

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”



DIVISION DE INGENIERIA

Evaluación de la calidad de trabajo y consumo de energía en implementos comerciales de labranza vertical con diferentes arreglos espaciales y puntas aladas.

Por:

IGNACIO VITAL FLORES

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2010



AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA.

Primeramente quiero darle las gracias a dios por darme la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa.

A mis padres, *Sr. Quintín Vital Azuara, Sra. Carolina Flores Hernández*, que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papa, gracias por todo mama por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor por todo esto les agradezco de todo corazón que estén conmigo a mi lado.

A mis hermanos *Yamil y Jesús* gracias por estar conmigo y apoyarme siempre los quiero mucho.

A mis *Tíos, Primos, Abuelos y a toda la Familia* les agradezco todo el cariño y apoyo que me ofrecen cuando estoy en casa y cuando estoy fuera de ella. A toda la familia de *Martha* y en especial a ella, por haberla puesto dios en mí camino, de todo corazón gracias por el apoyo que me han brindado.

A todos mis *Amigos* muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes siempre los recordare.

A mis maestros *Dr. Santos Gabriel Campos Magaña*, por su paciencia necesaria y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias, al *Dr. Martin Cadena Zapata* por creer en mí para la elaboración de este trabajo y a todos los demás maestros del departamento porque *Gracias* a sus conocimientos hoy me voy de manera diferente a como un día llegue.

Y para terminar no me puedo ir sin decirles, que sin todos ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro jamás te olvidare. *Gracias*

INDICE DE CONTENIDO.

| | |
|--|-----------|
| I.INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo | 1 |
| 1.2. Objetivo..... | 3 |
| 1.3. Hipótesis. | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 Sistema de labranza vertical | 4 |
| 2.1.1. Consideraciones importantes dentro de la labranza vertical..... | 5 |
| 2.2. Prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas | 11 |
| 2.3. Evaluación de implementos de labranza | 11 |
| 2.4. Medición de fuerza y energía..... | 13 |
| 2.6. Sistema de Evaluación de Implementos en México | 16 |
| 2.7. Calculo de energía y calidad de trabajo en la labranza | 21 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 29 |
| 3.1. Localización del lugar donde se realizo la evaluación | 29 |
| 3.2. Características de equipos comerciales empleados en la evaluación. . | 30 |
| 3.2.1. Multicultivador mmc 3-5-7..... | 30 |
| 3.2.2. Subsolador SVH 9-5..... | 31 |
| 3.2.3. Subsolador SB-5/3 | 32 |
| 3.2.4. Implemento MMC 3/5/7 R (Rediseñado) | 33 |
| 3.2.5. Alas | 34 |
| 3.3. Equipo e instrumentos empleados para la realización de las pruebas. | 35 |
| 3.3.1 Sistema de adquisición de datos y sensores de fuerzas. | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4. Preparación de los instrumentos..... | 39 |
| 3.4.1. Calibración de los sensores | 39 |
| 3.4.2. Arreglo de cinceles para la prueba | 41 |
| 3.5. Caracterización del sitio de evaluación..... | 41 |
| 3.5.1. Tipo de suelo (determinación de la textura). | 41 |
| 3.5.2. Humedad del suelo..... | 42 |
| 3.5.3. Resistencia a la penetración. | 42 |
| 3.5.4. Determinación de la distancia a trabajar..... | 43 |
| 3.6. Variables determinadas durante la labor | 43 |
| 3.6.1. Consumo de combustible. | 43 |
| 3.6.2. Determinación de la fuerza de tiro requerido por el implemento .. | 44 |
| 3.7. Calidad y Energía en la operación de los Implementos. | 46 |
| 3.7.1. Tamaño Medio de Agregados | 46 |
| 3.7.2. Sección de laboreo..... | 47 |
| 3.7.3. Ancho de trabajo. | 48 |
| 3.7.4. Velocidad de trabajo..... | 48 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 49 |
| 4.1. Variables considerados antes de la labor | 49 |
| 4.2. Parámetros considerados durante la labor. | 51 |
| 4.3. Variables consideradas después de la labor..... | 54 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 60 |
| VI. Bibliografía..... | 61 |
| VII ANEXOS..... | 66 |

INDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| Figura (2.1) Cinceles de labranza vertical..... | 4 |
| Figura (2.2) Tipos de brazos del subsolador..... | 7 |
| Figura (2.3) Subsolador combinado con rejas aladas en la parte inferior del subsolador. | 9 |
| Figura (2.4) Área típica de suelo disturbado con arado de cincel (izquierda) y arado de discos (derecha). | 23 |
| Figura (2.5) Representación gráfica de la transferencia de peso y fuerza de tiro respectivamente..... | 25 |
| Figura (2.6) Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas. | 26 |
| Figura (3.1) ubicación geográfica del área de estudios | 29 |
| Figura (3.2) Multicultivador mcc 3-5-7..... | 30 |
| Figura (3.3) Subsolador SVH 9-5..... | 31 |
| Figura (3.4) SB-5/3 Subsolador | 32 |
| Figura (3.5) se pueden apreciar dos vistas del implemento MMC 3/5/7 R rediseñado. (a) vista posterior , (b) vista isometrica..... | 33 |
| Figura (3.6) rediseño del cajón para portar timones delanteros. (a) vista superior, (b) vista lateral derecha..... | 33 |
| Figura (3.7) Par de Alas para timones del cincel | 34 |
| Figura (3.8) Acotaciones de alas | 34 |
| Figura (3.9) Sistema de adquisición de datos..... | 36 |
| Figura (3.10) Transductor de fuerzas de 45kN. | 36 |
| Figura (3.11) Transductor de fuerzas octagonal | 37 |
| Figura (3.12) tractores empleados para las evaluaciones. (a) Tractor New Holland 6810, (b) Tractor John Deere 2703..... | 39 |
| Figura (3.13) Calibración de los sensores a través de 4 contra pesos | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura (3.14) Determinación de la constante de calibración | 40 |
| Figura (3.15) Determinación de la resistencia a la penetración. | 43 |
| Figura (3.16) Determinación del consumo de combustible | 44 |
| Figura (3.17) Fuerza de arrastre del implemento acoplado al tractor | 44 |
| Figura (3.18) Transductores Octagonales montados en bastidor acoplado al tractor..... | 45 |
| Figura (3.19) tamices utilizados para la determinación del tamaño medio de los agregados..... | 47 |
| Figura (3.20) Determinación del área disturbada..... | 47 |
| Figura (4.1) Comportamiento en la calibración de los sensores. | 49 |
| Figura (4.2) Resistencia ala penetracion. (a) Obtencion de datos en campo. (b) Grafica obtenida con el penetrometro en un suelo de 15.9% humedad | 51 |
| Figura (4.3) Sensores empleados en la determinación de la fuerza de tiro. (a) Dinamómetro de tiro de 45 kN. (b) Dinamómetro integral de 80 kN. | 52 |
| Figura (4.4.) (a) grafica obtenida por dinamómetro axial de 45 kN. (b) grafica obtenida empleando el dinamómetro integral. | 53 |
| Figura (4.5). (a) Se aprecia la aplicación del perfilometro para la determinación del área disturbada. (b). profundidad máxima de trabajo..... | 56 |

INDICE DE CUADROS.

| | |
|---|----|
| Cuadro (2.1) Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros | 6 |
| Cuadro (2.2) Resultados obtenidos para dos tratamientos con subsoladores en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue..... | 10 |
| Cuadro (2.3) Resultados de fuerzas de tiro y transferencia de peso: | 25 |
| Cuadro (2.4) Datos de fuerzas y momentos, realizadas con dinamómetro de enganche a los tres puntos del tractor. | 26 |
| Cuadro (2.5) Comparación de medias de los parámetros estudiados. Ensayo discos dobles y cinceles. | 27 |
| Cuadro (3.1) características generales del Multicultivador mcc 3-5-7 | 30 |
| Cuadro (3.2) características generales del subsolador SVH 9-5..... | 31 |
| Cuadro (3.3) características generales del SB-5/3 Subsolador | 32 |
| Cuadro (3.5). Especificaciones generales de los tractores empleados para la evaluación..... | 39 |
| Cuadro (3.6). Arreglos para cada cincel. | 41 |
| Cuadro (4.1) Constantes de calibración de los sensores..... | 49 |
| Cuadro (4.2) Porcentaje de contenido de humedad | 50 |
| Cuadro (4.3) Resultados obtenidos para el cálculo de la resistencia a la penetración. | 51 |
| Cuadro (4.4) Consumo de combustible (L/ha^{-1}) de los implementos evaluados a diferentes velocidades. | 52 |
| Cuadro (4.5) Fuerzas medias ejercidas por los implementos de 5 y 7 cinceles con diferentes arreglos. | 53 |
| Cuadro (4.6) Fuerzas medias ejercidas para 1 y 3 cinceles con diferentes arreglos..... | 54 |
| Cuadro (4.7) Comparación de medias para el tamaño medio de agregados de los implementos con 5 y 7 cinceles y diferentes arreglos. | 55 |

| | |
|--|----|
| Cuadro (4.8) Tamaño medio de agregados de los implementos con 1 y 3 cinceles con diferentes arreglos..... | 55 |
| Cuadro (4.9) comparación de medias para el área de suelo disturbado (m^2) para los siguientes implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos. | 56 |
| Cuadro (4.10) Área disturbada por los implementos con 1 y 3 cinceles en diferentes arreglos. | 57 |
| Cuadro (4.11) Resistencia específica del suelo para implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos. | 57 |
| Cuadro (4.12) Resistencia específica del suelo para implementos con 1 y 3 cinceles en diferentes arreglos. | 58 |
| Cuadro (4.13) Anchos de trabajo máximos de cada implemento y promedios por arreglo..... | 58 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|-------------------|----|
| Ecuación (1)..... | 42 |
| Ecuación (2)..... | 46 |
| Ecuación (3)..... | 48 |

RESUMEN.

La presente investigación se llevo a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; se evaluaron 3 implementos de labranza vertical (subsoladores) proporcionados por la empresa Tecnomec Agrícola S.A. de C.V. La evaluación consistió en medir los parámetros de fuerza de tiro, potencia, consumo de combustible, velocidad de trabajo, diámetro medio de agregados, ancho de trabajo, área disturbada e resistencia específica de suelo al estallamiento.

En una primera fase Se consideraron cinco arreglos de timones con distancias entre ellos de 0.30 a 0.70 m, a una profundidad de trabajo promedio de 0.35 m. En una segunda fase se evaluaron dos arreglos, cincel trasero con alas a 0.40 m de profundidad y dos cinceles frontales a 0.40 y 0.30m. Las parcelas de evaluación fueron de 25 a 50 metros de largo por el ancho de trabajo del implemento con tres repeticiones por arreglo. La textura del sitio es limoso-arcilloso, con los contenidos de fracciones minerales de: 34% de arena, 35% de limo y 31% arcilla, con una resistencia a la penetración de 1990 kPa.

Los resultados obtenidos en la primera fase de evaluación se determino que las distancias entre cuerpos tienen un efecto directamente proporcional sobre la sección transversal de laboreo y sobre el tamaño medio de agregados, la magnitud de la fuerza de tiro se ve afectado por el número de cinceles y el tamaño medio de agregados no se ve afectado por la velocidad de trabajo. En la evaluación de cinceles con alas se observo una disminución de cerca del 50% en la fuerza tiro (kN) y del 25% de resistencia específica (kNm^{-2}) cuando se emplearon los arreglos de cinceles frontales someros. Sin haber efecto sobre la calidad del tamaño de agregados.

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

I.INTRODUCCIÓN.

1.1. Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo.

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida sus propiedades físicas, y directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas. Los cambios promovidos por la labranza deben favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad física del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la erosión y degradación física de éste. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo FAO (2003).

Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie con el surgimiento de finas costras, por debajo de la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación Cabeda (1984) menciona que las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan.

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son Cabeda (1984):

- Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua.
- Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza.

La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de la labranza de conservación, con el fin de disminuir el

impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior, es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo FAO (2003).

Por otro lado el alto costo en las labores debido a un gran número de pasos de implemento y por lo tanto gran consumo de energía en forma de combustible es un factor que puede limitar la actividad agrícola pues reduce el costo beneficio del sistema de producción. Steiner (1998) menciona que para muchos agricultores, antes de una conciencia conservacionista, la principal razón de adopción de los sistemas de labranza de conservación es la posibilidad de reducción de costos.

Para Derspch (2007) 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 los costos.

Teniendo en cuenta lo anterior investigadores señalan que el método de labranza escogido debe ser capaz de ajustarse ampliamente al sistema de manejo del suelo y desarrollo radicular de los cultivos pensando siempre en conservar los recursos suelo y agua (Brown *et al*, 1985; Harman *et al*, al 1989, Bravo, 1995).

En esta investigación se obtendrán los mejores arreglos para cinceles de labranza vertical y de esta manera obtener una mayor eficiencia en la calidad de trabajo reduciendo el consumo de energía y aumentando el índice de demanda de fuerza por unidad de sección transversal, así como también generar información para el método de evaluación de implementos de labranza vertical, así como generar información de arreglos espaciales de cuerpos de cinceles que permitan obtener una mejor eficiencia en términos de consumo de energía y calidad de trabajo.

1.2. Objetivo.

Determinar la calidad de trabajo de subsuelos para labranza vertical con diferentes arreglos espaciales y puntas aladas; así como también la demanda de tiro, potencia, eficiencia de laboreo, tamaño medio de agregados, consumo de combustible y capacidad de trabajo.

1.3. Hipótesis.

Con los nuevos implementos agrícolas de labranza vertical es posible disminuir el índice de fuerza requerida por sección transversal de suelo disturbado (kN/m^{-2}), mediante arreglos espaciales óptimos de cuerpos de cada subsuelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Sistema de labranza vertical.

En los Estados Unidos durante los años 1950 el arado convencional (vertedera y discos) empezó a ser reemplazado por el arado a cincel, (Phillips y Young, 1973).

Este último es un tipo de la labranza vertical que se encuentra en la labranza de conservación, la cual se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. FAO (2000).

Herrera A, y Aguilar Z, (2002), señalan que la principal característica de la labranza vertical es que utiliza implementos flexibles de alta resistencia, que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo, como se muestra en la figura (2.1).



Figura (2.1) Cinceles de labranza vertical.

Los implementos más comunes dentro de la labranza vertical podremos encontrar los siguientes: arado cincel, el vibrocultivador y el cultivador de campo rastrojero.

2.1.1. Consideraciones importantes dentro de la labranza vertical.

La FAO en el (2003) menciona que una de las grandes ventajas en este sistema de labranza vertical es que el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30 por ciento sobre la superficie.

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 compara con labranza convencional. (Baber *et al*, 1993).

Es importante destacar que este tipo de labranza es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. Oussible *et al*, (1992), mencionan que el incremento en la compactación podría restringir el abastecimiento de agua, aire, y la disponibilidad de nutrimentos.

En la implementación de estos arados es importante tener en cuenta la humedad del suelo, que es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación de este. 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, 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).

A continuación se presenta el cuadro (2.1) donde se hacen las comparaciones entre sistemas de labranza para el contenido de humedad, cobertura de rastrojos y rendimiento de maíz realizado en Oxford, donde se obtuvieron mejores condiciones para la labranza vertical, North Carolina, EE.UU. en 1985. (Fuente: Cook y Lewis, 1989).

Cuadro (2.1) Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros.

| Sistema de labranza | Humedad (%) | Cobertura de rastrojos (%) | Rendimiento de maíz (ton/ha) |
|-----------------------|-------------|----------------------------|------------------------------|
| Labranza cero | 13 | 90 | 5,77 |
| Labranza vertical | 12 | 33 | 5,58 |
| Arado cincel disco | 9 | 14 | 4,7 |
| Labranza convencional | 6 | 3 | 3,57 |

Fuente: Cook y Lewis, 1989

Camacho y Rodríguez (2007), realizaron evaluaciones de implementos de labranza vertical a diferentes velocidades y contenidos del agua de suelo determinaron que los arados de cincel rígido es energéticamente más eficiente para preparar el suelo, con una resistencia específica baja y una mayor área de suelo disturbado.

Otra característica importante dentro de la labranza vertical es que la eficacia operativa de estos sistemas es más alta que la labranza convencional, sobre todo debido a que los implementos trabajan a una mayor velocidad, remueve más el suelo y tienen mayor ancho de trabajo. FAO (2003).

Su empleo permite romper capas duras o compactadas, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad que es muy importante para la siembra. Océano en el (2001), señala que para que la

utilización del apero sea correcta, los dientes deben trabajar 10 cm por debajo de la capa dura que se desea romper.

Por otro lado se debe de tomar en cuenta que para cinceles y subsoladores es importante considerar el ángulo de ataque, ya que para un valor cercano 0,436 rad. se presentan bajos valores de fuerza de tracción. (Aluko y Seig, 2000).

La FAO en el (2000) menciona que 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.

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 figura (2.2) para ejemplos de los diferentes tipos de brazos. Las puntas de los brazos normalmente son de 1,5 pulg. de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces el subsolar no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas. (Baber *et al*, 1993).



Figura (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 este, el cual tiene forma similar una sección triangular. 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 por cada brazo. (Baber *et al*, 1993).

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).

Por su parte Aluko y Seig en el (2000), señalan que 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 conllevar a la compactación.

Por otra parte, McKyes (1985) describe que 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.

Por su parte Spoor y Godwin (1978) indicaron que la disposición de las alas en la parte inferior del subsolador, o el uso de dientes de acción superficial ubicados delante del mismo, incrementa 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.

Di Prinzio *et a*, (1997), señalan que en un estudio de la influencia de las rejas aladas de un subsolador combinado sobre el rendimiento la labor en diferentes conformaciones de herramientas de labranza profunda en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue, determino un incremento del 47% de la área disturbada al agregar alas en la parte inferior de un subsolador convencional como se muestra en la figura (2.3), y un incremento de sólo 17% de la área disturbada al trabajar con un subsolador convencional sin alas combinado con el pasaje previo de dientes rígidos y encontraron menor densidad aparente del suelo que la lograda con el equipo con alas.

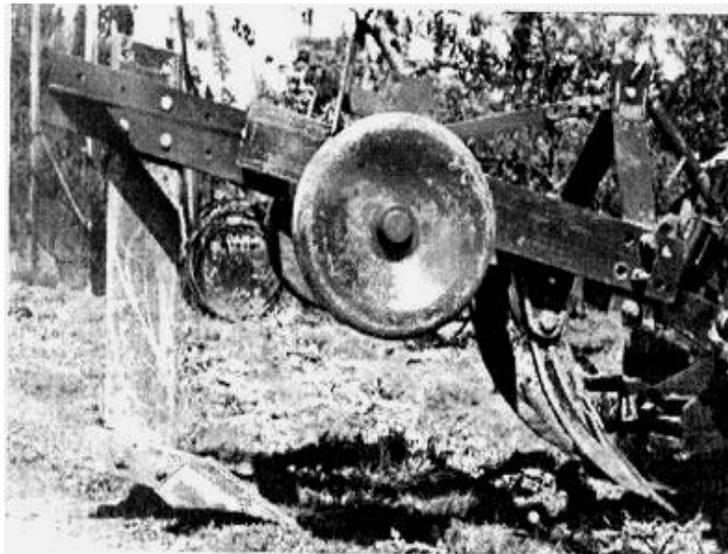


Figura (2.3) Subsolador combinado con rejas aladas en la parte inferior del subsolador.

