho-Tamayo y Gonzalo A. Rodríguez (2007). Evaluación de Implementos de Labranza a Diferentes Velocidades de Operación y Contenidos de Agua del Suelo. *Investigación recursos naturales.* Bogotá, Colombia.

22. Kichler, C.M J.P. Fulton, R.L. Raper, W.C. Zech, T.P. McDonald, C.J. Brodbeck
2007.Spatially Monitoring Tractor Performance to Evaluate Energy Requirements of Variable Depth Tillage and Implement Selection ASAE annual meeting 2007 paper 071028
23. Krause R., Lorenz F., Hoogmoed W. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Germany.
24. Lal, R. 1995. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. *Soils Bulletin* 71. FAO, Rome, Italy.
25. Lanças, K.P. e S.H. Benez. 1988. Influência da velocidade de subsolagem no consumo de combustível e na área mobilizada do solo. *Energiana Agricultura (Botucatu)* 3:25-30.
26. Magalhães, P.S.G., e W.R. Souza. 1990. Subsolador: Influência de parâmetros geométricos no mecanismo de forças. 2:1033. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, Sao Paulo, Brasil, Julio de 1990. Sociedad Brasileira de Ingenieria Agrícola, Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil.
27. McKyes, E. 1985. Soil cutting and tillage. 217 p. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
28. Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.

29. Morales H. H. 2009. Validación de un protocolo para evaluación de implementos de labranza vertical. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila, Mexico.
30. Norma Mexicana para arados. 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. CENEMA. texcoco, estado de México.
31. Ohep Carlos, Marcano Felipe y Sivira Orlando, 1998. Efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y rendimiento del frijol, Bioagro; Vol.10, Num. 3, pp 68-75.
32. PIMENTEL, D.: 1980. *Handbook of energy utilization in agriculture*, pp. 475, CRC Press.
33. Rahman, S., and Y. Chen. 2001. Laboratory investigation of cutting forces and soil disturbance resulting from different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil Tillage Res.* 58:19-29.
34. Serrano J.M., J.O. Peça, J. Marques da Silva, A. Pinheiro, M. Carvalho. 2007. Tractor energy requirements in disc harrow systems. *Biosystems Engineering*, 98(3): 286-296.
35. SIAP 2006. Estadísticas Agrícolas de México. Sistema de Información Agropecuaria Pesquera (SIAP) SAGARPA.
36. Smith D. W., Sims B. G. 1990. Procedimiento para evaluación de implementos para labranza primaria. Evaluación técnica de equipos para pequeños productores. Manual teórico-práctico. Programa de cooperación técnica México-Gran Bretaña, pp. 1-14.

37. Spoor, G. and Godwin, R.J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *JournalAgriculturalEngineeringResearch* 23:243-258.
38. Spoor, G. and R.J. Godwin 1990. Soil loosening requirements, implements and techniques. HGCA Research Review. No.19 London U.K.
39. Steiner, K.G. 1998 Conserving Natural Resources and Enhancing food security by adopting no tillage. TÖB Publication No. F-5/e GTZ. Echborn. Germany.
40. Tong, J and Z.M. Ballel 2006. Effect of the rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: a computer simulation. *Soil and Tillage Research* 88: 55-64.
41. Unger, P.W., Jones, O.R. y Laryea, K.B. 1995. Sistemas de labranza y prácticas de manejo de suelos para diferentes condiciones de tierras y climas. En: *Memorias de la segunda reunión bienal de la RedLatinoamericana de Labranza Conservacionista*, Eds. I. Pla Sentís y F. Ovalles, Guanare, Acarigua, Venezuela, RELACO. pp. 82-117.
42. Uribe C. H. y Rouanet M. J. L. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo, *Agricultura Técnica*, vol. 62, No. 4 pp. 555 – 564.

43. Wildman, W.E., C.A. Reaves, and W.R. Gill. 1978. Effect of slip plow design on draft forces and soil loosening. Trans. ASAE 21:422-426. The Chilean Journal of Agricultural Research (formerly AgriculturaTécnica) is edited by the

44.¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, correo electrónico martincadena@uaaan.mx² Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Campo Experimental Cotaxtla, Medellín de Bravo, Veracruz.

VII. ANEXOS

A 1. ESPECIFICACION DEL IMPLEMENTO

		ESPECIFICACIONES									
IMPLEMENTO	ancho máximo de trabajo (m)	ancho de trabajo (m)						Altura max. (punta al cuadro) (m)	ancho cuerpo (m)	ancho punta (m)	ángulo punta
		arreglo 1	Arreglo 2	Arreglo 3	Arreglo 4	Arreglo 7	Arreglo 8				
		a 30 cm	A 30 Y 20CM	A 30 CM	A 30 Y 20	A 30 CM	A 30 Y 20				
MCC	2.00	1.79	1.68	1.68	1.48	2.07	2.26	0.70	2.33	0.056	33º

A 2. GENERALIDADES CONSIDERADAS ANTES DE LA LABOR.

A 2.1. Cuadro de porcentaje de humedad del suelo.