Cuadro (2.2) Resultados obtenidos para dos tratamientos con subsoladores en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue.

| Parámetro | T 1 SIN ALAS | | T 2 CON ALAS | |
|---|--------------|-------|--------------|-------|
| | Valor | CV, % | Valor | CV, % |
| Densidad aparente, g cm ⁻² | 1,346 a | 3 | 1,39 a | 3,2 |
| Área de suelo disturbada, cm ² | 2907,28 a | 4,72 | 3411,03 b | 5,7 |
| Volumen de suelo disturbado, m ³ | 12,01 a | 8,27 | 13,65 a | 12,92 |
| Distancia recorrida con 100 ml de combustible, (m) | 41,27 a | 5,52 | 39,91 a | 8,6 |
| Disminución de la velocidad de avance (patinaje), % | 12,1 a | 15,2 | 12,9 a | 16,5 |

Valores seguidos de letras distintas en cada fila indican diferencias significativas, según test de Tukey ($\alpha=0,05$). CV: coeficiente de variación.

Fuente: Di Prinzio *et al.* 1999,

FAO (2003) señala que es importante destacar que para la implementación exitosa de la labranza vertical es importante que los rastrojos y las malezas sean bien triturados y uniformemente distribuidos en la parcela. Así se puede evitar el atascamiento en los implementos.

Por tal razón la labranza vertical, como cualquier sistema de labranza, da los mejores resultados en suelos fértiles, no compactados, bien drenados, emparejados y sin problemas de malezas. Antes de iniciar la labranza vertical, si el suelo está compactado se debe descompactar, emparejar las parcelas si fuera necesario, y rectificar cualquier deficiencia nutricional que se presente. FAO (2003).

2.2. Prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas.

Johnson (1985) señala que el termino prueba es normalmente usado en la conexión con un análisis del comportamiento de una maquina comparado con estándares bien definidos, bajo condiciones ideales y repetibles.

Para Croosley y Kilgour (1983) el propósito de obtener información con las pruebas es comparar un aparato o maquina con el requerimiento que se esperaba satisfacer. En contraste la evaluación es la medición del rendimiento de la maquina bajo condiciones reales. Por ejemplo: el comportamiento de un arado en suelos de diferentes texturas y contenidos de humedad y un rango de cubiertas vegetales (malezas, rastrojos, pasto).

2.3. Evaluación 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 o no beneficiosos para los cuales se ven reflejados directamente en el desarrollo del cultivo (Ohep *et al*, 1998).

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 misas 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. 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.

Para Camacho y Magalhães (2002) señalan que 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.

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).

2.4. Medición de fuerza y energía.

La energía consumida en la preparación del lecho de siembra viene condicionada, fundamentalmente, por el tipo de suelo y por su estado final tras la labor primaria. Aquellos suelos cuyo contenido de arcilla supera el 30-35% requieren, en general, más energía de desintegración de los terrones que los restantes, por lo que con frecuencia se recurre a utilizar aperos accionados a la toma de fuerza. Las condiciones del suelo que afectan la energía requerida para la labranza incluye: el contenido de humedad, tratamientos anteriores y siembra de protección del suelo. En una serie de pruebas, el tiro de arado fue reducido desde un 15 a un 35% cuando el contenido de humedad del suelo fue aumentado del 9.1 al 11.7% (Hughes 1981).

Cadena (2000) realiza estudios relacionados con el uso de energía señalan la ubicación de puntos óptimos de referencia del estado de humedad en el suelo en las cuales las labores de aradura y rastreo demandaron una menor inversión de energía.

La relevancia de estos puntos estriba en que conociendo la curva de retención de humedad de suelos arcillosos y francos, se pueden ubicar los rangos del contenido de humedad a la cual se obtendrá una mejor calidad de labor con mínimo de aplicación de energía, asumiendo una correcta calibración y ajuste de la configuración tractor – implemento. Cadena (2000).

Por otro lado Hernanz, (1995), señala que las labores de preparación de suelos son la que más demanda energía. Los estudios encaminados a encontrar propuestas al uso eficiente de la aplicación de la misma en los sistemas agrícolas consideran principalmente el uso de energía en labores para establecer cultivos.

Ortiz-Cañavate (1990) en estudios recientes se menciona que el consumo de combustible correspondiente a la agricultura alcanza el 30-45 % del total.

Bell y Willcocks (1982), señalan que se pueden lograr ahorros sustanciales en el consumo de combustible en operaciones de campo que pueden ser ganadas tan solo por un buen manejo y organización.

Por eso es importante destacar que la selección del implemento de labranza, ya que tiene un efecto directo sobre la energía requerida por hectárea, y que esta a su vez depende y varía con las condiciones locales del suelo y clima. Los arados de vertedera disturbán más suelo que la mayoría de las herramientas de labranza, así que estos por lo general requieren más combustible por hectárea; Los arados de cinceles, por ejemplo, requieren solamente un 30 por ciento al 40 por ciento del combustible por hectárea que los arados de vertedera, dependiendo de la profundidad y la velocidad. FAO (2003).

La FAO (2003) por otro lado también señala que con el aumento de la velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto la fuerza necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos; Por esta razón el aumento de la velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza: con el doble de la velocidad (8 km/h en vez de 4 km/h) se duplica el rendimiento pero se necesitan cuatro veces más energía y combustible.

Otro aspecto referente al consumo de energía es la configuración de los tractores e implemento ya que es un factor importante para el ahorro de esta en la preparación del suelo; que estos sean ahorrativos o de bajo consumo no es una consecuencia exclusiva del diseño, el resultado también dependerá de la forma en que sea utilizado.

En general un mismo tractor es empleado para cumplir con labores tan diversas como una labranza, una labor secundaria o de transporte. Cada una presenta demandas diferentes de par motor y/o velocidad de avance que, a su vez implica consumos de combustible distintos; es posible optimizar el consumo con un adecuado empleo de la caja de velocidades y selección del régimen de funcionamiento del motor. Márquez Delgado (1990).

La armonía entre estas partes define en gran medida la eficiencia con la cual se trabaja en campo. Equipos de gran tamaño sobrecargan al tractor y en muchos casos no se pueden realizar las labores a velocidad deseada. En contraste los equipos pequeños, exigen muy poco al tractor, pero al ser este de mayor potencia tienen un consumo acorde sin poder utilizar esa energía en trabajo útil. Para ahorrar energía se debe realizar una configuración del equipo de manera que la potencia requerida por la herramienta esta cerca de la potencia nominal del tractor.

Según Renius (1994) la estrategia de un cambio adelante y el acelerador atrás para ahorrar combustible, es útil desde el punto de vista del motor y de la transmisión. Si el tractor se opera a un nivel de potencia debajo de su 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.

2.5. Protocolos para la evaluación de implementos de labranza vertical.

Actualmente existen varios protocolos de evaluación de implementos de labranza que han sido desarrollados por investigadores de distintos países entre los que se encuentra 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 su taller teórico – práctico ofrecido en el Campo Experimental de Cotaxtla, Veracruz,

México, aprobado por el programa de cooperación técnica 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, aspersores (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 optimo desempeño como implemento de labranza vertical. Morales (2009).

En México a partir del año de 1999 se comenzó con la formulación de estos protocolos de prueba. Actualmente ya se cuenta con la aprobación de dos de ellos, que son el de sembradoras y aspersores, y algunos otros se encuentran en proceso como lo son el de arados y rastras.

2.6. Sistema de Evaluación de Implementos en México.

En México, la modernización de la explotación agrícola y el mejoramiento de estatus social y económico de las zonas rurales a través del formato de la mecanización de las labores agrícolas de los productores de pequeña escala, se consideran como tareas prioritarias de políticas agropecuarias. Sin embargo

existen factores que inhiben la mecanización agrícola, dentro de las cuales están los siguientes:

- a). Actualmente no existe un sistema de investigación para el desarrollo y el mejoramiento de las maquinas agrícolas, ni de pruebas de durabilidad o de economía de las mismas y por lo tanto no existen suficientes conocimientos científicos y técnicos acumulados sobre estos aspectos.
- b). Los productores agrícolas se interesan en la introducción de las maquinas agrícolas; sin embargo tienen que correr muchos riesgos al intentar adquirirlas, ya que no existe un sistema confiable de aseguramiento de la calidad y de la función de las mismas.

Por lo tanto se hace necesario establecer un sistema de pruebas y evaluación de las maquinas agrícolas, para asegurar la calidad y funcionalidad de estas maquinas que se usan en el campo. Estos sistemas de aseguramiento de calidad de las maquinas agrícolas además de beneficiar a los productores, también servirán para que los fabricantes se integren en un futuro a un padrón de proveedores confiables para los programas de mecanización y equipamiento de alianza para el campo, ya que con esto se dará a sus productos una difusión como maquinas confiables en cuanto a su funcionamiento y calidad. Takao (2002).

El Centro de Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) fue creado en marzo de 1999, bajo un acuerdo de cooperación técnica entre gobiernos de México y Japón, con el objetivo de coadyuvar al desarrollo y extinción 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).

Entre los procedimientos para la evaluación de arados se encuentran los siguientes:

Códigos y procedimientos para la evaluación se encuentran los siguientes:

I. Alcance de la Prueba.

Indica los tipos de arados que se podrán evaluar con este procedimiento.

II. Definición de términos.

En este punto se definen los términos que serán usados en el transcurso de las pruebas.

III. Especificaciones del implemento.

Aquí se hace mención sobre recopilar toda la información que pueda ser proporcionada por el fabricante, sobre el desempeño y capacidad de trabajo, tal como manuales, e instrucciones, lista de partes de reserva, datos técnicos, etc., e incluir esta información en el formato para el reporte de la prueba.

IV. Pruebas de laboratorio.

El objetivo de esta prueba es confirmar las especificaciones y componentes esenciales proporcionados por el fabricante y hacer estudios para modificaciones y mejoras para el implemento.

Algunos puntos que se deben examinar son:

- Ajuste para el ancho de trabajo, profundidad y nivel.

- Tipo de cortador disponible.
- Ajuste vertical al cortador.
- Material de reja del arado, vertederas o discos.
- Aspectos de seguridad.
- Peso de las partes en contacto con el suelo antes y después de la prueba.

V. Condiciones de la prueba.

Se considera el desempeño del arado según el tipo de suelo, contenido de humedad, distribución del suelo, crecimientos de malas hierbas, residuos de cultivo, etc. Las condiciones de prueba son como sigue:

A) Condiciones de Campo.

- Área y forma de la prueba de campo.
- Tipo y características del suelo.
- Último cultivo en el terreno.
- Altura del rastrojo del último cultivo.
- Grado de infestación de las malas hierbas.
- Irrigación antes de arar.
- Contenido de humedad del suelo, densidad, perfil del penetrometro e índice de cono en la profundidad de la aradura.

B) Condiciones del implemento y el operador.

- Fuente de la potencia de tiro.
- Ajuste de las partes de trabajo del implemento.
- Patrón de trabajo del implemento.
- Velocidad de trabajo.
- Destreza del operador.

VI. Desempeño de la Prueba.

El objetivo principal de esta prueba es obtener datos confiables como: su capacidad de trabajo, calidad, eficiencia de campo y adaptación a las diferentes condiciones del suelo en comparación con implementos tradicionales, para controlar y proveer información técnica básica.

Los parámetros a tomar y a observar son:

- Ancho de trabajo.
- Profundidad de trabajo.
- Velocidad de trabajo real.
- Tiempo de operación real.
- Tiempo usado para las vueltas en las cabeceras.
- Tiempo usado para ajustes del implemento.
- Tiempo usado para contratiempos y otros.
- Consumo de combustible.
- Grado de inversión.
- Grado de pulverización.
- Atascamiento de residuos de cultivo en el implemento.
- Adhesión del suelo en el implemento.
- Uniformidad de la superficie arada.
- Uniformidad del fondo del surco.
- Porcentaje de patinaje en las ruedas.
- Fuerza de tiro.

VII. Ensayos de durabilidad.

Aquí se manejan todos los detalles de las parcelas, sus condiciones y mediciones específicas para las pruebas de rendimiento deben de registrarse estos ensayos junto con comentarios sobre las características de la operación.

VIII. Ensayos en campos de los agricultores.

Esto se refiere a realizar una serie de ensayos en campo de los agricultores para evaluar el implemento en diferentes condiciones de suelo y terreno.

IX. Formato para el reporte de las pruebas.

En reporte de la prueba debe de incluir la información en el orden siguiente:

- Fotografía.
- Especificaciones.
- Título de la prueba.
- Introducción y antecedentes.
- Meta y objetivo de la prueba.
- Planeación de la prueba y procedimiento.
- Principales tipos de especificaciones del implemento a probar.
- Principales datos de las condiciones de prueba y resultado.
- Discusión, comentarios, conclusión y recomendaciones.

Todo esto aunado a un conjunto de normas mexicanas (NOM-NMX) ayudan a una mejor evaluación del implemento (CENEMA, 2002).

2.7. Calculo de energía y calidad de trabajo en la labranza.

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

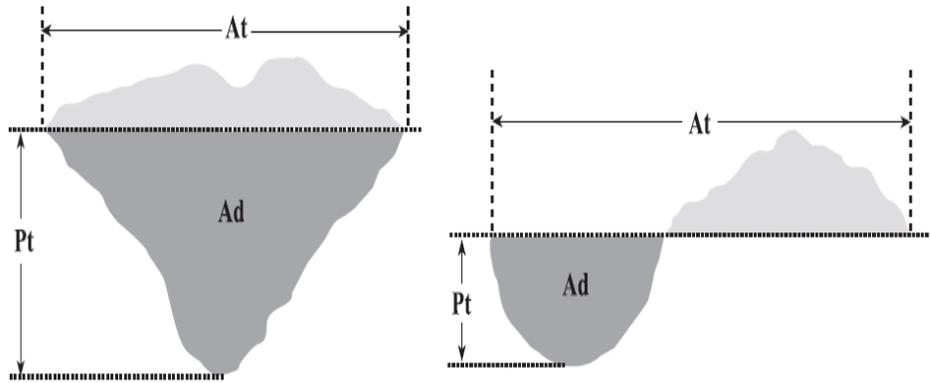
la máxima calidad, con un estricto cumplimiento de las exigencias agrotécnicas y con el propósito de optimizar los gastos económicos y energéticos, debido a su gran influencia en los rendimientos y los costos de producción (González *et al*,2009).

Antes de realizar las pruebas en campo, se debe de determinar la caracterización del sitio de evaluación, el porcentaje de las fracciones minerales (arcilla, limo, arena) que determinan la textura, por ciento de humedad con base a peso, densidad aparente (gr cm^{-3}), porcentaje de cobertura vegetal, índice de rugosidad (cm), y resistencia a la penetración o índice de cono (kPa). Estas mediciones se hacen para determinar las condiciones en las que se encontraba antes de establecer el experimento. (Cadena Z, *et al*, 2004).

Leiva y Hansen (1984) determinan que la siembra directa produce una mayor compactación del suelo. Este efecto se nota en mayor medida en el estrato de 0,05 a 0,2 m (hasta 2,7 MPa). A su vez la labranza con reja compacta en orden medio (1,75 MPa) y en el estrato de 0,20 a 0,25 m, mientras que la labranza con cincel no produce compactación (1,2 MPa).

Posteriormente se determina la configuración tractor implemento donde las variables a medir son: **(Ad)**: el área de suelo disturbada (m^2), **(At)**: el ancho de trabajo (m), **(Pt)**: la profundidad de trabajo (m), **(Vt)**: velocidad de trabajo (km/ h), porcentaje de patinaje de las ruedas de tracción, consumo de combustible (L/ha), fuerza de tiro requerido (kN) por el implemento. (Cadena Z, *et al*, 2004).

A continuación se muestra en la figura (2.4) un claro ejemplo de la comparación del área de suelo disturbado para dos sistemas de labranza, determinado mediante un perfilometro de 30 varillas, distanciadas 50 mm entre una y otra. Camacho y Magalhães (2004).



Ad= área disturbada; At= ancho de trabajo; Pt= profundidad de trabajo

Figura (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.

Spoor y Godwin (1978) señalan que para cinceles, 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.

Por otro lado también indicaron que uno de los aspectos más importantes en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza son: el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos. Spoor y Godwin (1977).

Para esto 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 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.

Por su parte 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.

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 como se muestra en la figura (2.5) para interpretarlas y analizarlas para llegar a los resultados de la prueba como se cuadro (2.3).

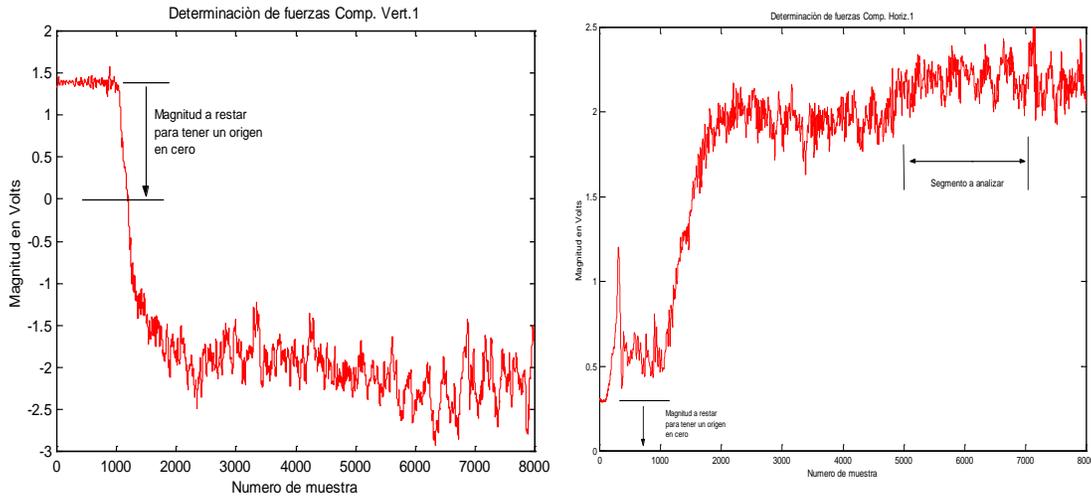


Figura (2.5) Representación gráfica de la transferencia de peso y fuerza de tiro respectivamente.

Para los seis implementos evaluados se muestra el siguiente cuadro:

Cuadro (2.3) Resultados de fuerzas de tiro y transferencia de peso:

| Implementos | Prof. (cm) | Fuerza de tiro (kN) | Prof. (cm) | Transferencia de peso (kN) |
|-------------------------|------------|----------------------|------------|----------------------------|
| Arado | 30 | 168.826 | 30 | 232.147 |
| Multiarado (1cuerpo) | 17 | 220.602 | 34 | 308.251 |
| Multiarado (2 cuerpos) | 15 | 235.965 | 21 | 385.213 |
| Rastra | - | 5.387 | - | 17.046 |
| Cultivadora | - | 4.76 | - | 4.837 |
| vibrocultivador | - | 9.845 | - | 16.458 |

Fuente: Hinojosa, 2003

Mientras que investigaciones realizadas por Garner *et al*, (1988) con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 30 y 43 cm. de profundidad mostradas en la cuadro (2.4).

Cuadro (2.4) Datos de fuerzas y momentos, realizadas con dinamómetro de enganche a los tres puntos del tractor.

| Profundidad | Fuerza de tiro (kN) | Fuerza Y (kN) | Momento(kN – m) |
|-------------|---------------------|---------------|-----------------|
| 0.3 m | 14.3 | -3.175 | 7.805 |
| 0.43 m | 27.675 | -9.125 | 15.99 |

Fuente: Garner *et al.* (1988)

Por otra parte Camacho y Magalhães (2002) para el análisis de las fuerzas horizontal (F_h) y vertical (F_v), utilizaron un anillo octogonal extendido, diseñado y construido por Magalhães y Souza (1990).