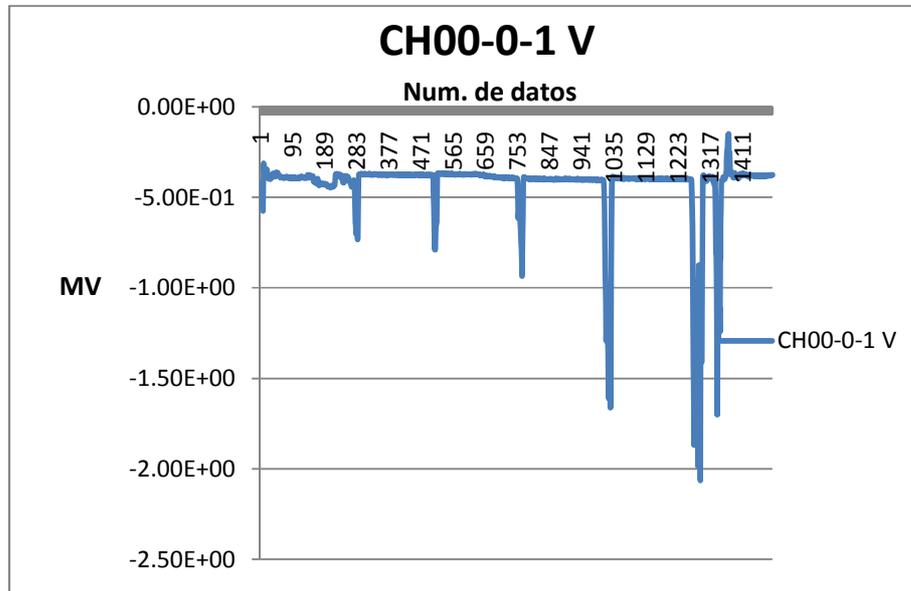
NO. DE MUESTRA	P. BOTE (gr)	PSH Y BOTE (gr)	PSS(gr)	PSH NETO (gr)	PSS NETO (gr)	% DE HUMEDAD (PW)
1	15	72.6	37.3	150	128.2	14.20
2	14.9	96.6	58.4	149.6	129.6	14.38
3	15.4	93.8	58	160.2	138.9	8.62
4	15.2	93.7	58.2	152.8	131.8	8.76

$$pw = \left[\frac{PSH - PSS}{PSS} \right] 100$$

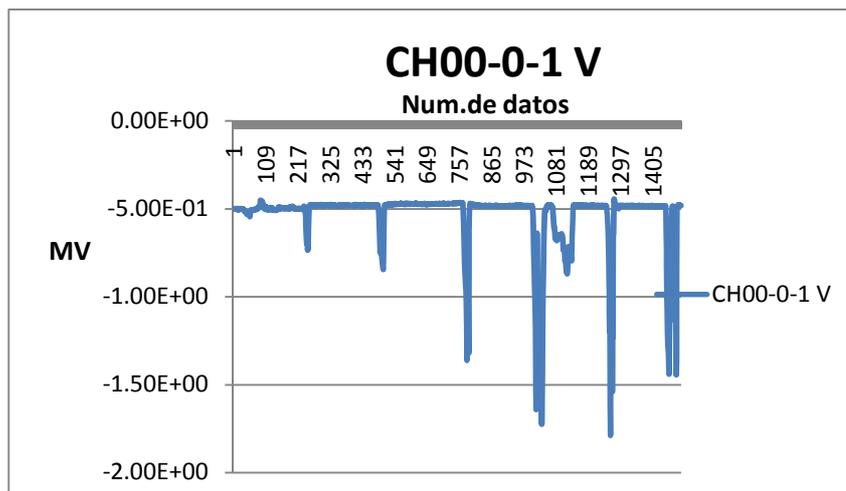
PROMEDIO 11.49

A 2.2 Resistencia a la penetración

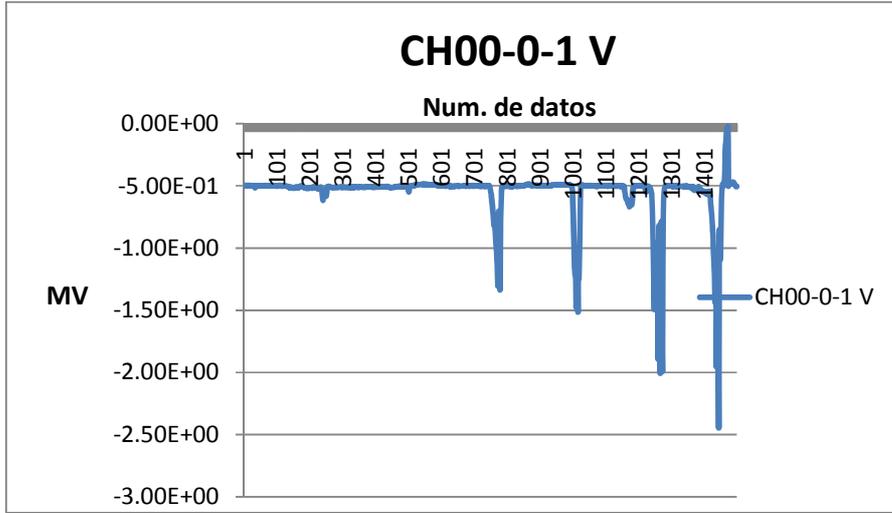
A 2.2.1 Graficas de las muestras de obtenidas con el penetrometro.



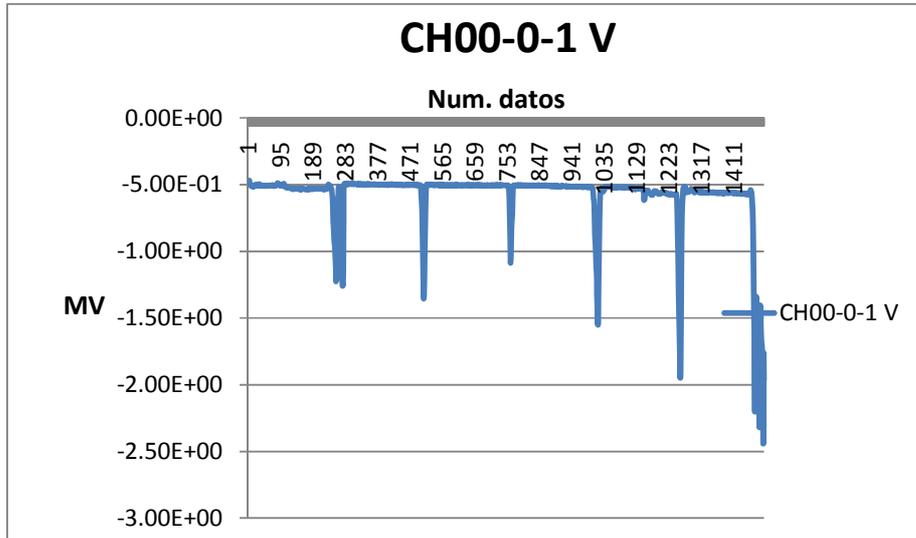
Muestra No. 3



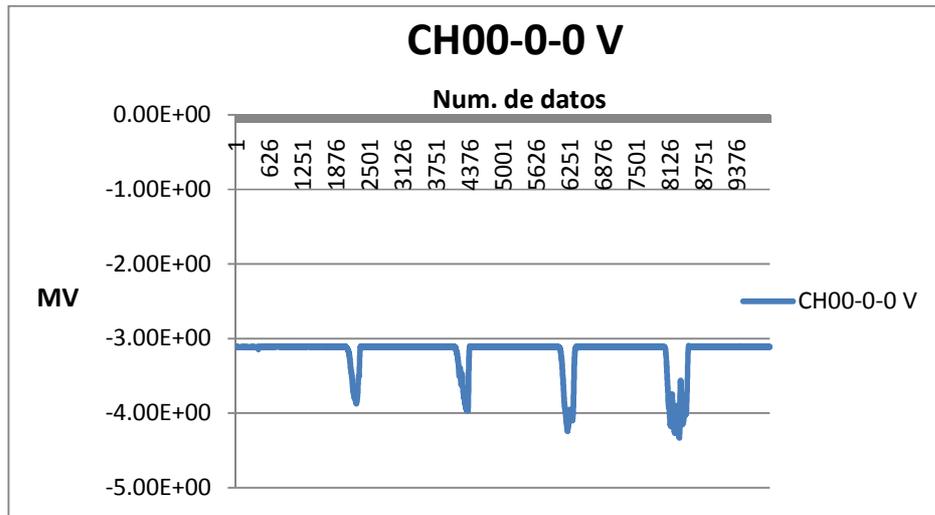
Muestra No. 10



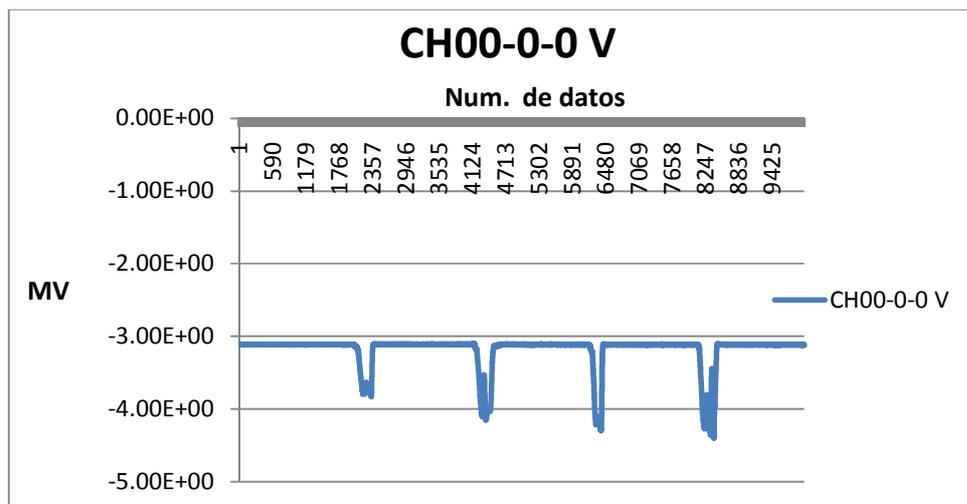
Muestra No. 14



Muestra No. 18



Muestra No. 2 (de 10 en 10 cm)



Muestra No. 4 (estas dos graficas son solo para el terreno donde se evaluó el rediseño del MCC 3/5/7).