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 figura (2.6).

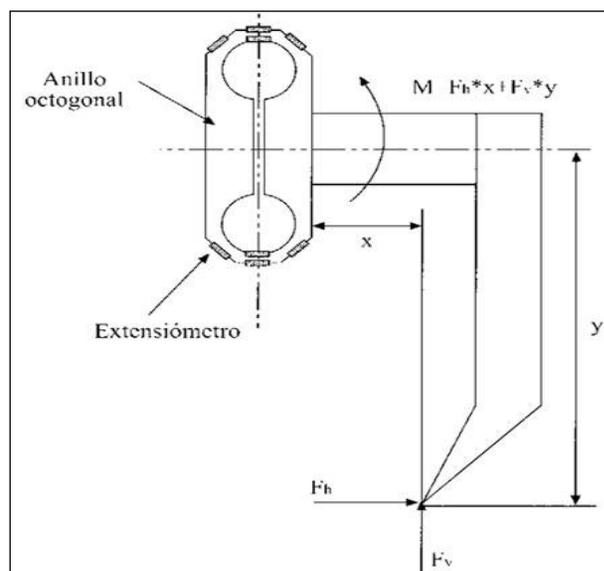


Figura (2.6) Disposición del anillo octogonal para la medición de fuerzas en herramientas.

El 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.

En el cuadro (2.5) se muestran los resultados medios obtenidos para los parámetros evaluados en cada tratamiento del estudio realizado por Camacho y Magalhães (2002).

Cuadro (2.5) Comparación de medias de los parámetros estudiados. Ensayo discos dobles y cinceles.

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

Fuente: Camacho y Magalhães, 2002

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.

Cadena *et al.* 2003 menciona que no se debe dejar pasar es la relación consumo de combustible y potencia que como indicadores de energía son esenciales; 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.

Por último también se debe tomar en cuenta la calidad y energía, en la operación de los implementos, estos se determinan, para evaluar la calidad de los resultados de las labores, se analizan las siguientes variables: densidad del suelo después de la labor (gr cm^{-3}), diámetro medio de agregados (mm) e índice de rugosidad del suelo (cm). Asimismo se incluyeron el índice energético (ml m^{-3}) para el manejo de suelo y esfuerzo unitario a la falla (kPa), lo que permitió comparar los implementos, en términos de energía, por volumen de suelo labrado. (Cadena Z, *et al*, 2004).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Localización del lugar donde se realizó la evaluación.

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, figura (3.1), la cual se encuentra ubicada en la ex Hacienda de Buenavista, localizada a 7 Km al sur de la ciudad de Saltillo, en las coordenadas $100^{\circ} 59' 57''$ longitud oeste y $25^{\circ} 23' 42''$ latitud norte, a una altitud de 1743 msnm. La temperatura media anual es de 19.8°C , con una precipitación media anual de 455, la evaporación media anual oscila entre los 1956 mm. Los vientos predominantes tienen una dirección noroeste, con velocidades de 22.5 Km/hr. González (1999).

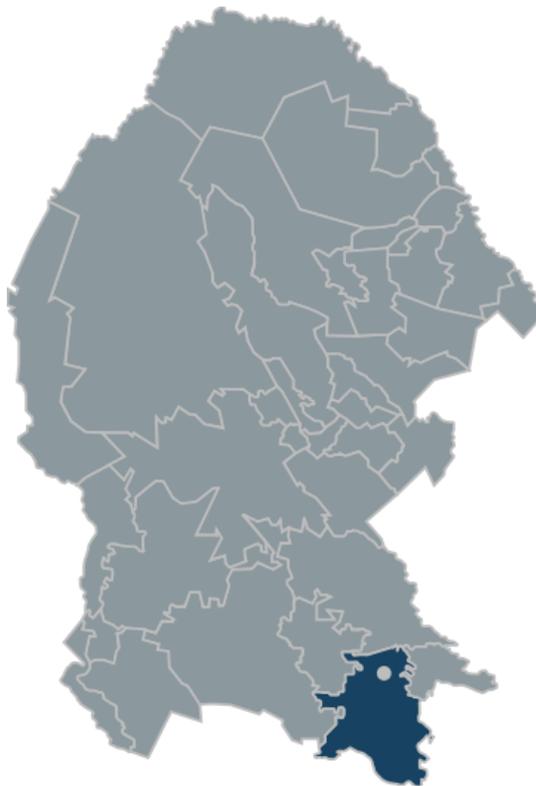


Figura (3.1) Ubicación geográfica del área de estudios.

3.2. Características de equipos comerciales empleados en la evaluación.

Las características incluyen: marca, número de timones, distancia entre timones, ancho de trabajo, potencia requerida y tipo de enganche.



Figura (3.2) Multicultivador mcc 3-5-7.

3.2.1. Multicultivador mmc 3-5-7.

En la figura (3.2) se puede observar el Multicultivador mcc 3-5-7, está diseñado para roturar y remover completamente de un solo paso el terreno, logrando una profunda penetración rompiendo la capa arable y el subsuelo, proporcionando una optima oxigenación del suelo, en cuadro (3.1) se muestran las características generales de este implemento.

Cuadro (3.1) Características generales del Multicultivador mcc 3-5-7.

| | | | |
|-------------------------------|--------|---------|-----|
| Marca: | Bison | | |
| Numero de timones: | 3 | 5 | 7 |
| Distancia entre timones (cm): | 30-100 | 30-50 | 30 |
| Ancho de trabajo (m): | 0.9 -3 | 1.5-2.5 | 2.1 |
| Potencia requerida: | 80 | 90 | 100 |
| Tipo de enganche (CAT): | II | III | IIN |
| Peso aproximado (kg) | 537 | | |



Figura (3.3) Subsolador SVH 9-5.

3.2.2. Subsolador SVH 9-5.

El subsolador SVH 9-5 mostrado en la figura (3.3) es ideal para roturar todo tipo de terrenos. Su uso nos permite una profunda penetración para romper la capa arable y el subsuelo, facilitándonos la absorción del agua y el mejor crecimiento de las plantas, en el cuadro (3.2) se muestran sus características generales.

Cuadro (3.2) Características generales del subsolador SVH 9-5.

| | |
|------------------------------|-------------|
| Marca: | Bison |
| Numero de timones: | 5 |
| Numero de ranuras | 9 |
| Ancho del timón (pulg) | 1-1/4" |
| Máxima penetración (cm) | 45 |
| Profundidad de trabajo (cm) | 35 |
| Ancho de trabajo (cm): | 240 |
| Potencia requerida (HP): | 90 |
| Tipo de enganche (CAT): | 3 PUNTOS II |
| Peso aproximado (kg) | 508 |
| Distancia entre timones (cm) | 38 47.5 |



Figura (3.4) SB-5/3 Subsolador.

3.2.3. Subsolador SB-5/3.

El subsolador SB-5/3 mostrado en la figura (3.4) está diseñado para roturar todo tipo de terreno, logrando una profunda penetración, rompiendo la capa arable y el subsuelo, facilitando la absorción del agua y nutrientes, para un mejor desarrollo de los cultivos, en el cuadro (3.3) se muestran las características generales de este implemento.

Cuadro (3.3) Características generales del SB-5/3 Subsolador.

| | | |
|---------------------------------|------------------|------|
| Marca: | Bison | |
| Numero de timones: | 3 | 5 |
| Distancia entre timones (pulg): | 20,25,30 | 15 |
| Ancho de trabajo (m): | 1.52, 1.90, 2.29 | 2.29 |
| Potencia requerida: | 80-120 | 120 |
| Tipo de enganche (CAT): | CAT: 11 | |
| Peso aproximado (kg) | 432 | |

3.2.4. Implemento MMC 3/5/7 R (Rediseñado).

Para una segunda fase de la evaluación, el implemento MMC 3/5/7 R se rediseño con fines de obtener cuerpos frontales someros y cuerpos traseros profundos con alas en las puntas como se muestra en la figura (3.5).

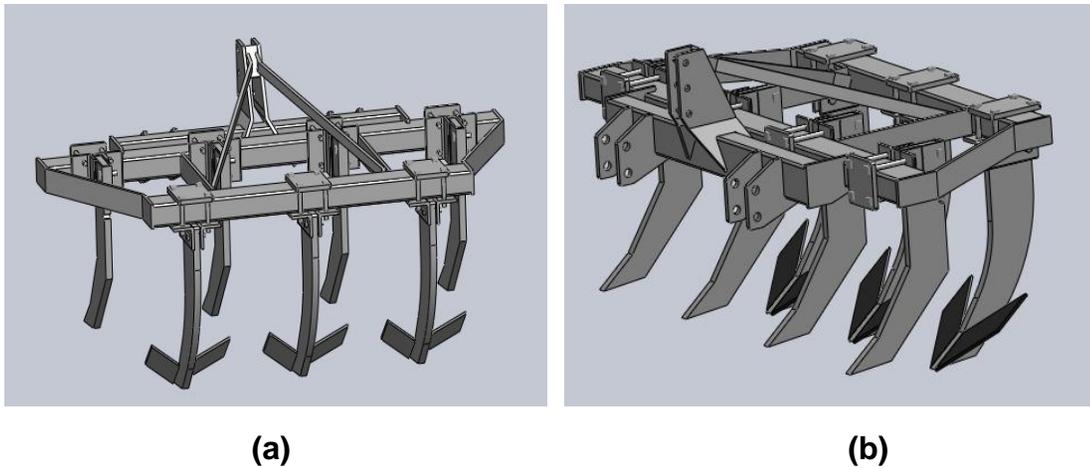


Figura (3.5) Se pueden apreciar dos vistas del implemento MMC 3/5/7 R rediseñado. (a) vista posterior , (b) vista isométrica.

Además del marco del implemento también se rediseñaron unos cajones para portar los timones delanteros como se observa en la figura (3.6), esto con el fin de hacerlos ajustables para evaluarlos a diferentes profundidades.

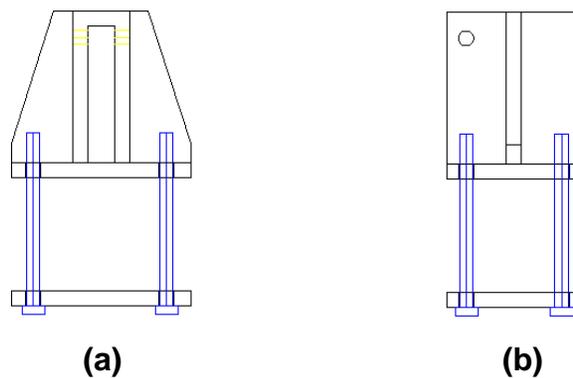


Figura (3.6) Rediseño del cajón para portar timones delanteros. (a) vista superior, (b) vista lateral derecha.

3.2.5. Alas.

La figura (3.7 y 3.8) muestra un par de alas y sus acotaciones, elaboradas en la Empresa Tecnomec Agrícola, con el objetivo de incorporárselas al cincel (MMC 3/5/7 R) rediseñado para la segunda fase de la evaluación, también se puede apreciar en el cuadro (3.4) las especificaciones de construcción de estas mismas.

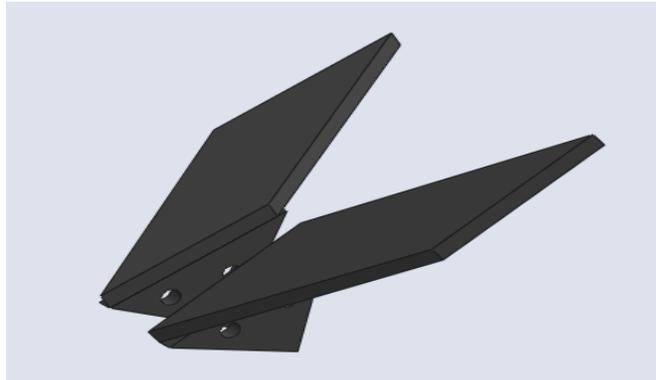


Figura (3.7) Par de Alas para timones del cincel.

Cuadro (3.4) Especificaciones de construcción de las Alas.

| Cantidad | Descripción | Dist. entre puntas de alas(mm) | Material |
|----------|---------------|--------------------------------|------------------|
| 3 | ala derecha | 300 | placa 6.4 (1/4") |
| 3 | Ala izquierda | 300 | placa 6.4 (1/4") |

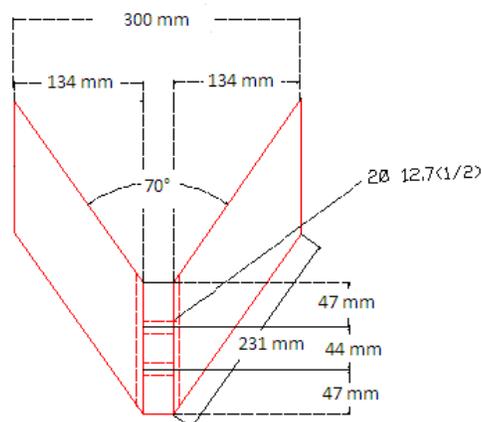


Figura (3.8) Acotaciones de alas.

3.3. Equipo e instrumentos empleados para la realización de las pruebas.

El equipo empleado para la evaluación de este trabajo fueron dos tractores agrícolas categoría II (con un mínimo de potencia a la barra de tiro de 80 KW) más adelante se describen las características generales de cada uno de ellos.

Sistema de adquisición de datos (Daq View 7), dinamómetro de 45 kN, transductor de fuerzas octagonales de 80 kN y Ring de 5 kN para medir la resistencia del suelo (al corte y penetración), equipo para la medición del consumo de combustible.

Equipo de medición (tiempo, peso y longitud), Cribas (100, 75, 50, 25 y 12.5 mm.), perfilometro.

3.3.1 Sistema de adquisición de datos y sensores de fuerzas.

El sistema de adquisición de datos, consiste en un equipo e instrumentos que nos ayudan a determinar el valor de la fuerza que se aplica para cada implemento; para formar el sistema se instalan cada uno de los instrumentos quedando físicamente como se pueden observar en la figura (3.9).

Los instrumentos para formar el sistema son los siguientes:

- a) Transductor dinamómetro de tensión de 45 kN.
- b) Transductor octagonal de 80 kN
- c) Amplificador –acondicionador (DBK43A)
- d) Convertidor analógico digital
- e) Computadora personal
- f) Software.

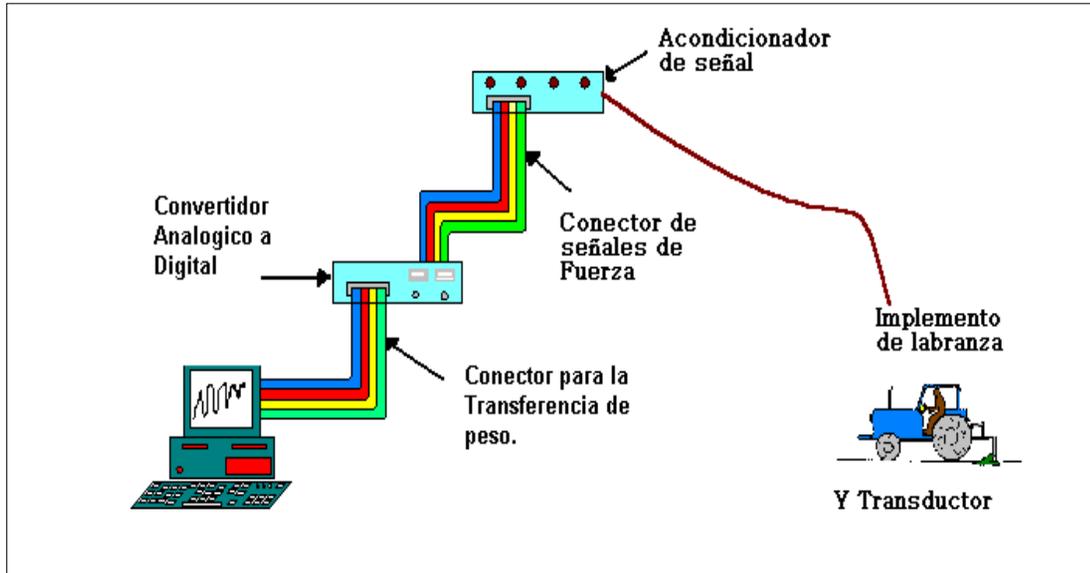


Figura (3.9) Sistema de adquisición de datos.

a) Transductor dinamómetro de tensión de 45 kN.

En la figura (3.10) se puede observar el transductor de 45 kN que se utiliza para determinar la fuerza de tiro del implemento, su propósito es convertir una señal física en una señal eléctrica.



Figura (3.10) Transductor de fuerzas de 45kN.

b) Transductor octagonal de 80 KN.

En la figura (3.11) se observa un transductor octagonal que se utiliza para determinar la fuerza de tiro del implemento, su propósito es convertir una señal física en una señal eléctrica.

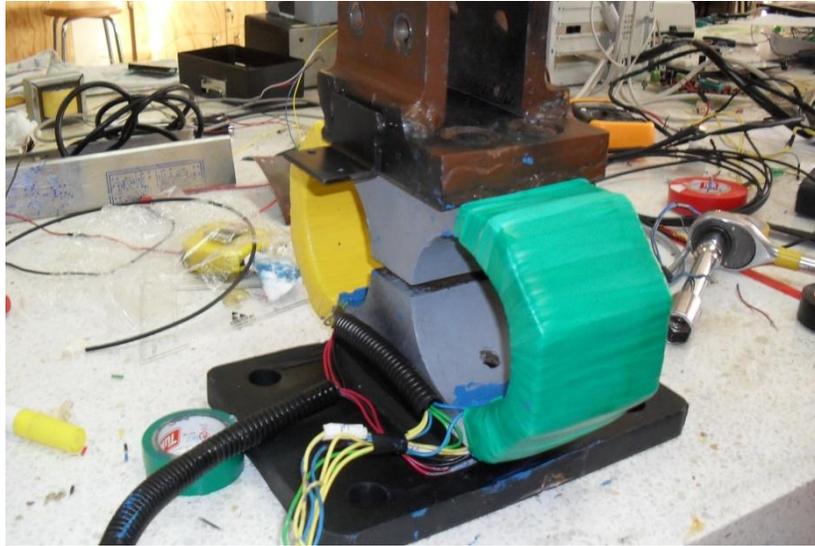


Figura (3.11) Transductor de fuerzas octagonal

c) Amplificador y acondicionador de señal DBK43A.

Este elemento consiste en una tarjeta que proporciona 8 canales de entrada de calibrador de tensión, además contienen un regulador de excitación individual por canal, un manual de usuario y tiene una salida de señal de menos de 50 Mv; está Fabricado por lotech, Inc. Usada para amplificar la señal del transductor y proporcionar la salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico – digital.

d) Convertidor analógico:

Se utilizo la unidad de DaqBook 200 de lotech, inc. El cual es un modulo que se conecta al puerto paralelo de una computadora y que convierte los valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este modulo se

compone de dos partes, la parte que procesa la información y un banco de baterías que alimenta a la anterior. Este modulo tiene la capacidad de instrumentar 16 canales analógicos con una frecuencia de muestreo hasta de 100 kHz.

e) Computadora personal.

Se utilizo una computadora personal DELL OPTIPLEX GX520 Intel Pentium ® 4CPU 2.8 GHZ 2.79 GHZ, 504 MB de RAM, Windows XP Home Edition Versión 2002.

f) Software.