NOTA: Debido a que son demasiados datos solo se pondrán graficas demostrativa.

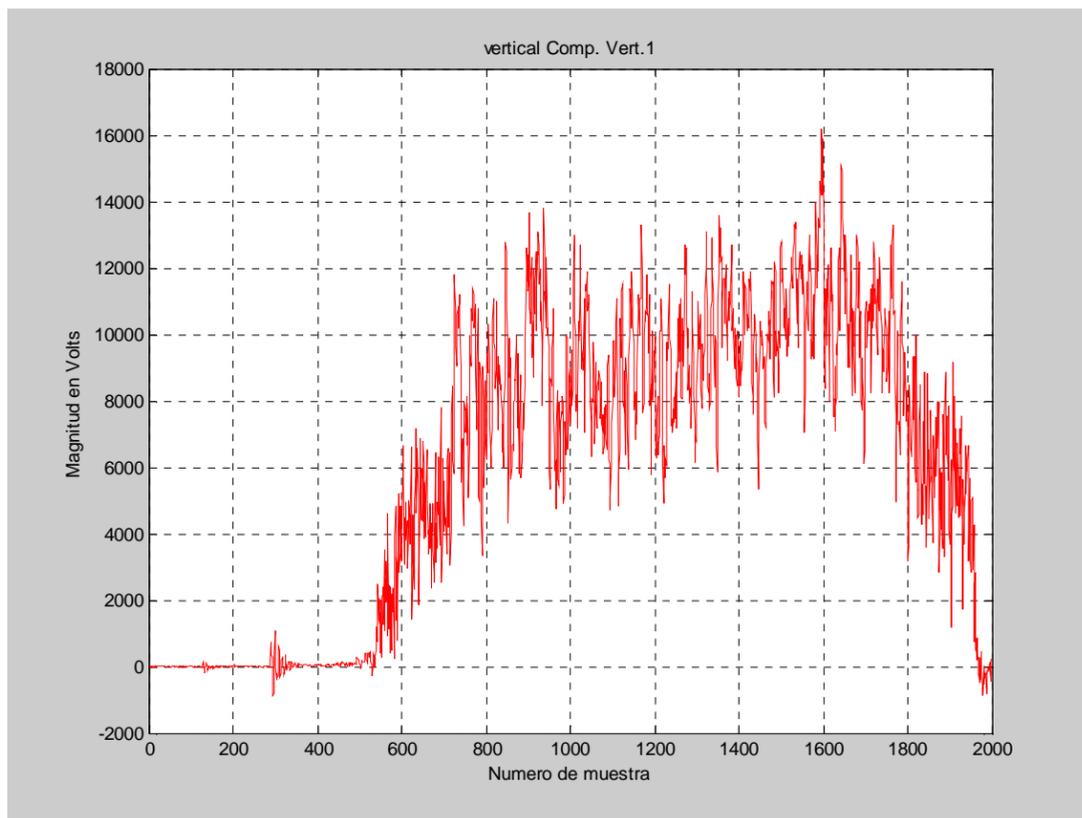
A 3 DATOS OBTENIDOS DURANTE LA LABOR.

A 3.1. Determinación de la fuerza de tiro, consumo de combustible y velocidad de avance.

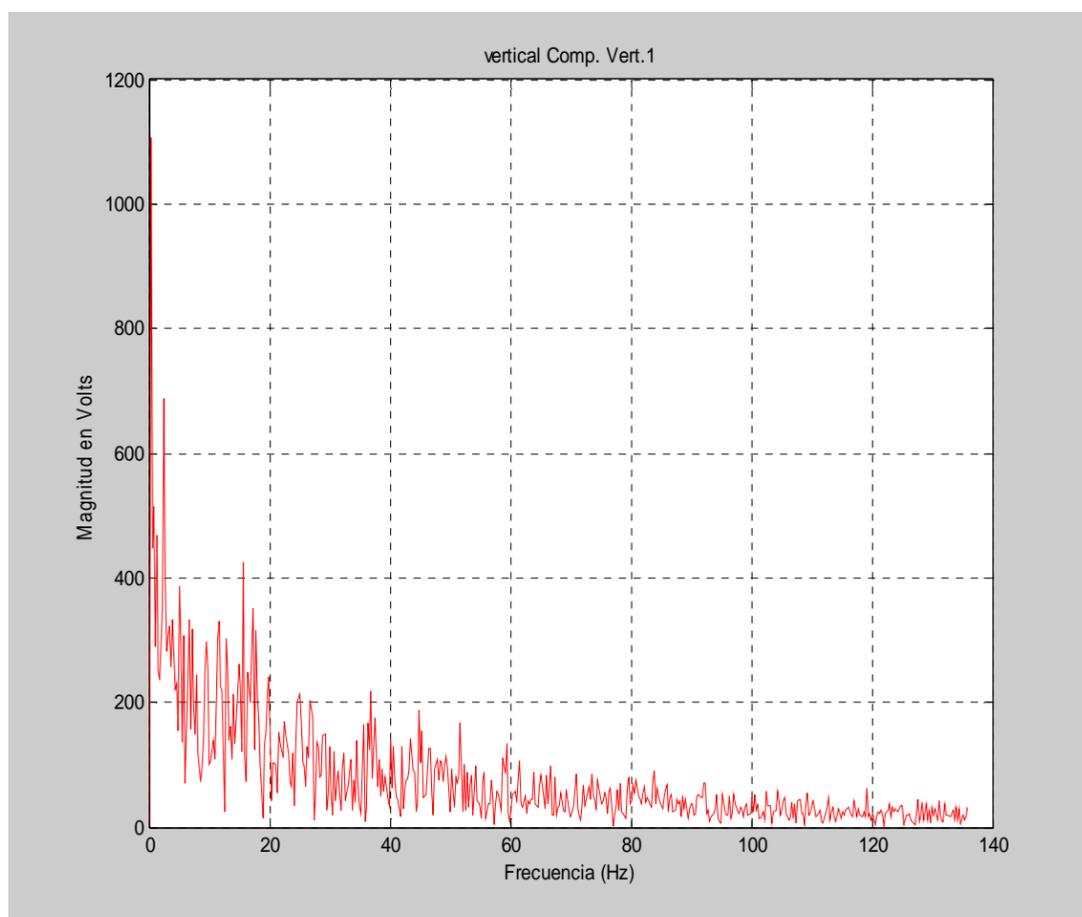
A 3.1.1. Análisis espectral

Para el sensor de octagonal extendido:

Grafica para el inicio de análisis



Análisis terminado



De los análisis se obtuvieron los valores de media y pn que se muestran a continuación.

ANALISIS ESPECTRAL DE ARREGLOS DEL MCC 3-5-7

REPETICION 1				
NOMBRE	MEDIA	PN	FT	MAX
RING AMARRILLO 1	88832	25247	114074	16200
RING AMARRILLO 2	66748	81899	148637	14657
RING AMARRILLO 3	88249	15849	104088	23547
RING AMARRILLO 4	81997	21991	103988	22295
RING AMARRILLO 7	17421	31126	48547	39569
RING AMARRILLO 8	30000	17502	47502	15845
RING ROJO 1	73258	66359	139617	11200
RING ROJO 2	46426	27237	73663	9172
RING ROJO 3	68715	14309	83024	13642
RING ROJO 4	59741	14299	74040	15356
RING ROJO 7	43562	17011	60573	18819
RING ROJO 8	17603	83207	100810	7160
RING VERDE 1	36656	81899	118555	1050
RING VERDE 2	23487	34371	57858	10085
RING VERDE 3	38180	11856	50036	10763
RING VERDE 4	24493	88733	113226	9921
RING VERDE 7	32954	70325	103279	10540
RING VERDE 8	23281	56373	79654	5878

REPETICION 2				
NOMBRE	MEDIA	PN	FT	MAX
RING AMARRILLO 1	80965	10856	91821	16200
RING AMARRILLO 2	56405	13280	69685	14657
RING AMARRILLO 3	11683	31806	43489	23547
RING AMARRILLO 4	10098	16230	26328	22295
RING AMARRILLO 7	66046	43066	109112	39569
RING AMARRILLO 8	26078	11455	37533	15845
RING ROJO 1	65675	92794	158469	11200
RING ROJO 2	48326	12479	60805	9172
RING ROJO 3	85056	21830	106886	13642
RING ROJO 4	73286	11606	84892	15356
RING ROJO 7	71905	18746	90651	18819
RING ROJO 8	12044	63538	75582	7160
RING VERDE 1	31764	12030	43794	1050
RING VERDE 2	28124	10666	38790	10085
RING VERDE 3	37391	18118	55509	10763
RING VERDE 4	32999	13018	46017	9921
RING VERDE 7	11427	11628	23055	10540
RING VERDE 8	43855	38175	82030	5878

A.4. TABLA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

prof. de cinces en cm	N. de cinces	arreglo	área disturbada en m ²	consumo por arreglo en ml	consumo de combustible L/H
30*30*30	3	1	1.08	299	27.68
20*30*20	3	2	0.91	272	29.89
todos a 30	5	3		333.5	
20*30*20 y traseros a 30	5	4	1.7	313	18.41
todos a 30	7	7	1.34	306	22.8
30*20*20*30 y traseros a 30	7	8	1.11	231.5	20.8

A.5. AREA DISTURBADA CON DIFERENTES ARREGLOS CON EL IMPLEMENTO MCC-3-5-7.