Se utilizo el programa Daq View 7, de Iotech, Inc., programa para MS Windows, para la adquisición de datos a través del DaqBook 200 y donde posteriormente se guardan en un archivo por medio de la computadora para después analizarlos. Los datos que se obtuvieron durante el proceso fueron analizados por los paquetes de MATLAB, utilizando un programa ANALISIS que contiene la transformada de Fourier para el análisis espectral de los datos.

3.3.2. Tractores empleados en las evaluaciones.

Los tractores que se utilizaron para la realización de las pruebas en campo fueron un tractor John Deere 6810 y un New Holland 2703, ambos se pueden observar en la figura 3.12 (a) y (b).

Sus especificaciones generales se muestran en el cuadro (4.5), siendo estos: marca, potencia y potencia a la toma de fuerza.



(a)



(b)

Figura (3.12) Tractores empleados para las evaluaciones. (a) Tractor New Holland 6810, (b) Tractor John Deere 2703.

Las especificaciones de los tractores se muestran a continuación en el cuadro (3.5).

Cuadro (3.5) Especificaciones generales de los tractores empleados para la evaluación.

| | | |
|------------------------------|------------|----------------------------|
| Marca | John Deere | New Holland doble tracción |
| Potencia (HP) | 106 | 90 |
| Potencia a la toma de Fuerza | 95.7 (HP) | |

3.4. Preparación de los instrumentos.

Se realiza una preparación previa de los instrumentos, calibrando los sensores, realizando el arreglo de cinceles para la prueba y caracterizando el sitio de evaluación.

3.4.1. Calibración de los sensores.

Esto se hizo con el fin de encontrar la constante de calibración, esta nos ayuda a una mejor interpretación de los resultados obtenidos durante las pruebas.

El método para esta calibración fue someter a los sensores a una tensión a través de 4 contrapesos de tractor, estos se subían a una canasta de lámina como se muestra en la figura (3.13). En intervalos de un minuto máximo, para posteriormente analizar las graficas de acuerdo al comportamiento de cada sensor.



Figura (3.13) Calibración de los sensores a través de 4 contra pesos.

Para determinar la constante de calibración del dinamómetro de 45 kN se hicieron las pruebas en una pista de concreto como se muestra en la figura (3.14).



Figura (3.14) Determinación de la constante de calibración.

Para el sensor octagonal extendido se tuvo que acoplar al tractor y luego a este, acoplarle el implemento, para después someter los timones del implemento a fuerza horizontales y verticales con ayuda de los contrapesos con el fin de simular las fuerzas que actúan en el suelo.

3.4.2. Arreglo de cinceles para la prueba.

En el cuadro (3.6) se describen el número de arreglos para cada implemento, el número de timones y distancia (cm) entre cada uno de ellos, tanto para los implementos comerciales, así como para el cincel MMC 3/5/7 R (Rediseñado).

Cuadro (3.6) Arreglos para cada cincel.

| Equipo VS Arreglo | 7 Subsuelos | 5 Subsuelos | 3 Subsuelos | 1 subsuelo alas (P1) |
|--------------------------|-------------|------------------|----------------------------|------------------------|
| SVH95 | | 50X50cm 38X38 | 38X38cm | --- |
| mCC3-5-7 | 30X30cm | 50X50 30X30 | 30X30 | |
| SB5-3 | | 50X50 30X30 | 30X30 70X70 | |
| MCC3-5-7 (Rediseñado) | | | 31X31 (P1) 31X31 (P2) | |

P1= profundidad subsuelo con alas a 40 cm. P2= profundidad de 2 subsuelos someros a 30 cm y 1 con alas a 40 cm.

3.5. Caracterización del sitio de evaluación.

Esta parte se realiza con el objetivo de conocer la descripción del terreno donde se va a realizar la prueba.

3.5.1. Tipo de suelo (determinación de la textura).

Para la determinación de la textura del suelo se tomaran cuatro muestras por parcela, las cuales se mezclaron en una sola, posteriormente esta mezcla se llevo al laboratorio de fisca de suelos, utilizando el método de hidrómetro de bouyoucos se determino el grupo textual.

3.5.2. Humedad del suelo.

En el momento en que se realizaron las pruebas en campo se tomaron las 6 muestras a una profundidad de 40 cm, dividida en toda el área de la parcela donde se hicieron todas las corridas con el implemento, posteriormente se pesaron en una balanza con una precisión de 0.01 g, y se llevaron al laboratorio de física de suelos para secarse en la estufa a 105 °C durante 24 hr, después de este tiempo se volvieron a pesar, y se determino el contenido de humedad por el método gravimétrico medio de la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{PSH - PSS}{PSS} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_w = Contenido de humedad (%).

PSH = Peso del suelo seco (gr).

PSS = Peso del suelo húmedo (gr).

3.5.3. Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración se medio usando un penetrometro de cono conectado a un dinamómetro de anillo como se muestra en la figura (3.15), en la medición del mismo se utilizo un paquete computacional (Daq View 7), que registro la resistencia a la penetración del suelo expresado en fuerza por área, todo esto bajo un sistema de adquisición de datos más adelante descrita. La fuerza de la penetración fue continuamente medida y registrada en graficas a lo largo y ancho del terreno en intervalos de 5 y 10 (cm).



Figura (3.15) Determinación de la resistencia a la penetración.

3.5.4. Determinación de la distancia a trabajar por el tractor-implemento.

Esto se hace antes de iniciar las labores con el implemento, se midió la distancia a trabajar (50 o 25 m) según era el caso para las dos etapas, 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 prueba.

3.6. Variables determinadas durante la labor.

Las variables a determinar durante la labor son: consumo de combustible y determinación de Fuerza de tiro requerida por el implemento.

3.6.1. Consumo de combustible.

La medición del consumo de combustible se realizó mediante la lectura de una probeta graduada instalada en el tractor como se muestra en la figura (3.16). Para el cálculo del índice de consumo de combustible por hectárea solo se necesitó el ancho de trabajo de cada arreglo espacial multiplicado por la distancia recorrida y una regla de tres se obtuvieron los litros por hectárea ($L\text{-ha}^{-1}$).



Figura (3.16) Determinación del consumo de combustible.

3.6.2. Determinación de la fuerza de tiro requerido por el implemento.

La fuerza de arrastre o potencia que demandan los implementos, se determino mediante un dinamómetro de tiro con capacidad de 45 kN, acoplado a la parte delantera del tractor en el cual va montado el implemento, otro tractor debe jalar al primero junto con el implemento a través del dinamómetro como se muestra en la figura (3.17).



Figura (3.17) Fuerza de arrastre del implemento acoplado al tractor.

El tractor con el implemento no debe realizar fuerza (transmisión neutral) solo el que va enfrente, esta operación se realiza con el implemento en la posición de trabajo y con el implemento arriba. Se toman las lecturas de la fuerza de tiro y el tiempo requerido para cubrir una distancia de la parcela. Para la obtención de los datos se empleo un sistema de adquisición de datos que consta de las partes que más adelante se señalan.

Para la segunda fase de la evaluación del MCC 3-5-7 R con alas, se determino la fuerza de arrastre o potencia que demanda los implementos mediante un el tractor John Deere y sensores octagonales de 80 kN, puesto que los sensores son integrales y a este se integra el implemento como se ve en la figura (3.18). 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.



Figura (3.18) Transductores Octagonales montados en bastidor acoplado al tractor.

3.7. Calidad y Energía en la operación de los Implementos.

Para calcular la calidad y energía de los implementos, los parámetros a analizar son: tamaño medio de los agregados, sección de laboreo, ancho de trabajo y velocidad de trabajo.

3.7.1. Tamaño Medio de Agregados.

El grado de pulverización del suelo fue determinado por el tamaño medio de los agregados, esta prueba se realizó después del paso del implemento, utilizando los tamices de 100, 75, 50, 25, 12.5 mm como se muestra en la figura (3.19). Los sitios de muestreo se seleccionaron al azar, considerando de 2 a 3 muestras por corrida, se extrajo el suelo hasta la parte donde logro penetrar el implemento, el volumen del suelo se hizo pasar por cada uno de los tamices colocados en series, empezando con los de diámetro mayor hasta el más pequeño. Los diferentes tamaños de agregados que se fueron quedando en cada uno de los tamices se pesaron. El tamaño medio de agregados se calculo por medio de la siguiente ecuación propuesta por (Maza, 2003).

$$D = \frac{5(21k + 16h + 8d + 5c + 3b + a)}{w} \quad (2)$$

Donde:

D= diámetro medio de agregados (mm).

w=masa total de la muestra (Kg).

k= peso de los agregados con diámetro >100 mm.

h= peso de los agregados con diámetro >50<90 mm.

d= peso de los agregados con diámetro >30<50 mm.

c= peso de los agregados con diámetro >20<30 mm.

b= peso de los agregados con diámetro >10<20 mm.

a= peso de los agregados con diámetro <10 mm



Figura (3.19) Tamices utilizados para la determinación del tamaño medio de los agregados.

3.7.2. Sección de laboreo.

Para la determinación de la sección de laboreo se realizaron las mediciones en el terreno después del paso de los subsoladores, el objetivo es cuantificar el efecto del implemento y determinar el ancho de laboreo así como también el área disturbada. Para la determinación del mismo, se utilizó un instrumento llamado perfilometro este es una estructura rectangular de aluminio y con una varillas de madera graduadas para poder ser introducidas hasta los límites de trabajo del implemento se muestra en la figura (3.20).



Figura (3.20) Determinación del área disturbada.

Para la realización de las mediciones se registraron 60 datos y seleccionaron 3 muestras por cada corrida hechas por el subsolador a 10 m de distancia cada una; se instala el perfilometro el cual debe de estar completamente nivelado y posteriormente se toma la lectura por la parte superior de las varillas.

3.7.3. Ancho de trabajo.

El ancho de trabajo (m) se determino al final de cada operación del equipo, midiendo el ancho del área trabajada durante la prueba. Esta a su vez nos sirve para calcular el consumo de combustible por hectárea.

3.7.4. Velocidad de trabajo.

La velocidad de trabajo se determino durante la prueba, se midió el tiempo que transcurrió en recorrer una distancia de 25 o 50 (m) según sea el caso, previamente se ubicaron dos estacas en las esquinas del terreno dejando espacios al inicio y al final de la parcela.

La ecuación utilizada para calcular la velocidad de trabajo fue la siguiente:

$$V = \left(\frac{d}{t} \right) \quad (3)$$

Donde:

V = Velocidad (m/s).

d = distancia recorrida (m).

t = tiempo (seg).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. Variables considerados antes de la labor.

4.1.1. Calibración de los sensores.

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

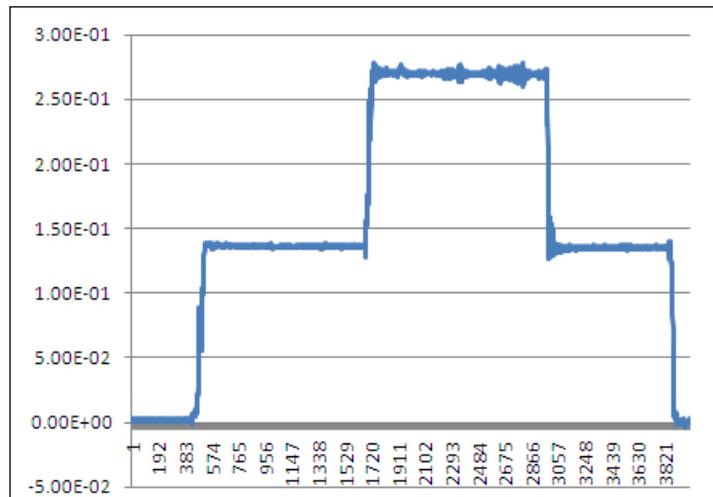


Figura (4.1) Comportamiento en la calibración de los sensores.

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

Cuadro (4.1) Constantes de calibración de los sensores.

| Sensor | Constante (Nmv^{-1}) |
|-----------------------|-------------------------------|
| Tiro | 11.8 |
| Ring | 2.44 y 1.845a |
| Transferencia de peso | 9.647 |
| Octagonal | $F_x = 42.56$ y $F_y = 54.18$ |

a= solo para pruebas del rediseño en la segunda etapa.

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 (4.2) 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 (4.2) Porcentaje de contenido de humedad.

| peso (sh) (gr) | peso (ss) (gr) | % de humedad |
|----------------|----------------|--------------|
| 150 | 128.2 | 17.0 |
| 149.6 | 129.6 | 15.4 |
| 160.2 | 138.9 | 15.3 |
| 152.8 | 131.8 | 15.9 |
| 142.8 | 123.6 | 15.5 |
| 142.9 | 123.2 | 16.0 |
| promedio | | 15.9 |

El contenido de humedad del suelo al momento de la evaluación fue de 15.9%

4.1.4. Resistencia a la penetración.

Respecto al comportamiento de la resistencia a la penetración con respecto al contenido de humedad del suelo del terreno donde se realizó la evaluación; esta operación se hizo a intervalos de 5 y 10 cm hasta alcanzar los 40cm de profundidad como se muestra en la figura 4.2 (a). A partir de los puntos más altos, en milivolts, mostrado en el grafico de la figura 4.2 (b) se realizaron los cálculos para obtener la resistencia a la penetración, empleando un cono con una área perimetral de 0.00181m^2 . Los resultados obtenidos son mostrados en el cuadro (4.3), la parcela en donde se realizaron las evaluaciones tiene una resistencia a la penetración que va de 1500 a 1990 kPa con un piso de arado de entre 20 y 30 cm.

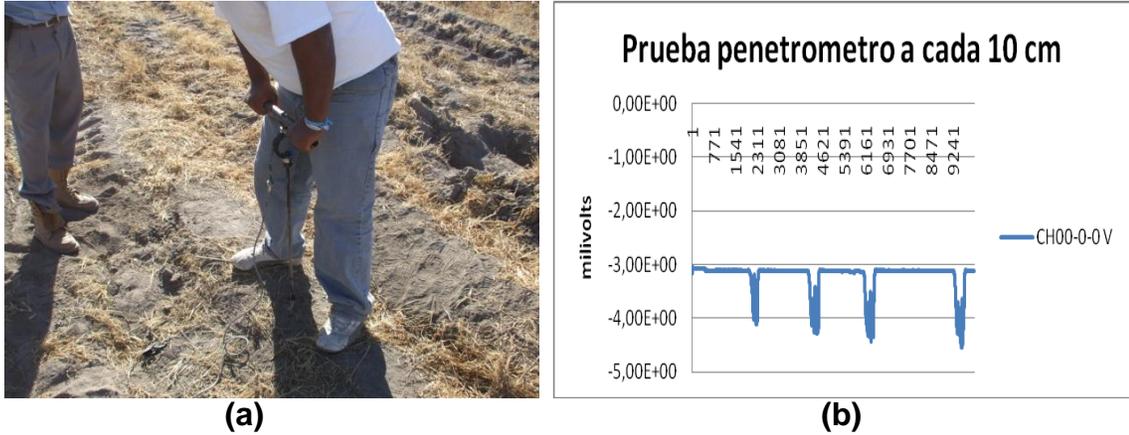


Figura (4.2) Resistencia ala penetracion. (a) Obtencion de datos en campo. (b) Grafica obtenida con el penetrometro en un suelo de 15.9% humedad.

La resistencia a la penetración del terreno se muestra el siguiente cuadro.

Cuadro (4.3) Resultados obtenidos para el cálculo de la resistencia a la penetración.

| 10 | 20 | 30 | 40 | Promedio kPa |
|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 1682,1 | 1994,2 | 2047,1 | 2189,9 | 1978,3 |

Área perimetral del cono: 0.00181m^2

Se puede observar que la resistencia a la penetración, a medida que se encuentra a mayor profundidad esta opone mayor resistencia hacer penetrada, esta propiedad del suelo es muy importante para las plantas y su valor nos proporciona información del impedimento mecánico que tendrán las raíces para crecer.

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 incrementado en función de la resistencia a la penetración del suelo, para las

condiciones en que se llevaron a cabo las evaluaciones. Así mismo se aprecia un menor consumo de combustible para el arreglo de 50x50 cuando se empleó el cincel SB5-3 en comparación del MCC3-5-7 del orden del 20.8%. No mostrando diferencia en la segunda condición de suelo para el arreglo de 30x30.

Cuadro (4.4) Consumo de combustible (L-ha⁻¹) de los implementos evaluados a diferentes velocidades.

| Cincel | 5 Cinceles 50 * 50 (V1) | 5 Cinceles 30 * 30 (V1) | 5 Cinceles 38 * 38 (V1) | 7 Cinceles 30 * 30 (V1) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SVH95 | | | 23,6 | |
| MCC3-5-7 | 18,7 | | | 25,2 |
| SB5-3 | 14,8 | 25,6 | | |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹

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) Dinamómetro de tiro de 45 kN. (b) Dinamómetro integral de 80 kN.

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

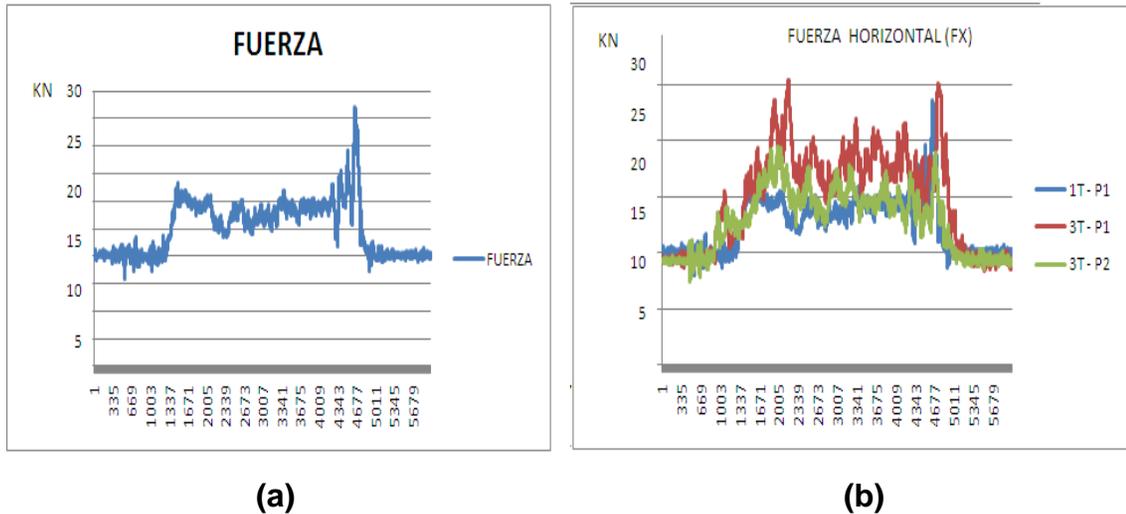


Figura 4.4. (a) grafica obtenida por dinamómetro axial de 45 kN. (b) grafica obtenida empleando el dinamómetro integral.

En los cuadros (4.5 y 4.6) se muestran las comparaciones de las fuerzas medias ejercidas por cada unos de los implementos incluyendo al MMC R rediseñado con sus respectivos arreglos así como también la potencia requerida por los mismos.

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

| Cinzel | 5 Cinceles* | 5 Cinceles | 5 Cinceles | 7 Cinceles |
|----------|-------------|------------|------------|------------|
| | 50 * 50 | 30 * 30 | 38 * 38 | 30 * 30 |
| | (V1) | (V1) | (V1) | (V1) |
| SVH95 | 16.9 | | 19.1 | |
| MCC3-5-7 | 17.9 | | | 21.2 |
| SB5-3 | 18.4 | 22.5 | | |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹

Para el parámetro fuerza, en las dos condición de suelo (*), no se aprecia en forma significativa diferencia entre arreglos.

Cuadro (4.6) Fuerzas medias ejercidas para 1 y 3 cinceles con diferentes arreglos.

| Cinzel | 3Cinceles | 3 Cinceles | 3 Cinceles | 3 Cin.(1 P) | 3 Cin. (2 P) | 1 Cinzel |
|----------|-----------|------------|------------|-------------|--------------|----------|
| | 38 * 38 | 30 * 30 | 70 * 70 | 31*31 | 31*31 | |
| | (V2) | (V2) | (V1) | (V3) | (V3) | (V3) |
| SVH95 | 12.0 | | | | | |
| MCC3-5-7 | | 9.8 | | | | |
| SB5-3 | | 15.0 | 16.1 | | | |
| MCC R | | | | 21.5 | 10.9 | 7,5 |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹ y V3= 2 kmh⁻¹. 1P= 1 profundidad, 1 tomón con alas a 0.40m y 2 timones a 0.40m y 2P= 2 profundidad, 1 timón con alas a 0.40m y 2 timones someros a 0.30m, 1 CIN= 1 timón con alas

MCC R = Implemento rediseñado.

Sin embargo para los arreglos mostrados en el cuadro (4.6) si se alcanza a apreciar diferencias entre el uso de alas con la combinación de subsuelos frontales someros. Obteniendo el mejor arreglo, en términos de menor demanda de fuerza, con los cinceles MCC3-5-7, empleando cinzel trasero profundo (0.40 m) con cinceles traseros someros (0.30m). Se aprecia también que hay una reducción significativa del 50% de la fuerza de tiro, en el arreglo cinzel con alas (0.40m de profundidad) y cinceles frontales someros (0.30m) en comparación cuando los cinceles trabajaron ambos a 0.40m de profundidad.

4.3. Variables consideradas después de la labor.

4.3.1. Tamaño medio de los agregados.

El tamaño medio de agregados obtenido a través de los pesos directos después de la aplicación de la ecuación (2).

En el cuadro (4.7) se aprecia que el mejor arreglo en términos de tamaño de agregados se obtuvo para el subsuelo SVH95, para el arreglo de cinco cinceles a una distancia de 50X50.

Cuadro (4.7) Comparación de medias para el tamaño medio de agregados de los implementos con 5 y 7 cinceles y diferentes arreglos.

| Cinzel | 5 Cinceles | 5 Cinceles | 5 Cinceles | 7 Cinceles |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| | 50 * 50 | 30 * 30 | 38 * 38 | 30 * 30 |
| | (V1) | (V1) | (V1) | (V1) |
| SVH95 | 26,5 | | 62,7 | |
| MCC3-5-7 | 41,7 | | | 56,4 |
| SB5-3 | 42,4 | 36,9 | | |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹

El cuadro (4.8) en términos generales se observó una mejor calidad de agregados empleando los cinceles alados, combinados con cinceles frontales someros sin alas comparados con cualquier otro arreglo.

Cuadro (4.8) Tamaño medio de agregados de los implementos con 1 y 3 cinceles con diferentes arreglos.

| Cinzel | 3Cinzele | 3 Cinceles | 3 Cinceles | 3 C 1 P | 3 C 2 P | 1 Cinzel |
|----------|----------|------------|------------|---------|---------|----------|
| | 38 * 38 | 30 * 30 | 70 * 70 | 31*31 | 31*31 | |
| | (V2) | (V2) | (V1) | (V3) | (V3) | (V3) |
| SVH95 | 40,8 | | | | | |
| MCC3-5-7 | | 52,3 | | | | |
| SB5-3 | | 36,7 | 31.9 | | | |
| MCC R | | | | 13.2 | 14.5 | 26.3 |

V1= 3.1 kmh⁻¹ ; V2= 7.3 kmh⁻¹ y V3= 2 kmh⁻¹. 1P= 1 profundidad, 1 timón con alas a 0.40m y 2 timones a 0.40m y 2P= 2 profundidad ,1 timón con alas a 0.40m y 2 timones someros a 0.30m, 1 CIN= 1 timón con alas

MCC R = Implemento rediseñado.

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.

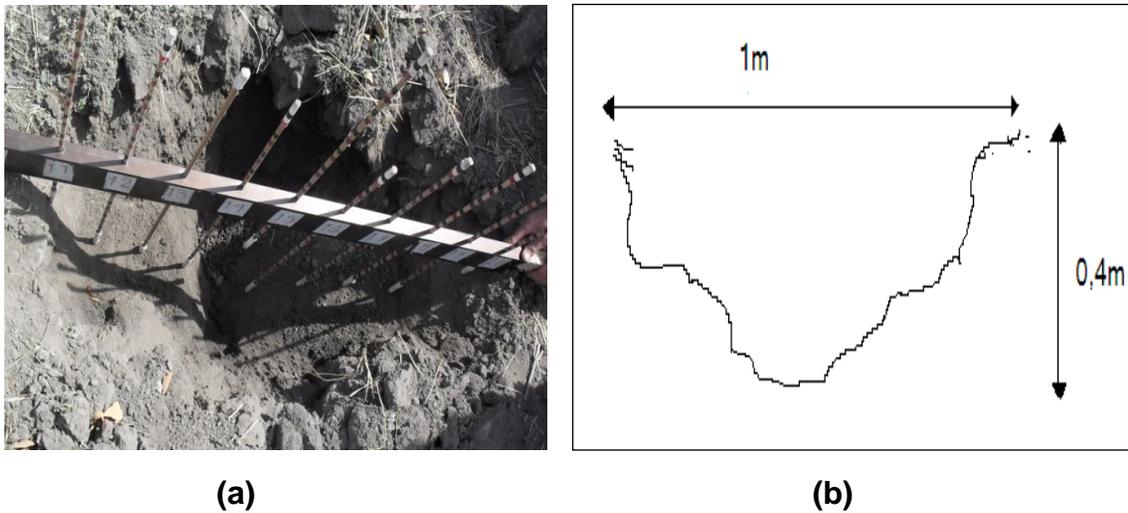


Figura (4.5) (a) Se aprecia la aplicación del perfilometro para la determinación del área disturbada. (b). profundidad máxima de trabajo.

Para el análisis del área de suelo disturbado se muestra el siguiente cuadro (4.9).

Cuadro (4.9) Comparación de medias para el área de suelo disturbado (m²) para los siguientes implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.

| Cinzel | 5 Cinceles | 5 Cinceles | 5 Cinceles | 7 Cinceles |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| | 50 * 50 | 30 * 30 | 38 * 38 | 30 * 30 |
| | (V1) | (V1) | (V1) | (V1) |
| SVH95 | 0,49 | | 0,42 | |
| MCC3-5-7 | 0,48 | | | 0,43 |
| SB5-3 | 0,52 | 0,48 | | |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹

El cuadro (4.9) se aprecia que no hay diferencia significativa en la sección transversal disturbada de cada arreglo con los distintos implementos evaluados, sin embargo en el cuadro (4.10) se alcanza apreciar una mayor área de disturbación, del orden del 50%, empleando cinceles alados combinado con cinceles frontales profundos.

Cuadro (4.10) Área disturbada por los implementos con 1 y 3 cinceles en diferentes arreglos.

| Cinzel | 3 Cinzel 38 * 38 (V2) | 3 Cinceles 30 * 30 (V2) | 3 Cinceles 70 * 70 (V1) | 3 C 1 P 31*31 (V3) | 3 C 2 P 31*31 (V3) | 1 Cinceles (V3) |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| SVH95 | 0,26 | | | | | |
| MCC3-5-7 | | 0,19 | | | | |
| SB5-3 | | 0,22 | 0,61 | | | |
| MCC R | | | | 0,30 | 0,21 | 0,16 |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹ y V3= 2 kmh⁻¹. 1P= 1 profundidad, 1 timon con alas a 0.40m y 2 timones a 0.40m y 2P= 2 profundidad, 1 timón con alas a 0.40m y 2 timones someros a 0.30m, 1 CIN= 1 timón con alas

MCC R = Implemento rediseñado.

4.4. Resistencia especifica del suelo.

Los datos que se mencionan en el cuadro (4.11) se obtuvieron con la fuerza obtenida entre el área disturbada (kNm⁻²).

Cuadro (4.11) Resistencia especifica del suelo para implementos con 5 y 7 cinceles en diferentes arreglos.

| Cinzel | 5 Cinceles 50 * 50 (V1) | 5 Cinceles 30 * 30 (V1) | 7 Cinceles 30 * 30 (V1) | 5 Cinceles 38 * 38 (V1) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SVH95 | 34,3 | | | 45,1 |
| MCC3-5-7 | 37,4 | | 53.0 | |
| SB5-3 | 35,6 | 39,8 | | |

V1= 3.1 kmh⁻¹; V2= 7.3 kmh⁻¹

En el cuadro (4.12), se puede apreciar una disminución a la resistencia específica del suelo (kNm^{-2}) para el Rediseño, en el orden del 23.7% cuando se emplearon los cinceles frontales a 0.30 m (2P) de profundidad en comparación de cuando estos se ajustaron a 0.40 m (1P). Resultados similares fueron obtenidos por Godwing y Spoor (1978).

Cuadro (4.12) Resistencia específica del suelo para implementos con 1 y 3 cinceles en diferentes arreglos.

| | 3Cinceles | 3 Cinceles | 3 Cinceles | 3 C 1 P | 3 C 2 P | 1 Cincel |
|--------|-----------|------------|------------|---------|---------|----------|
| Cincel | 38 * 38 | 30 * 30 | 7 0 * 70 | 31* 31 | 31* 31 | |
| | (V2) | (V2) | (V1) | (V3) | (V3) | (V3) |
| SVH95 | 47,1 | | | | | |
| MCC357 | | 50,3 | | | | |
| SB5-3 | | 67,5 | 26,5 | | | |
| MCC R | | | | 70.1 | 52.4 | 46.9 |

V1= 3.1 kmh^{-1} ; V2= 7.3 kmh^{-1} y V3= 2 kmh^{-1} . 1P= 1 profundidad, 1 timon con alas a 0.40m y 2 timones a 0.40m y 2P= 2 profundidad ,1 timón con alas a 0.40m y 2 timones someros a 0.30m, 1 CIN= 1 timón con alas

4.5. Ancho de trabajo.

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

Cuadro (4.13) Anchos de trabajo máximos de cada implemento y promedios por arreglo.

| cincel | máximo | 7 cinceles | | 5 cinceles | | 3 cinceles | |
|-----------|--------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | | a 30 cm | a 50 cm | a 30 cm | a 38 cm | a 70 cm | a 30 cm |
| SB 5/3 | 2.00 | | 2.00 | 1.20 | | 1.40 | 0.60 |
| SVH 9/5 | 1.96 | | 1.96 | | 1.52 | 0.76 | |
| MCC 3/5/7 | 2.00 | 1.80 | 2.00 | | | | 0.60 |

No se muestra diferencia significativa en los anchos máximos de trabajo de los tres subsuelos, los anchos de los subsuelos MCC 3/5/7 y SB 5/3 son muy similares para los arreglos de tres y cinco timones a 0.30m y 0.50m respectivamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para la primera fase de este trabajo que consistió en la evaluación de los tres tipos de implementos podemos concluir lo siguiente:

- Las distancias entre cuerpos tienen un efecto directamente proporcional sobre la sección transversal de laboreo y sobre el tamaño medio de agregados. A mayor distancia entre cinceles mayor tamaño de agregados.
- La magnitud de la fuerza de tiro se ve afectado por el número de cinceles.
- El tamaño de agregados no se vio afectado por la velocidad de trabajo.

Para la segunda etapa de evaluación, que consistió en la evaluación de 2 arreglos de timones traseros con alas a una profundidad fija (0.40m) y dos frontales a dos profundidades (0.40 y 0.30). Se puede concluir que hay una disminución de cerca del 50% en la fuerza tiro (N) y del 25% de resistencia específica (kNm^{-2}) cuando se emplearon los arreglos de cinceles frontales someros. Sin haber efecto sobre la calidad del tamaño de agregados.

Se requiere de la evaluación de otros arreglos de cinceles alados, sobre todo en lo referente al trabajo de distancia entre cuerpos, buscando reducir la resistencia específica a valores inferiores a los arreglos sin alas.

VI. Bibliografía.

Aluko, O.B., and D.A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil Tillage Res.* 57:143-157.

Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson. 2004. Evaluación específica de arado de vertedera, arado de cincel y rastra de discos en diferentes contenidos de agua. *Soil Tillage Res.* 79:221-231.

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. Canadá.

Bravo C, F. Adrian. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia en la sobre el rendimiento de algodón, *briago* 9(3): 67–75. 1997.

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.

Cabeda, 1984,” Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo” (Documento web).s/f, http://www.fao.org./ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/c2.htm#ini

Cadena Z. M. Gaytan M. T. Zermeño G. A., 2004. Desempeño de implementos de labranza en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Revista agraria - nueva época- año I – Vol.1* pp. 58-65.

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.

Crossley, P and Kilgour, J, 1983, Pequeña mecanización de parcelas para países en vía de desarrollo, Chichester John Wiley, pp. 221–224.

Chichester, F.W., J.E. Morrison, and T.J. Gerik. 1985. Minimum disturbance fertilizer knifing for no-till. Trans. ASAE 28:1013-1018.

Di Prinzio, A.P., C.D. Ayala, y J.C. Magdalena. 1997. Evaluación energética de distintas técnicas de subsolado y sus efectos sobre la densidad aparente del suelo. Agro-Ciencia 13:61-67.

Di Prinzio, A.P, Behmer, S.N, Striebeck, G.L, Irisarri, J.A. (1999). Influencia de las rejas aladas de un subsolador combinado sobre el rendimiento de la labor. Agricultura Técnica, Vol. 61, No. 2, April-June, 2001, pp. 235-240.

FAO.2003“Los principales tipos de labranza” (Documento web).s/f.[http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7 mo/iita/c8.htm#ini](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7%20mo/iita/c8.htm#ini)

FAO.2003” principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos” (Documento web).s/f [http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7 mo/iita/c3.htm#ini](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7%20mo/iita/c3.htm#ini)

FAO 2000. Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos. Roma, Italia, Cap. 8 pp. 59-85.

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.

Godwing, R.J. y G. Spoor. 1977. Soil failure with narrow tines. J. Agric. Engng. Res. 22: 213-228.

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.

Hernanz, J.L. 1995. Equipos y sistemas de labranza, desarrollo y evolución de aperos, Vida rural, numero 21, septiembre de 1995 pp. (46-47).

Herrera A, y Aguilar Z. (2002). sistemas de labranza de conservación con implementos de tracción animal para el piedemonte casanareño. Boletín técnico n° 27 Yopal, Casanare, Colombia.

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.

Johnson, I, M, 1985. Las pruebas de maquinaria de granja para desarrollo agrícola. Silsoc UK, overseas. Instituto nacional de división de ingeniería Agrícola. 6 p (unpublished).

Jesús h. camacho-tamayo¹ *, Gonzalo a. rodríguez b.2 evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo agricultura técnica (chile) 67(1):60-67 (enero-marzo 2007).

Krause R., Lorenz F., Hoogmoed W. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Germany.

Márquez Delgado, L. (1990) Sólo tractor. Ed. Laboreo. España.

Matthews, J. 1997. Revisión del programa de pruebas de maquinaria del colegio de ingeniería agrícola, Ludhiana, India, UK. Instituto nacional de ingeniería agrícola, p22. + Annexes.

McKyes, E. 1985. Agricultura técnica (chile) 67(1):60-67 (enero-marzo 2007).

Mouazen, A.M., and H. Ramon. 2002. A numerical statistical hybrid modeling scheme for evaluation of draught requirements of a subsoiler cutting a sandy and depth. Soil Tillage Res. 63:155-165.

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.

Morales H. H. 2009. Validación de un protocolo para evaluación de implementos de labranza vertical. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila, México.

Norma Mexicana para arados. 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. CENEMA.texcoco, estado de México.

Lanças, K.P. e S.H. Benez. 1988. Influencia da velocidade de subsolagem no consumo de combustível e na área mobilizada do solo. Energia na Agricultura (Botucatu) 3:25-30.

Leiva, p., d. Hansen. 1984. Las resistencias mecánicas del suelo y el desarrollo radicular con distintos sistemas continuos de labranza. Carpeta de producción vegetal. Estación Experimental de Pergamino INTA. Argentina. 4: 181-185.

Océano, (2001), Centrum. Enciclopedia práctica de la Agricultura y la ganadería. Barcelona, España, 2001. Pp159-160.

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.

Ortiz-Cañavate, J. (1990) Requerimientos energéticos de la agricultura. Máquinas y Tractores N° 0. Ed. Edagrícola. España.

Renius, K.T. (1994) Consumo de combustible del tractor en relación a las curvas características del motor y a su transmisión, Tendencias en Diseño de tractor con Referencia Particular a Europa, J.Agric. Engng. Res. 57 (1): 3-22.

S.H. Phillips y H.M. Young Jr. 1973. agricultura sin laboreo, labranza Cero, universidad de Kentucky.

Smith, D.W., B. G. Sims, D. H. O'Neil, Food & Agriculture Org., 1994 Principios y prácticas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas. Volumen 110 de Boletín de servicios agrícolas de la FAO.

Stevens, G, N, 1982, Pruebas de equipo y evaluación. Silsoe UK. Instituto Nacional de Ingeniería Agrícola pp137.

Spoor, G., and R.J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. Agric. Eng. Res. 23:243-258.

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.

VII ANEXOS

A.1. Variables consideradas antes de la labor.

Porcentaje de humedad del suelo.

| Muestras | Peso Bote (gr) | PSH Y Bote (gr) | PSS(gr) | PSH Neto (gr) | PSS Neto (gr) | % de Humedad (PW) |
|----------|----------------|-----------------|---------|---------------|---------------|-------------------|
| 1 | 32 | 182 | 160,2 | 150 | 128,2 | 17 |
| 2 | 31,4 | 181 | 161 | 149,6 | 129,6 | 15,4 |
| 3 | 31,3 | 191,5 | 170,2 | 160,2 | 138,9 | 15,3 |
| 4 | 32 | 184,8 | 163,8 | 152,8 | 131,8 | 15,9 |
| 5 | 37,9 | 180,7 | 161,5 | 142,8 | 123,6 | 15,5 |
| 6 | 30,3 | 173,2 | 153,5 | 142,9 | 123,2 | 16 |
| Promedio | | | | | | 15,9 |

La ecuación (1) es la que se utilizo para el cálculo del porcentaje de humedad del suelo:

$$(1) \quad pw = \left[\frac{PSH - PSS}{PSS} \right] 100$$

Resistencia a la penetración.

Análisis de graficas obtenidas por el penetrometro

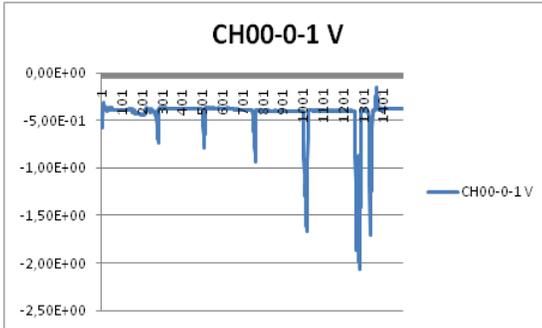


Figura A.1 (a).

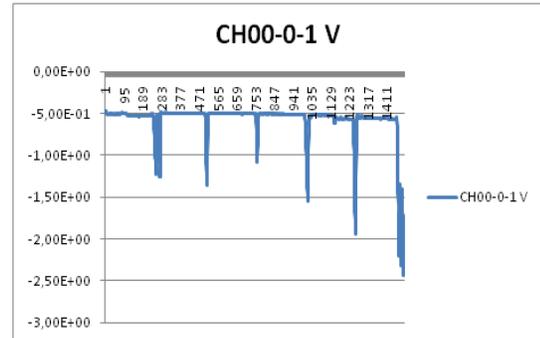


Figura A.1 (b).