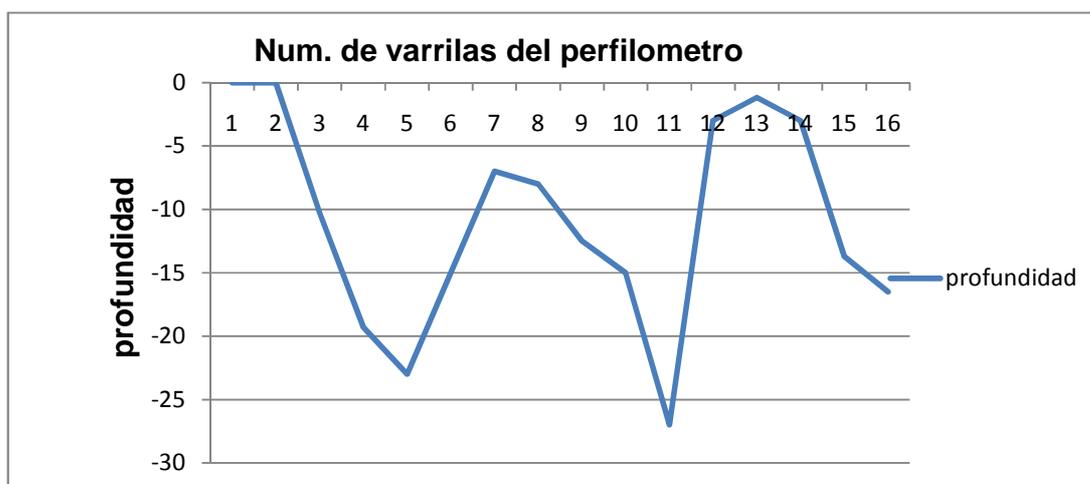
área disturbada con el implemento MCC 3-5-7											
arreglo 1		arreglo 2		arreglo 3		arreglo 4		arreglo 7		arreglo 8	
muestra 1	muestra 2	muestra 1	muestra 2	muestra 1	muestra 2	muestra 1	muestra 2	muestra 1	muestra2	muestra 1	muestra2
51.5	93	65	100	20	165	70	30	50	15	50	110
148	174	102.5	150	57.5	197	100	30	107.5	65.5	85	90
211.5	195	100	142.5	148	141.5	125	62.5	66.5	162	132.5	25
190	82.5	65	62.5	176	51.5	127.5	47.5	110	181	102.5	50
110	27.5	35	47.5	102.5	60	137.5	145	182.5	143	62.5	115
85	26.5	45	57.5	107.5	72.5	120	200	112.5	145.5	112.5	125
147.5	55.5	50	65	117	135	130	230	235	98	167.5	85
137.5	168	162.5	95	70.5	212.5	195	217.5	217.5	99	105	65
210	164	242.5	77.5	116.5	227.5	200.5	210	180.5	180	45	55
150	42.5	170	32.5	60	270	147.5	252.5	125	176.5	75	72.5
21	12.5	100	50	55	282.5	192.5	192.5	128.5	187.5	92.5	145
21	15	50	85	116.5	187.5	265	120	107.5	195	135	120
190.5	26.5	27.5	175	60.5	120	230	115	56	140	205	72.5
151	105.5	93.46	87.69	92.88	163.27	170	100	36	180	187.5	107.5
130.32	84.86	0.93	0.88	0.93	1.63	157.89	130.166667	117	210	140	127.5
1.30	0.85					1.58	1.30	122.13	145.20	117.5	180
						1.30		1.22	1.45	125	200
										165	137.5
										116.94	104.58
										1.17	1.05
PROM. 1.08 M		0.91 M		1.28 M		1.7 M		1.34 M		1.11 M	

A.5.1 Perfil del suelo con diferentes arreglos

perfil del suelo (arreglo 1):(30(F):3 cinceles

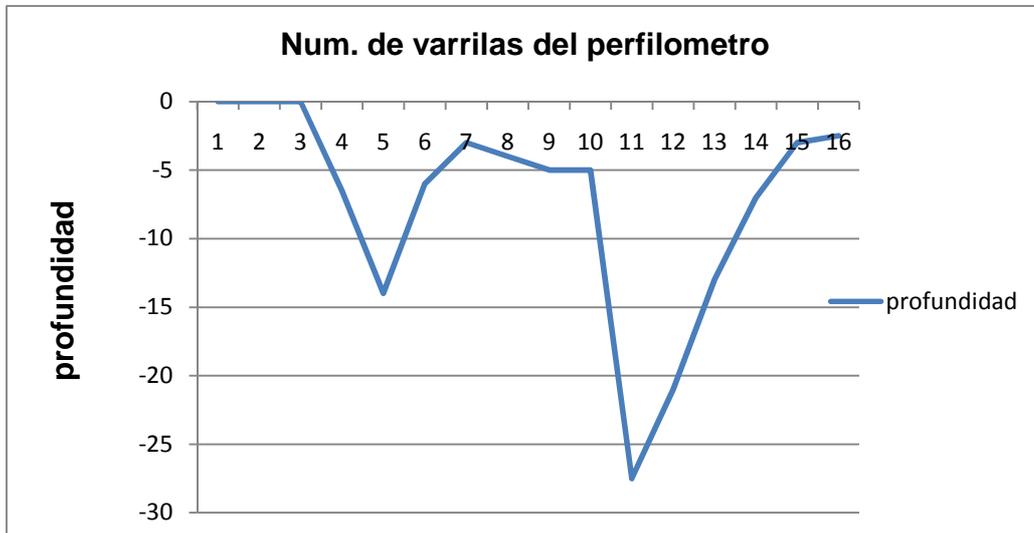
Núm.	profundidad	multiplicado	profundidad
1	0	-1	0
2	0	-1	0
3	10.3	-1	-10.3
4	19.3	-1	-19.3
5	23	-1	-23
6	15	-1	-15
7	7	-1	-7
8	8	-1	-8
9	12.5	-1	-12.5
10	15	-1	-15
11	27	-1	-27
12	3	-1	-3
13	1.2	-1	-1.2
14	3	-1	-3
15	13.7	-1	-13.7
16	16.5	-1	-16.5