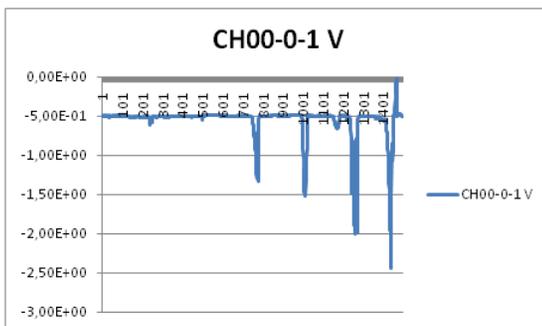


Figura A.1 (c).

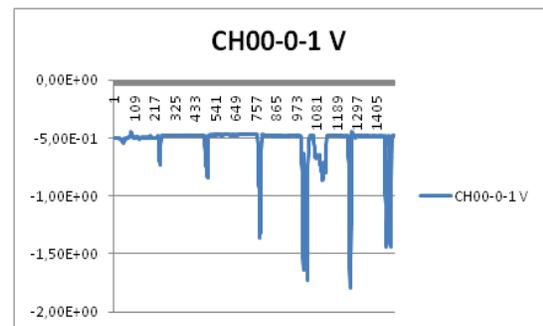


Figura A.1 (d).

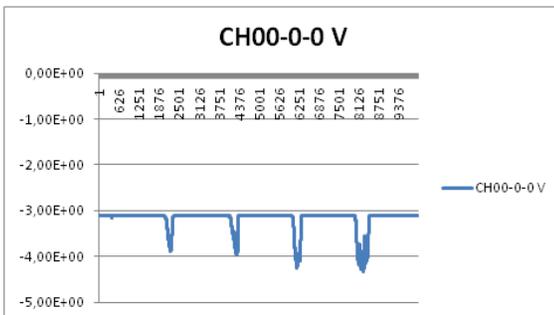


Figura A.1 (e).

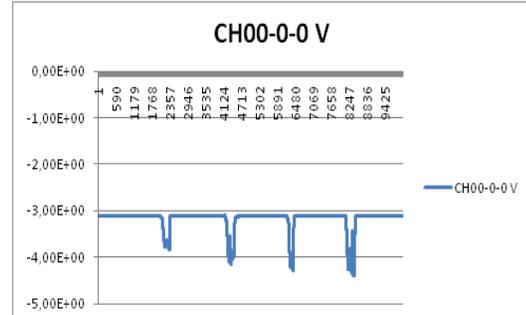


Figura A.1 (f).

Nota: solo se muestran algunas de las graficas demostrativas.

Valores obtenidos por el penetrometro en campo.

| MUESTRA | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -2.95E-01 | -4.55E-01 | -1.1 | -1.9 | -2.95E-01 | -2.95E-01 | -2.95E-01 | -2.95E-01 |
| 2 | -3.83E-01 | -1.07 | -1.75 | -2.31 | -3.83E-01 | -3.83E-01 | -3.83E-01 | -3.83E-01 |
| 3 | -3.91E-01 | -7.03E-01 | -7.44E-01 | -9.37E-01 | -1.66 | -2.06E+00 | -3.91E-01 | -3.91E-01 |
| 4 | -3.87E-01 | -1.01 | -1.97 | -2.28 | -3.87E-01 | -3.87E-01 | -3.87E-01 | -3.87E-01 |
| 5 | -3.70E-01 |
| 6 | -4.21E-01 | -5.92E-01 | -4.25E-01 | -9.34E-01 | -1.32E+00 | -1.75E+00 | -2.47E+00 | -4.21E-01 |
| 7 | -4.71E-01 | -1.05 | -1.09 | -1.38 | -2.48 | -2.26 | -4.71E-01 | -4.71E-01 |
| 8 | -0.462 | -0.462 | -0.925 | -1.57 | -1.6 | -1.47 | -0.462 | -0.462 |
| 9 | -0.447 | -1.44 | -1.93 | -0.447 | -0.447 | -0.447 | -0.447 | -0.447 |
| 10 | -0.498 | -0.705 | -0.802 | -1.36 | -1.72 | -1.79 | -0.498 | -0.498 |
| 11 | -0.591 | -1.66 | -1.96 | -2.14 | -2.37 | -0.591 | -0.591 | -0.591 |
| 12 | -0.541 | -1.32 | -1.39 | -1.27 | -1.35 | -2.33 | -0.541 | -0.541 |
| 13 | -0.542 | -1.22 | -1.22 | -1.45 | -1.42 | -1.83 | -1.97 | -0.542 |
| 14 | -0.498 | -0.587 | -0.508 | -1.31 | -1.48 | -2.01 | -2.44 | -0.498 |
| 15 | -5.25E-01 | -2.03 | -5.25E-01 | -5.25E-01 | -5.25E-01 | -5.25E-01 | -5.25E-01 | -5.25E-01 |
| 16 | -4.87E-01 | -8.57E-01 | -1.37 | -1.67 | -2.12 | -2.25 | -4.87E-01 | -4.87E-01 |
| 17 | -5.24E-01 | -2.02 | -1.95 | -1.95 | -1.71 | -2.27 | -5.24E-01 | -5.24E-01 |
| 18 | -5.08E-01 | -1.26 | -1.36 | -1.09 | -1.55 | -1.95 | -2.44 | -5.08E-01 |
| 19 | -5.40E-01 | -1.6 | -1.67 | -1.41 | -2.25 | -5.40E-01 | -5.40E-01 | -5.40E-01 |
| 20 | -5.63E-01 | -7.17E-01 | -6.80E-01 | -2.20E+00 | -5.63E-01 | -5.63E-01 | -5.63E-01 | -5.63E-01 |

Diferencia en milivolts.

| MUESTRA | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1 | -1.60E+02 | -8.05E+02 | -1.61E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 2 | -6.87E+02 | -1.37E+03 | -1.93E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 3 | -3.12E+02 | -3.53E+02 | -5.46E+02 | -1.27E+03 | -1.67E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 4 | -6.23E+02 | -1.58E+03 | -1.89E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 5 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 6 | -1.71E+02 | -4.00E+00 | -5.13E+02 | -8.99E+02 | -1.33E+03 | -2.05E+03 | 0.00E+00 |
| 7 | -5.79E+02 | -6.19E+02 | -9.09E+02 | -2.01E+03 | -1.79E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 8 | 0.00E+00 | -4.63E+02 | -1.11E+03 | -1.14E+03 | -1.01E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 9 | -9.93E+02 | -1.48E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 10 | -2.07E+02 | -3.04E+02 | -8.62E+02 | -1.22E+03 | -1.29E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 11 | -1.07E+03 | -1.37E+03 | -1.55E+03 | -1.78E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 12 | -7.79E+02 | -8.49E+02 | -7.29E+02 | -8.09E+02 | -1.79E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 13 | -6.78E+02 | -6.78E+02 | -9.08E+02 | -8.78E+02 | -1.29E+03 | -1.43E+03 | 0.00E+00 |
| 14 | -8.90E+01 | -1.00E+01 | -8.12E+02 | -9.82E+02 | -1.51E+03 | -1.94E+03 | 0.00E+00 |
| 15 | -1.51E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 16 | -3.70E+02 | -8.83E+02 | -1.18E+03 | -1.63E+03 | -1.76E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 17 | -1.50E+03 | -1.43E+03 | -1.43E+03 | -1.19E+03 | -1.75E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 18 | -7.52E+02 | -8.52E+02 | -5.82E+02 | -1.04E+03 | -1.44E+03 | -1.93E+03 | 0.00E+00 |
| 19 | -1.06E+03 | -1.13E+03 | -8.70E+02 | -1.71E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 20 | -1.54E+02 | -1.17E+02 | -1.64E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

$(X1 - X0) * 1000 = \text{milivolts.}$

(X0= Valor de profundidad 0,) (X1= Valor de cada una de las profundidades restantes)

Valores obtenidos en Newton

| MUESTRA | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1 | -3.90E+02 | -1.96E+03 | -3.92E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 2 | -1.68E+03 | -3.34E+03 | -4.70E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 3 | -7.61E+02 | -8.61E+02 | -1.33E+03 | -3.10E+03 | -4.07E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 4 | -1.52E+03 | -3.86E+03 | -4.62E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 5 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 6 | -4.17E+02 | -9.76E+00 | -1.25E+03 | -2.19E+03 | -3.24E+03 | -5.00E+03 | 0.00E+00 |
| 7 | -1.41E+03 | -1.51E+03 | -2.22E+03 | -4.90E+03 | -4.37E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 8 | 0.00E+00 | -1.13E+03 | -2.70E+03 | -2.78E+03 | -2.46E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 9 | -2.42E+03 | -3.62E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 10 | -5.05E+02 | -7.42E+02 | -2.10E+03 | -2.98E+03 | -3.15E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 11 | -2.61E+03 | -3.34E+03 | -3.78E+03 | -4.34E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 12 | -1.90E+03 | -2.07E+03 | -1.78E+03 | -1.97E+03 | -4.37E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 13 | -1.65E+03 | -1.65E+03 | -2.22E+03 | -2.14E+03 | -3.14E+03 | -3.48E+03 | 0.00E+00 |
| 14 | -2.17E+02 | -2.44E+01 | -1.98E+03 | -2.40E+03 | -3.69E+03 | -4.74E+03 | 0.00E+00 |
| 15 | -3.67E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 16 | -9.03E+02 | -2.15E+03 | -2.89E+03 | -3.98E+03 | -4.30E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 17 | -3.65E+03 | -3.48E+03 | -3.48E+03 | -2.89E+03 | -4.26E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 18 | -1.83E+03 | -2.08E+03 | -1.42E+03 | -2.54E+03 | -3.52E+03 | -4.71E+03 | 0.00E+00 |
| 19 | -2.59E+03 | -2.76E+03 | -2.12E+03 | -4.17E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 20 | -3.76E+02 | -2.85E+02 | -3.99E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

X1*2.44

Valor de la constante= 2.44

Determinación de los pascales

| MUESTRA | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | PROMEDIO |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1 | -5.10E+02 | -2.57E+03 | -5.12E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.17E+03 |
| 2 | -2.19E+03 | -4.36E+03 | -6.15E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.81E+03 |
| 3 | -9.95E+02 | -1.13E+03 | -1.74E+03 | -4.05E+03 | -5.33E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.89E+03 |
| 4 | -1.99E+03 | -5.05E+03 | -6.04E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.87E+03 |
| 5 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| 6 | -5.46E+02 | -1.28E+01 | -1.64E+03 | -2.87E+03 | -4.24E+03 | -6.54E+03 | 0.00E+00 | -2.26E+03 |
| 7 | -1.85E+03 | -1.97E+03 | -2.90E+03 | -6.41E+03 | -5.71E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -2.69E+03 |
| 8 | 0.00E+00 | -1.48E+03 | -3.54E+03 | -3.63E+03 | -3.22E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.69E+03 |
| 9 | -3.17E+03 | -4.73E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.13E+03 |
| 10 | -6.60E+02 | -9.70E+02 | -2.75E+03 | -3.90E+03 | -4.12E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -1.77E+03 |
| 11 | -3.41E+03 | -4.37E+03 | -4.94E+03 | -5.68E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -2.63E+03 |
| 12 | -2.49E+03 | -2.71E+03 | -2.33E+03 | -2.58E+03 | -5.71E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -2.26E+03 |
| 13 | -2.16E+03 | -2.16E+03 | -2.90E+03 | -2.80E+03 | -4.11E+03 | -4.56E+03 | 0.00E+00 | -2.67E+03 |
| 14 | -2.84E+02 | -3.19E+01 | -2.59E+03 | -3.13E+03 | -4.82E+03 | -6.20E+03 | 0.00E+00 | -2.44E+03 |
| 15 | -4.80E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -6.86E+02 |
| 16 | -1.18E+03 | -2.82E+03 | -3.77E+03 | -5.21E+03 | -5.63E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -2.66E+03 |
| 17 | -4.77E+03 | -4.55E+03 | -4.55E+03 | -3.78E+03 | -5.57E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -3.32E+03 |
| 18 | -2.40E+03 | -2.72E+03 | -1.86E+03 | -3.32E+03 | -4.60E+03 | -6.16E+03 | 0.00E+00 | -3.01E+03 |
| 19 | -3.38E+03 | -3.61E+03 | -2.78E+03 | -5.46E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -2.17E+03 |
| 20 | -4.91E+02 | -3.73E+02 | -5.22E+03 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | -8.70E+02 |
| | | | | | | | PROME = | -1.95E+03 |
| | | | | | | | V. ABS = | 1950 KPa |

KPa= X1 / 0.76475

Valores obtenidos por el penetrometro en el terreno para la evaluación del implemento rediseñado (MMC R).

| MUESTRAS | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -3,10E+00 | -4,06E+00 | -4,25E+00 | -4,40E+00 | -4,51E+00 |
| 2 | -3,12E+00 | -3,81E+00 | -3,92E+00 | -4,18E+00 | -4,28E+00 |
| 3 | -3,11E+00 | -3,99E+00 | -3,94E+00 | -3,50E+00 | -3,43E+00 |
| 4 | -3,11E+00 | -3,76E+00 | -4,10E+00 | -4,23E+00 | -4,36E+00 |

Diferencia en mili volts.

| MUESTRA | 10 | 20 | 30 | 40 |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -9,60E-01 | -1,15E+00 | -1,30E+00 | -1,41E+00 |
| 2 | -6,90E-01 | -8,00E-01 | -1,06E+00 | -1,16E+00 |
| 3 | -8,80E-01 | -8,30E-01 | -3,90E-01 | -3,20E-01 |
| 4 | -6,50E-01 | -9,90E-01 | -1,12E+00 | -1,25E+00 |

$(X1 - X0) * 1000 = \text{milivolts}$

X0= valor de profundidad 0

X1= valor de cada una de las profundidades restantes

Valores obtenidos en Newton

| MUESTRAS | 10 | 20 | 30 | 40 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -1,77E+00 | -2,12E+00 | -2,40E+00 | -2,60E+00 |
| 2 | -1,27E+00 | -1,48E+00 | -1,96E+00 | -2,14E+00 |
| 3 | -1,62E+00 | -1,53E+00 | -7,20E-01 | -5,90E-01 |
| 4 | -1,20E+00 | -1,83E+00 | -2,07E+00 | -2,31E+00 |

X1* 1,845

Valor de la constante= 1,845

Determinación de los pascales

| muestra | 10 | 20 | 30 | 40 | promedio |
|-----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 1 | -2,0E+03 | -2,4E+03 | -2,7E+03 | -2,9E+03 | - 2,55E+03 |
| 2 | -1,4E+03 | -1,6E+03 | -2,2E+03 | -2,4E+03 | - 1,96E+03 |
| 3 | -1,8E+03 | -1,7E+03 | -8,2E+02 | -6,7E+02 | - 1,28E+03 |
| 4 | -1,3E+03 | -2,0E+03 | -2,3E+03 | -2,6E+03 | - 2,12E+03 |
| PROMEDIO= | | | | | -1,98+03 |
| V ABS = | | | | | 1978,00 kPa |

kPa = X1/0,000872

A.2. Obtención de datos durante la labor en campo.

Fuerza de tiro.

A continuación se muestra el procedimiento que se desarrolla para la obtención de fuerza en milivolts de tiro mediante el análisis espectral en el programa matlab.

Nombre de archivo de datos sin extensión: mcc74

Listo, archivo cargado

Numero de corrida (1/2): 1

Titulo para las graficas: vertical

Trabajando con la componente vertical...

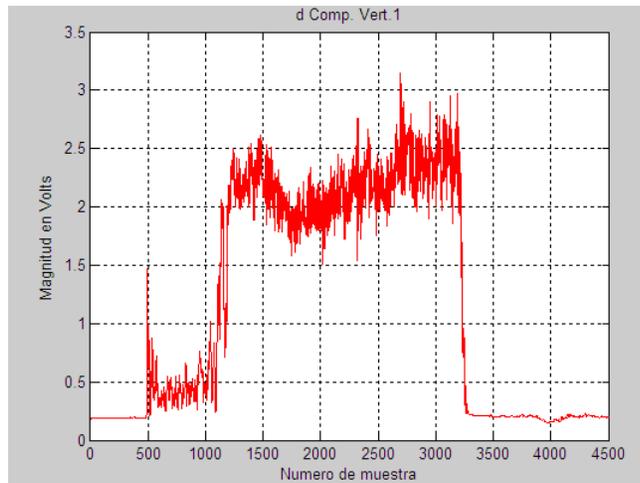


Figura A.2. (a) Análisis espectral de la componente vertical.

Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero: .18

Multiplicar por -1 o por 1: 1

En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...

Posición inicial para el análisis: 500

Posición final para el análisis: 1024

La media del segmento de datos es:

0.2593

Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero

Pulsa una tecla...

Ahora se obtendrán las magnitudes y frecuencias correspondientes.

Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...

Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor:

263

¿Definir nuevo rango (s/n)? n

El valor máximo para Pn es:

0.0686

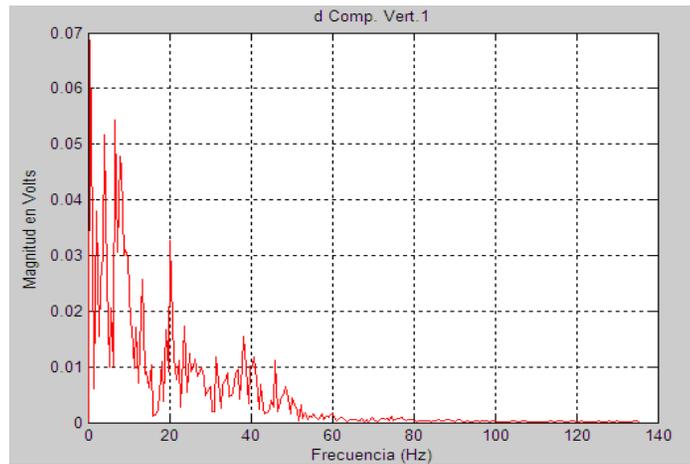


Figura A.2. (b) Análisis terminado de la componente vertical.

A continuación, se analizará la componente horizontal. Pulsa una tecla...

Trabajando con la componente horizontal...

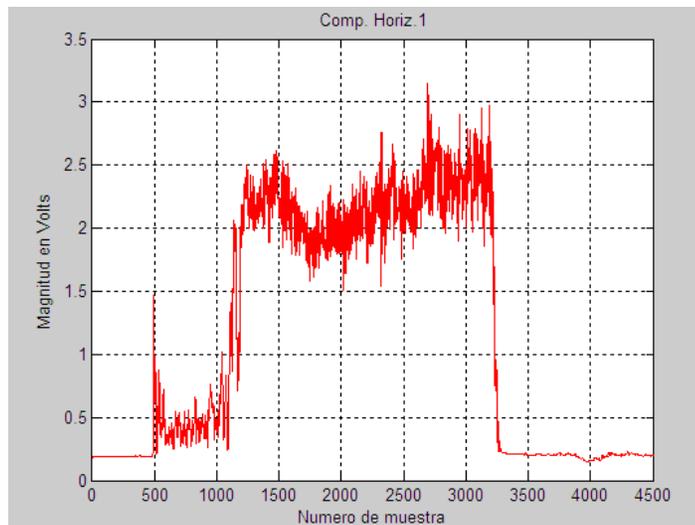


Figura A.2. (c) Análisis espectral de la componente horizontal

Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero: .18

Multiplicar por -1 o por 1: 1

En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una tecla...

Posición inicial para el análisis: 1500

Posición final para el análisis: 3548

La media del segmento de datos es:

1.7023

Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero

Pulsa una tecla...

Ahora se obtendrán las magnitudes y frecuencias correspondientes.

Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...

Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el siguiente valor:

1025

¿Definir nuevo rango (s/n)? N

El valor máximo para **Pn** es:

0.5959

Análisis terminado

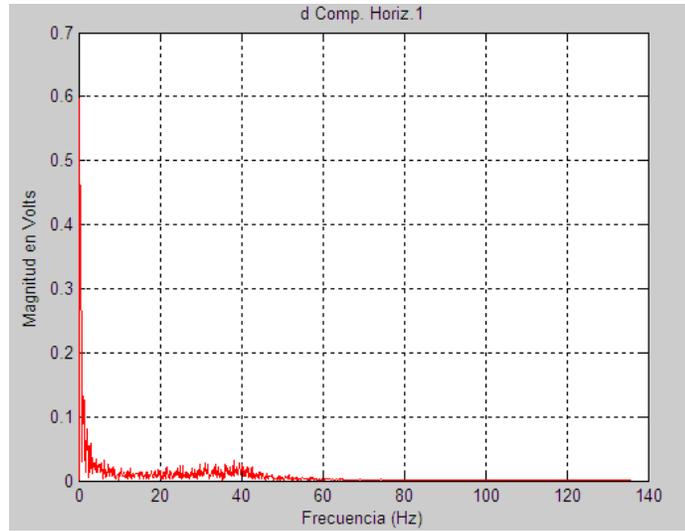


Figura A.2. (d) Análisis terminado de la componente horizontal

Cuadro de Fuerzas para los cinceles con los diferentes arreglos determinadas a través de los datos obtenidos en el análisis espectral.

| cinzel | arreglo | repetición | distancia (m) | tiempo (s) | velocidad (m/s) | Media No. 1 | Pn | Media No. 2 | Pn(milivolts) | milivolts | CONS (KN/MVL) | KN media | HP media |
|------------------|--------------------|------------|---------------|------------|-----------------|-------------|--------|-------------|---------------|-----------|---------------|----------|----------|
| SVH 9/5 | 50*50 5 CIN | 1 | 50 | 56.38 | 0.89 | 0.2272 | 0.2047 | 11.439 | 0.1645 | 1308.4 | 11.8 | 15.439 | 17.442 |
| | | 2 | 50 | 59.24 | 0.84 | 0.2541 | 0.2687 | 12.185 | 0.1679 | 1386.4 | 11.8 | 16.360 | 17.590 |
| | | 3 | 50 | 60.97 | 0.82 | 0.2074 | 0.2789 | 12.806 | 0.1491 | 1429.7 | 11.8 | 16.870 | 17.624 |
| | | 4 | 50 | 63.79 | 0.78 | 0.1864 | 0.2288 | 14.735 | 0.1454 | 1618.9 | 11.8 | 19.103 | 19.074 |
| SB 5/3 | 50*50 5 CIN | 1 | 50 | 57.11 | 0.88 | 0.2252 | 0.2475 | 11.171 | 0.2797 | 1396.8 | 11.8 | 16.482 | 18.382 |
| | | 2 | 50 | 58.77 | 0.85 | 0.2313 | 0.213 | 11.928 | 0.2451 | 1437.9 | 11.8 | 16.967 | 18.389 |
| | | 3 | 50 | 59.99 | 0.83 | 0.2544 | 0.2405 | 12.894 | 0.3715 | 1660.9 | 11.8 | 19.599 | 20.809 |
| | | 4 | 50 | 63.05 | 0.79 | 0.254 | 0.2377 | 15.218 | 0.2255 | 1747.3 | 11.8 | 20.618 | 20.829 |
| MCC 3/5/7 | 50*50 5 CIN | 1 | 50 | 62.25 | 0.80 | 0.2401 | 0.1614 | 15.134 | 0.0928 | 1606.2 | 11.8 | 18.953 | 19.393 |
| | | 2 | 50 | 60.6 | 0.83 | 0.2321 | 0.122 | 13.244 | 0.1551 | 1479.5 | 11.8 | 17.458 | 18.350 |
| | | 3 | 30 | 34.11 | 0.88 | 0.2907 | 0.1499 | 13.754 | 0.0784 | 1453.8 | 11.8 | 17.155 | 19.220 |
| MCC 3/5/7 | 30*30 7 CIN | 1 | 50 | 58.29 | 0.86 | 0.237 | 0.1307 | 15.703 | 0.3054 | 1875.7 | 11.8 | 22.133 | 24.185 |
| | | 2 | 50 | 60.05 | 0.83 | 0.9717 | 0.0599 | 11.719 | 0.1034 | 1275.3 | 11.8 | 15.049 | 15.962 |
| | | 3 | 50 | 54.23 | 0.92 | 0.3221 | 0.0992 | 15.717 | 0.3889 | 1960.6 | 11.8 | 23.135 | 27.173 |
| | | 4 | 50 | 53.33 | 0.94 | 0.2368 | 0.0661 | 16.817 | 0.3922 | 2073.9 | 11.8 | 24.472 | 29.228 |
| SVH 9/5 | 38*38 5 CIN | 1 | 50 | 55.28 | 0.90 | 0.2728 | 0.094 | 0.5463 | 0.38 | 926.3 | 11.8 | 10.930 | 12.594 |
| | | 2 | 50 | 55.27 | 0.90 | 0.2833 | 0.148 | 15.925 | 0.3071 | 1899.6 | 11.8 | 22.415 | 25.832 |
| | | 3 | 50 | 60 | 0.83 | 0.2286 | 0.1199 | 18.198 | 0.1195 | 1939.3 | 11.8 | 22.884 | 24.293 |
| | | 4 | 50 | 68.5 | 0.73 | 0.1353 | 0.0953 | 15.874 | 0.09 | 1677.4 | 11.8 | 19.793 | 18.405 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|---|----|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|
| | | 1 | 50 | 54.48 | 0.92 | 0.2254 | 0.1284 | 15.552 | 0.302 | 1857.2 | 11.8 | 21.915 | 25.621 |
| SB 5/3 | 30*30 5 CIN | 2 | 50 | 56.17 | 0.89 | 0.1935 | 0.0784 | 19.019 | 0.153 | 2054.9 | 11.8 | 24.248 | 27.496 |
| | | 3 | 50 | 53.2 | 0.94 | 0.2498 | 0.1336 | 16.479 | 0.116 | 1763.9 | 11.8 | 20.814 | 24.920 |
| | | 4 | 50 | 53.52 | 0.93 | 0.2028 | 0.0976 | 1.62 | 0.3157 | 1935.7 | 11.8 | 22.841 | 27.183 |
| | | 1 | 50 | 23.2 | 2.16 | 0.5049 | 0.2382 | 0.7878 | 0.0802 | 868 | 11.8 | 10.242 | 28.120 |
| SVH 9/5 | 38*38 3 CIN | 2 | 50 | 24.9 | 2.01 | 0.3895 | 0.1494 | 10.689 | 0.1052 | 1174.1 | 11.8 | 13.854 | 35.440 |
| | | 1 | 50 | 27.09 | 1.85 | 0.3530 | 0.118 | 12.268 | 0.0885 | 1315.3 | 11.8 | 15.521 | 36.492 |
| SB 5/3 | 30*30 3 CIN | 2 | 50 | 26.2 | 1.91 | 0.3746 | 0.1141 | 11.611 | 0.0624 | 1223.5 | 11.8 | 14.437 | 35.098 |
| | | 1 | 50 | 23.9 | 2.09 | 0.4318 | 0.2171 | 0.6785 | 0.0722 | 750.7 | 11.8 | 8.858 | 23.608 |
| MCC 3/5/7 | 30*30 3 CIN | 2 | 50 | 24.75 | 2.02 | 0.3491 | 0.1082 | 0.8321 | 0.0784 | 910.5 | 11.8 | 10.744 | 27.649 |
| | | 1 | 50 | 63.83 | 0.78 | 0.2971 | 0.1036 | 0.9866 | 0.1466 | 1133.2 | 11.8 | 13.372 | 13.343 |
| SB 5/3 | 70*70 3 CIN | 2 | 50 | 62.38 | 0.80 | 0.2764 | 0.0886 | 14.599 | 0.1431 | 1603 | 11.8 | 18.915 | 19.314 |

Milivolts = (media + Pn) * (1000)

CONS = constante de calibración (KN/MVL)

KN= (media * CONS) / 1000,

KW= KN * velocidad

HP= KW / 0.785

Cuadros de fuerzas para el cincel MMC R con puntas aladas, determinadas mediante el análisis espectral.

| 1 CINCEL CON ALAS | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|---------------|-----------|-------------|-----|------------|-----|-----|
| CORRIDA | media milivolts | Pn(milivolts) | milivolts | cons (N/mv) | KN | Vel. (m/s) | kw | HP |
| 1 | 0,154 | 0,0249 | 154 | 42,56 | 6,6 | 0,59 | 3,9 | 4,9 |
| 2 | 0,1984 | 0,1749 | 198,4 | 42,56 | 8,4 | 0,56 | 4,8 | 6,1 |

Cuadro de fuerzas para los siguientes arreglos: 2 someros, 1 con alas a una primera profundidad.

| 3 CINCELES 1 PROFUNDIDAD | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|---------------|-----------|-------------|----|------------|----|----|
| CORRIDA | media mv | Pn(milivolts) | milivolts | cons (N/mv) | KN | Vel. (m/s) | kw | HP |
| 1 | 0,3273 | 0,1096 | 436,9 | 42,56 | 19 | 0,5 | 10 | 12 |
| 2 | 0,2957 | 0,0969 | 392,6 | 42,56 | 17 | 0,6 | 9 | 12 |
| 3 | 0,5249 | 0,1584 | 683,3 | 42,56 | 29 | 0,6 | 16 | 21 |

Cuadro de fuerzas para los siguientes arreglos 2 someros 1 con alas a una segunda profundidad.

| 3 CINCELES 2 PROFUNDIDAD | | | | | | | | |
|--------------------------|----------|---------------|-----------|-------------|----|------------|----|-----|
| CORRIDA | media mv | Pn(milivolts) | milivolts | cons (N/mv) | KN | Vel. (m/s) | kw | HP |
| 1 | 0,1977 | 0,049 | 246,7 | 42,56 | 10 | 0,5 | 5 | 6,7 |
| 2 | 0,2313 | 0,0318 | 263,1 | 42,56 | 11 | 0,5 | 6 | 7 |
| 3 | 0,2276 | 0,0336 | 261,2 | 42,56 | 11 | 0,5 | 6 | 7 |

Milivolts = (media+Pn) * (1000)

CONS = constante de calibración

KN= (media * CONS) / 1000,

KW= KN * velocidad,

HP= KW / 0.785

Consumo de combustible.

Consumo de combustible (lt-ha) para los siguientes arreglos de cinceles.

| ARREGLOS | C.COMBUS (ml-seg) | C.COMBUS (lt-hr) | C.COMBUS (ml-ha) | C.COMBU (lt-ha) |
|--|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| C.COMBUS CINCEL SVH 9/5 (5cinceles a 50*50) | 3.117 | 11.220 | 16.443.418 | 16.443 |
| | 2.637 | 9.495 | 12.889.813 | 12.890 |
| PROMEDIO = 14.765 (lt-ha) | 2.667 | 9.602 | 13.333.333 | 13.333 |
| | 3.172 | 11.420 | 16.393.443 | 16.393 |
| C.COMBUS CINCEL MCC 3/5/7 (5 cinceles a 50*50) | 3.855 | 13.880 | 19.753.086 | 19.753 |
| | 3.548 | 12.772 | 17.768.595 | 17.769 |
| PROMEDIO = 18.690 (lt-ha) | 3.870 | 13.931 | 18.546.835 | 18.547 |
| C.COMBUS CINCEL MCC 3/5/7 (7 cinceles a 30*30) | 4.889 | 17.602 | 26.327.945 | 26.328 |
| | 5.579 | 20.083 | 31.455.399 | 31.455 |
| PROMEDIO = 25.207 (lt-ha) | 4.149 | 14.936 | 20.833.333 | 20.833 |
| | 4.238 | 15.256 | 22.211.302 | 22.211 |
| C.COMBUS CINCEL SVH 9/5 (5cinceles a 38*38) | 4.667 | 16.802 | 25.356.265 | 25.356 |
| | 3.691 | 13.287 | 22.356.164 | 22.356 |
| PROMEDIO = 23.574 (lt-ha) | 3.867 | 13.920 | 24.229.765 | 24.230 |
| | 3.051 | 10.984 | 22.352.941 | 22.353 |
| C.COMBUS CINCEL SB 5/3 (5 cinceles a 30*30) | 3.818 | 13.744 | 25.212.121 | 25.212 |
| | 3.774 | 13.587 | 26.335.404 | 26.335 |
| PROMEDIO = 25.594 (lt-ha) | 3.816 | 13.737 | 25.217.391 | 25.217 |
| | 3.924 | 14.126 | 25.609.756 | 25.610 |

A.3. Datos obtenidos después de la labor.

El tamaño medio se obtuvo mediante el análisis de las siguientes graficas obtenidas por el Ring

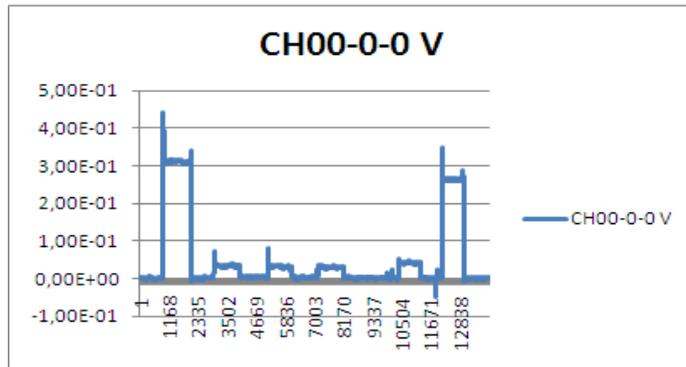


Figura A.3.1. (a)

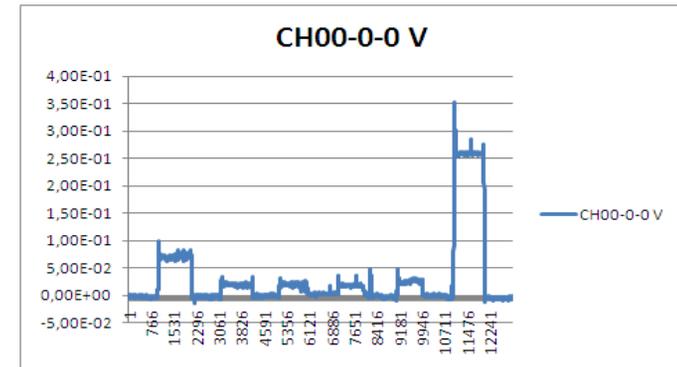


Figura A.3.1. (b)

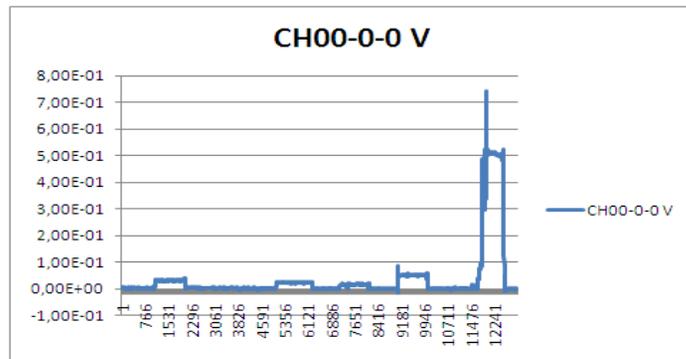


Figura A.3.1 (c)

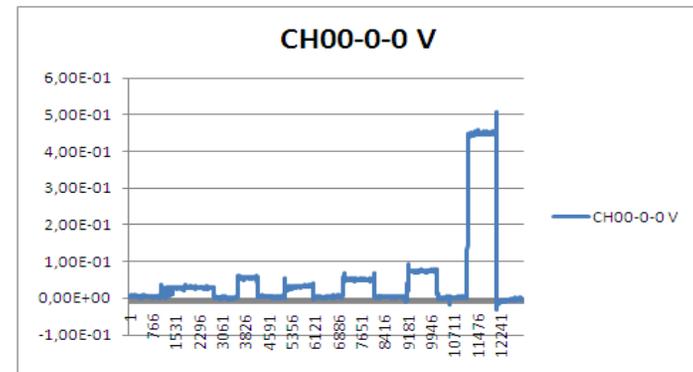


Figura A.3.1. (d)

Cuadros de Tamaño medio de los agregados para los siguientes arreglos (mm).