PROMEDIO: 12.46



perfil del suelo (arreglo 2):20 Y 30(F):3 cinces			
num	profundidad	multiplicado	profundidad
1	0	-1	0
2	0	-1	0
3	0	-1	0
4	6.5	-1	-6.5
5	14	-1	-14
6	6	-1	-6
7	3	-1	-3
8	4	-1	-4
9	5	-1	-5
10	5	-1	-5
11	27.5	-1	-27.5
12	21	-1	-21
13	13	-1	-13
14	7	-1	-7
15	3	-1	-3
16	2.5	-1	-2.5

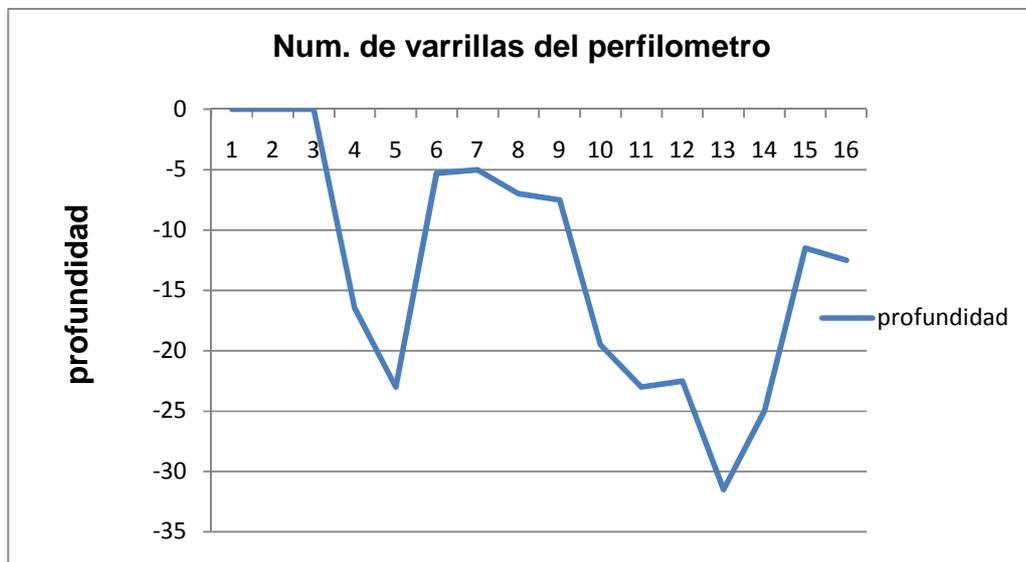
RPOMEDIO= 9.04



perfil del suelo (arreglo 3):30(F)*30(T)

num.	profundidad	multiplicado	profundidad
1	0	-1	0
2	0	-1	0
3	0	-1	0
4	16.5	-1	-16.5
5	23	-1	-23
6	5.3	-1	-5.3
7	5	-1	-5
8	7	-1	-7
9	7.5	-1	-7.5
10	19.5	-1	-19.5
11	23	-1	-23
12	22.5	-1	-22.5
13	31.5	-1	-31.5
14	25	-1	-25
15	11.5	-1	-11.5
16	12.5	-1	-12.5

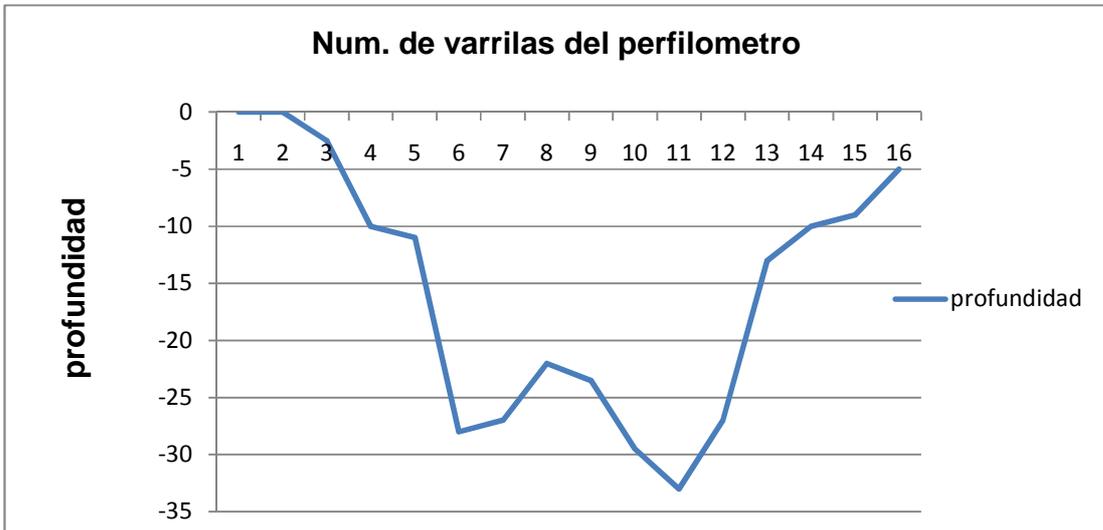
RPOMEDIO= 16.14



perfil del suelo (arreglo 4):20 Y 30(F)*30(T):5 cinces

num.	profundidad	multiplicado	profundidad
1	0	-1	0
2	4.5	-1	0
3	2.5	-1	-2.5
4	10	-1	-10
5	11	-1	-11
6	28	-1	-28
7	27	-1	-27
8	22	-1	-22
9	23.5	-1	-23.5
10	29.5	-1	-29.5
11	33	-1	-33
12	27	-1	-27
13	13	-1	-13
14	10	-1	-10
15	9	-1	-9
16	5	-1	-5

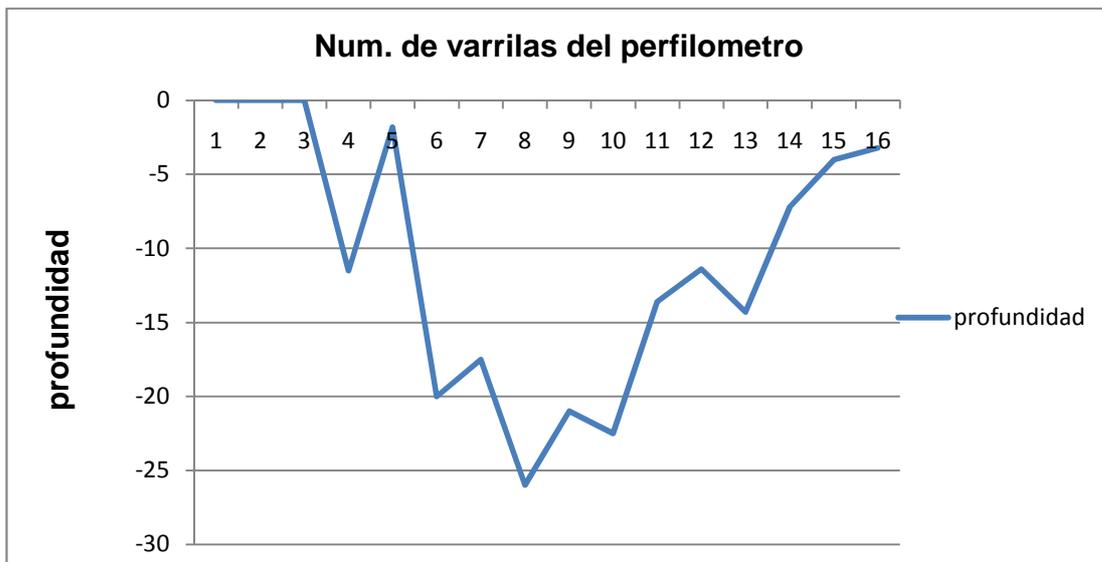
PROMEDIO= 17



perfil del suelo (arreglo 7):30(F)*30(T):7 cinceles

num	profundidad	multiplicado	profundidad
1	0	-1	0
2	0	-1	0
3	10	-1	0
4	11.5	-1	-11.5
5	1.8	-1	-1.8
6	20	-1	-20
7	17.5	-1	-17.5
8	26	-1	-26
9	21	-1	-21
10	22.5	-1	-22.5
11	13.6	-1	-13.6
12	11.4	-1	-11.4
13	14.3	-1	-14.3
14	7.2	-1	-7.2
15	4	-1	-4
16	3.2	-1	-3.2

RPOMEDIO= 13.14



perfil del suelo (arreglo 8):30 y 20(F)*30(T)			
num	profundidad	multiplicado	profundidad
1	5	-1	0
2	12	-1	0
3	14.5	-1	0
4	6	-1	-6
5	6.5	-1	-6.5
6	16	-1	-16
7	17.5	-1	-17.5
8	3.3	-1	-3.3
9	5.5	-1	-5.5
10	9.5	-1	-9.5
11	9	-1	-9
12	20	-1	-20
13	21	-1	-21
14	16.5	-1	-16.5
15	11.5	-1	-11.5
16	12	-1	-12

PROMEDIO= 11.61