| | MUESTRAS | T1 (Kg) | T2 (Kg) | T3 (Kg) | T4 (Kg) | T5 (Kg) | Lona (Kg) | W. total(kg) | D.M.A (mm) | |
|-------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------------|----------------|----|
| CINC MCC 7 | 1 | 165 | 20 | 12 | 10 | 18 | 57 | 283 | 72 | |
| | | 169 | 26 | 12 | 7 | 16 | 49 | 278 | 75 | |
| | 2 | 26 | 5 | 3 | 3 | 12 | 120 | 168 | 24 | |
| | | 15 | 7 | 3 | 1 | 12 | 178 | 216 | 16 | |
| | 3 | 152 | 11 | 4 | 3 | 7 | 99 | 276 | 64 | |
| | | 204 | 8 | 4 | 4 | 5 | 99 | 324 | 71 | |
| | 4 | 104 | 11 | 5 | 4 | 9 | 118 | 250 | 51 | |
| | | 202 | 7 | 4 | 3 | 9 | 60 | 285 | 79 | |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= | 56 |
| | CINCEL SVH5 | 1 | 70 | 9 | 5 | 5 | 10 | 100 | 198 | 45 |
| | | | 182 | 8 | 4 | 4 | 5 | 43 | 245 | 82 |
| | | 2 | 117 | 10 | 5 | 5 | 10 | 143 | 289 | 49 |
| 0 | | | 5 | 2 | 2 | 4 | 28 | 41 | 18 | |
| 3 | | 118 | 6 | 4 | 2 | 8 | 66 | 203 | 66 | |
| | | 173 | 9 | 4 | 3 | 5 | 56 | 249 | 78 | |
| 4 | | 224 | 1 | 1 | 3 | 4 | 79 | 311 | 78 | |
| | | 273 | 5 | 4 | 4 | 6 | 58 | 349 | 85 | |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 63 | |

| | | | | | | | | | | |
|------------|---|-----|---|---|---|----|-----|-----|-----------|----|
| CINCEL SB5 | 1 | 102 | 6 | 7 | 6 | 10 | 164 | 295 | 43 | |
| | | 51 | 7 | 6 | 3 | 20 | 216 | 304 | 25 | |
| | 2 | 26 | 8 | 2 | 2 | 9 | 149 | 196 | 22 | |
| | | 54 | 3 | 2 | 2 | 1 | 109 | 171 | 38 | |
| | 3 | 66 | 3 | 3 | 3 | 6 | 86 | 167 | 47 | |
| | | 54 | 5 | 3 | 4 | 9 | 86 | 161 | 42 | |
| | 4 | 47 | 4 | 3 | 8 | 9 | 74 | 145 | 42 | |
| | | 36 | 7 | 4 | 3 | 7 | 92 | 149 | 35 | |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= | 37 |

| | | | | | | | | | |
|-------------|---|----|----|---|---|---|----|-----|-----------|
| CINCEL MCC3 | 1 | 46 | 7 | 5 | 4 | 7 | 54 | 123 | 49 |
| | | 64 | 12 | 6 | 6 | 8 | 35 | 131 | 64 |
| | 2 | 47 | 9 | 5 | 5 | 6 | 57 | 128 | 49 |
| | | 32 | 12 | 5 | 7 | 9 | 42 | 107 | 47 |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= |

| | | | | | | | | | |
|-------------|---|----|----|---|---|----|-----|-----------|----|
| CINCEL SVH3 | 1 | 27 | 8 | 3 | 3 | 10 | 132 | 183 | 25 |
| | | 46 | 12 | 6 | 5 | 11 | 58 | 137 | 48 |
| | 2 | 34 | 8 | 4 | 4 | 8 | 74 | 131 | 37 |
| | | 61 | 11 | 6 | 5 | 10 | 57 | 150 | 54 |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 41 |

| | MUESTRAS | T1 (Kg) | T2 (Kg) | T3 (Kg) | T4 (Kg) | T5 (Kg) | Lona (Kg) | W. total(kg) | D.M.A (mm) | |
|--------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------------|------------|----|
| CINCEL SB53 | 1 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 65 | 78 | 13 | |
| | | 5 | 2 | 1 | 2 | 5 | 110 | 125 | 11 | |
| | 2 | 95 | 3 | 1 | 1 | 6 | 0 | 107 | 98 | |
| | | 1 | 4 | 4 | 2 | 8 | 105 | 125 | 10 | |
| | 3 | 104 | 5 | 2 | 2 | 3 | 107 | 224 | 54 | |
| | | 66 | 13 | 8 | 6 | 18 | 143 | 253 | 37 | |
| | 4 | 92 | 9 | 4 | 4 | 4 | 88 | 201 | 55 | |
| | | 86 | 11 | 5 | 3 | 7 | 65 | 177 | 60 | |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= | 42 |
| | CINCEL SB3 | 1 | 62 | 7 | 5 | 9 | 73 | 78 | 234 | 38 |
| | | | 53 | 7 | 3 | 3 | 8 | 87 | 161 | 43 |
| | | 2 | 55 | 11 | 6 | 4 | 14 | 88 | 178 | 43 |
| 16 | | | 3 | 3 | 3 | 7 | 83 | 114 | 23 | |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 37 | |
| CINCEL MCC5 | | 1 | 75 | 6 | 4 | 4 | 7 | 87 | 183 | 50 |
| | 90 | | 24 | 11 | 12 | 24 | 221 | 382 | 36 | |
| | 2 | 107 | 10 | 6 | 4 | 8 | 90 | 225 | 57 | |
| | | 15 | 3 | 2 | 3 | 3 | 80 | 106 | 23 | |
| | 3 | 37 | 9 | 3 | 3 | 10 | 82 | 144 | 37 | |
| | | 53 | 4 | 3 | 3 | 6 | 69 | 137 | 47 | |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 42 | |

| | | | | | | | | | | |
|--------------|---|----|---|---|---|----|-----|-----|-----------|----|
| CINCEL SVH95 | 1 | 13 | 4 | 3 | 2 | 14 | 187 | 224 | 14 | |
| | | 4 | 5 | 4 | 4 | 8 | 115 | 138 | 12 | |
| | 2 | 20 | 5 | 4 | 3 | 9 | 217 | 257 | 15 | |
| | | 60 | 8 | 4 | 4 | 14 | 105 | 194 | 41 | |
| | 3 | 85 | 7 | 4 | 3 | 8 | 199 | 306 | 35 | |
| | | 35 | 7 | 4 | 2 | 8 | 108 | 163 | 31 | |
| | 4 | 57 | 3 | 1 | 1 | 2 | 101 | 164 | 41 | |
| | | 22 | 1 | 3 | 3 | 11 | 105 | 145 | 23 | |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= | 27 |

| | | | | | | | | | |
|-------------|---|----|---|---|---|----|----|-----------|----|
| CINCEL SB53 | 1 | 12 | 4 | 3 | 3 | 7 | 66 | 96 | 23 |
| | | 4 | 2 | 2 | 3 | 10 | 64 | 85 | 14 |
| | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 | 15 | 67 | 92 | 11 |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 16 |

Tamaño medio de los agregados para en cincel MM R (*Rediseñado*) con puntas aladas.

| | MUESTRAS | T1 (kg) | T2 (Kg) | T3 (Kg) | T4 (kg) | T5 (kg) | Lona (kg) | W total (kg). | D.M.A (mm) | |
|---------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------------|------------|------|
| 1 ALAS | 1 | 74 | 25 | 15 | 17 | 30 | 100 | 261 | 45 | |
| | | 63 | 6 | 6 | 6 | 8 | 50 | 139 | 56,5 | |
| | | 5 | 10 | 6 | 5 | 8 | 46 | 80 | 25,5 | |
| | 2 | 13 | 4 | 4 | 4 | 4 | 49 | 78 | 28,8 | |
| | | 15 | 9 | 8 | 5 | 8 | 51 | 96 | 32,4 | |
| | | 5 | 7 | 4 | 9 | 14 | 85 | 124 | 17 | |
| | 3 | 5 | 0 | 4 | 3 | 10 | 96 | 118 | 11,8 | |
| | | 0 | 3 | 2 | 3 | 7 | 99 | 114 | 8,7 | |
| | | 3 | 3 | 3 | 3 | 8 | 97 | 117 | 11,6 | |
| | | | | | | | | | PROMEDIO= | 26,4 |
| | 2PF C ALAS | 1 | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 2 | 58 | 64 | 7,1 |
| | | | 0 | 3 | 2 | 2 | 2 | 56 | 65 | 10,5 |
| 1 | | | 2 | 1 | 2 | 2 | 34 | 42 | 13,2 | |
| 2 | | 4 | 6 | 1 | 2 | 6 | 26 | 45 | 26,9 | |
| | | 0 | 2 | 3 | 3 | 6 | 67 | 81 | 9,6 | |
| | | 0,5 | 3 | 1 | 2 | 4 | 61 | 72 | 10,5 | |
| 3 | | 0 | 3 | 3 | 3 | 4 | 61 | 74 | 10,8 | |
| | | 10 | 6 | 4 | 3 | 4 | 52 | 79 | 26,4 | |
| | | 2 | 5 | 2 | 3 | 7 | 56 | 75 | 15,3 | |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 14,5 | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|---|----|---|---|---|---|----|-----------|------|
| | | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 57 | 70 | 12,9 |
| | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 8 | 66 | 87 | 14 |
| | | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 84 | 95 | 10,3 |
| | | 12 | 3 | 4 | 4 | 7 | 94 | 124 | 18,8 |
| 1PF C ALAS | 2 | 0 | 3 | 2 | 3 | 6 | 57 | 71 | 10,8 |
| | | 0 | 2 | 3 | 3 | 6 | 56 | 70 | 10,4 |
| | | 12 | 3 | 2 | 3 | 6 | 88 | 114 | 19,2 |
| | 3 | 0 | 4 | 2 | 3 | 5 | 86 | 100 | 9,8 |
| | | 4 | 2 | 4 | 2 | 5 | 80 | 97 | 13 |
| | | | | | | | | PROMEDIO= | 13,2 |

Cuadros del área de suelo disturbado determinados mediante el perfilometro.

| CINCEL SVH 9/5 (5 cinceles a 50*50) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|-------|-----------|---------|-----------|--------|---------|------|---------|-------|--|---------|--|--------|
| CORRIDA 1 | | CORRIDA 2 | | CORRIDA 3 | | CORRIDA 4 | | | | | | | | | |
| Muestra | 1 | Muestra | 2 | Muestra | 1 | Muestra | 2 | Muestra | 1 | Muestra | 2 | | | | |
| 36 | | 7 | | 34 | | 15 | | 10 | | 10 | | | | | |
| 29 | | 21 | | 33.2 | | 26 | | 14 | | 30 | | | | | |
| 16.5 | | 27 | | 33.5 | | 25 | | 22 | | 34 | | | | | |
| 15.8 | | 23 | | 16 | | 19 | | 32 | | 31 | | | | | |
| 25.5 | | 20.5 | | 27 | | 12 | | 27 | | 12 | | | | | |
| 32.8 | | 30 | | 23.5 | | 20 | | 17 | | 16 | | | | | |
| 18.4 | | 31 | | 31 | | 23 | | 17 | | 31 | | | | | |
| 15 | | 10 | | 26.9 | | 14.5 | | 31 | | 38 | | | | | |
| 29.3 | | 10 | | 14.6 | | 10 | | 34 | | 21 | | | | | |
| 27.6 | | 18 | | 28.1 | | 19 | | 28 | | 12 | | | | | |
| 18.5 | | 28 | | 31.9 | | 21 | | 12 | | 7 | | | | | |
| 18.3 | | 22 | | 18.4 | | 15 | | 11 | | 39 | | | | | |
| 18.6 | | 20 | | 14.5 | | 11 | | 26 | | 40 | | | | | |
| 22.5 | | 20 | | 18.3 | | 14 | | 29.5 | | 29 | | | | | |
| 23.7 | | 21 | | 33.3 | | 12 | | 17 | | 21 | | | | | |
| 26.6 | | 30 | | 27.4 | | 27 | | 13 | | 22 | | | | | |
| 14 | | 28 | | 17.6 | | 21 | | 16 | | 41 | | | | | |
| 13.5 | | 21 | | 17.5 | | 13 | | 31 | | 33 | | | | | |
| 30.2 | | 10 | | 31.3 | | 17 | | 32 | | 30 | | | | | |
| 33 | | | | 37.5 | | 32 | | 25 | | 27 | | | | | |
| | | | | | | 35 | | 26 | | 31 | | | | | |
| | | | | | | 30 | | 27 | | 35 | | | | | |
| | | | | | | 15 | | 36 | | 25 | | | | | |
| promedio m ² | 0.4118 | | 0.361 | | 0.44785 | | 0.4105 | | 0.56 | | 0.606 | | 0.54875 | | 0.6025 |

Promedio = 0.49355 m²

| cincel SB53 | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 3 | | corrida 4 | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | |
| 11,5 | 25 | 24 | 10 | 11 | 18 | 29 | 21 | |
| 29 | 12 | 30 | 31 | 19 | 25 | 36,5 | 35 | |
| 14 | 13 | 30 | 33 | 31 | 9 | 30 | 35 | |
| 7 | 20 | 28 | 27 | 31 | 9,5 | 27 | 11 | |
| 5 | 29 | 24 | 11 | 32,5 | 8 | 15 | 14 | |
| 14 | 27 | 28 | 23 | 35 | 17 | 30 | 19 | |
| 18 | 10 | 29 | 32 | 37 | 22 | 32 | 38 | |
| 18,5 | 11 | 23,5 | 30 | 30 | 16 | 25 | 34 | |
| 10 | 20 | 22 | 9 | 24,5 | 14 | 18,5 | 19 | |
| 11 | 26 | 26 | 15 | 25 | 9,5 | 15 | 16,5 | |
| 17 | 20 | 35 | 23,5 | 29,5 | 19 | 17 | 21 | |
| 22 | 8 | 36 | 28,5 | 26 | 25 | 32 | 38 | |
| 8,5 | 5,5 | 30,5 | 38 | 26,5 | 19 | 25 | 38 | |
| 4,5 | 23 | 26 | 14 | 9 | 16 | 18,5 | 31 | |
| 4,5 | 30 | 24,5 | 4 | 8 | 16 | 15 | 34 | |
| 19,5 | 14,5 | 34 | 8 | 36 | 17 | 17 | 36,5 | |
| 18 | 10,6 | 36,5 | 34 | 40 | 29 | 32 | 39 | |
| 11 | 19,5 | 26 | 35 | 41 | 21 | 26 | 31 | |
| 8,5 | 31 | 27 | 31 | 36,5 | 14 | 25 | 22 | |
| 8,5 | 30 | 16,5 | 21,6 | 40 | 13 | 31 | 20 | |
| 17 | | 24 | 25 | 41 | 20 | 31 | 31 | |
| 6,5 | | 34,5 | 26,5 | 36,5 | 26 | 30 | 36 | |
| | | 30 | 11 | 32 | 15 | 16 | 28 | |
| | | | | 34,5 | | 16,5 | | |
| | | | | 38 | | 25,5 | | |
| | | | | 35 | | 35,5 | | |
| | | | | 9 | | 36,5 | | |
| | | | | | | 26 | | |
| | | | | | | 7 | | |
| PROMEDIO (M ²)= | 0,26 | 0,34 | 0,58 | 0,49 | 0,76 | 0,35 | 0,80 | 0,57 |
| PROMEDIO = 0.52 m ² | | | | | | | | |

| cincel MCC5 | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 3 | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | |
| 4,5 | 16 | 11,5 | 26 | 9 | 11 | |
| 35 | 32 | 31 | 24,5 | 24 | 32 | |
| 37,5 | 33 | 34,5 | 18 | 33 | 29 | |
| 38,5 | 15 | 25 | 14,5 | 32 | 20 | |
| 26,5 | 15,5 | 16 | 31 | 9 | 19 | |
| 27,5 | 28 | 19 | 18 | 6 | 24 | |
| 34,5 | 35,5 | 31 | 9 | 19 | 32 | |
| 34 | 26 | 33,5 | 5 | 31 | 25 | |
| 28,5 | 18 | 16 | 29 | 27 | 19 | |
| 26 | 18 | 18 | 33 | 14 | 18 | |
| 27,5 | 27 | 23,5 | 16,5 | 20 | 32 | |
| 36,5 | 34 | 30,5 | 5 | 31 | 36 | |
| 37,5 | 27 | 34 | 7 | 35 | 29 | |
| 27,5 | 9 | 29 | 15 | 28 | 14 | |
| 23 | 9 | 25 | 33 | 19 | 16 | |
| 29 | 12 | 22,5 | 26 | 15 | 25 | |
| 36 | 29 | 27 | 18 | 22 | 35 | |
| 33,5 | 19 | 32 | 17 | 30 | 34 | |
| 27,5 | 11 | 19,5 | 34 | 32 | 17 | |
| 26 | 8 | 20 | 18 | 27 | 22 | |
| 21 | 25 | 13 | | 26 | 37 | |
| 28 | 27 | 19 | | 26 | 38 | |
| 28,5 | 10 | 23 | | 33 | 20 | |
| | | 12,5 | | 30 | | |
| | | | | 19 | | |
| PROMEDIO (M ²)= | 0,51 | 0,44 | 0,53 | 0,36 | 0,56 | 0,46 |

PROMEDIO = 0.48 m²

| cincel MCC7 | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 3 | | corrida 4 | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | |
| 23 | 20 | 13 | 27 | 24,6 | 21 | 9,7 | 24 | |
| 27 | 26 | 26 | 30 | 22,2 | 27 | 17,9 | 21,5 | |
| 28 | 25,5 | 14,5 | 15 | 14,8 | 28,5 | 18,5 | 19 | |
| 26 | 22,5 | 14 | 21 | 17,7 | 20 | 17,9 | 22,5 | |
| 20 | 20,5 | 14,5 | 27 | 14,2 | 25 | 15 | 25,5 | |
| 22 | 27 | 21,5 | 19 | 20,5 | 21 | 14,6 | 20 | |
| 28 | 25 | 26 | 28 | 19,7 | 25 | 18 | 23,5 | |
| 25,5 | 12 | 24 | 26 | 25,4 | 29,5 | 26,3 | 21,5 | |
| 23,5 | 15 | 14,5 | 18,5 | 22,6 | 25,5 | 27,7 | 21 | |
| 27 | 22,5 | 27,5 | 25,5 | 28,5 | 23 | 17,1 | 21,5 | |
| 24,5 | 16 | 21 | 17 | 29,5 | 27 | 17,8 | 23,5 | |
| 24 | 15 | 14,5 | 18 | 26 | 21,5 | 13,3 | 21 | |
| 26,5 | 30 | 26 | 26,5 | 32,3 | 25,5 | 14 | 25 | |
| 14 | 24,5 | 16 | 20 | 32 | 28 | 16,5 | 24 | |
| 17,5 | 21 | 19 | 23,5 | 35,5 | 26 | 13,3 | 23,5 | |
| 27 | 23 | 27 | 25 | 25,7 | 26 | 12,6 | 29 | |
| 18 | 16,5 | 17 | 16,5 | 20,4 | 23 | 12,7 | 25 | |
| 21 | 10 | 18,5 | 13 | 23,5 | 23 | 14,2 | 25 | |
| 28 | 20 | 23 | 26 | 31,3 | 28 | 21 | 26 | |
| 13 | 26 | 26,5 | 20,5 | 28,3 | 27,5 | | 20 | |
| | 15,5 | 20 | | | | | | |
| PROMEDIO (M ²)= | 0,42 | 0,40 | 0,39 | 0,40 | 0,44 | 0,45 | 0,28 | 0,42 |
| PROMEDIO = 0.40 m ² | | | | | | | | |

| cincel SVH95 | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 3 | | corrida 4 | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | |
| 16,5 | 19 | 11,1 | 8,5 | 15,8 | 11 | 18,9 | 10 | |
| 28 | 27 | 20,9 | 31,7 | 29,5 | 15,8 | 30 | 32,5 | |
| 24,5 | 24,5 | 20,3 | 32,4 | 29,3 | 20 | 28 | 33,3 | |
| 27,5 | 23,5 | 28,5 | 30,5 | 22 | 26,5 | 29 | 32,5 | |
| 29,5 | 28,5 | 20,9 | 31,8 | 21 | 27,7 | 29,7 | 32,3 | |
| 31 | 25,5 | 26 | 36 | 30 | 27 | 29,5 | 35 | |
| 23 | 20,5 | 23,5 | 30,5 | 27,6 | 25 | 31 | 32 | |
| 20 | 25 | 22,6 | 31,5 | 23,7 | 24,5 | 30,9 | 37,5 | |
| 20 | 21,5 | 24,3 | 34,8 | 24,3 | 25 | 22,3 | 32 | |
| 19,5 | 21,5 | 19,7 | 34,4 | 24,4 | 23,5 | 20,7 | 31,4 | |
| 14,9 | 21,8 | 13,9 | 30,3 | 23,1 | 23,7 | 31,1 | 39,4 | |
| 15,3 | 26 | 15,2 | 33 | 30 | 22,9 | 29,5 | 31 | |
| 28,7 | 20,5 | 16,5 | 36,5 | 34 | 22,9 | 26,5 | 32 | |
| 29,4 | 17,5 | 25,3 | 35,6 | 35,1 | 24 | 13,3 | 33,3 | |
| 25,4 | 25 | 24,3 | 36,3 | 28,7 | 24,3 | 17 | 19,5 | |
| 25,4 | 26,5 | 25,9 | 33,3 | 26,7 | 24,8 | 18,2 | 16,2 | |
| 30,6 | 26,8 | 24,4 | 34,3 | 23,2 | 23,9 | 20,5 | 32,4 | |
| 25,2 | 22,7 | | 36,4 | 26,7 | 27,8 | 24,8 | 5,3 | |
| 12,5 | 14,3 | | | | 4,5 | 6,5 | | |
| | 15,2 | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | |
| PROMEDIO (M ²)= | 0,40 | 0,43 | 0,33 | 0,53 | 0,43 | 0,39 | 0,41 | 0,45 |
| PROMEDIO = 0.42 m ² | | | | | | | | |

| cincel SB5 | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 3 | | corrida 4 | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | |
| 24 | 8 | 16 | 10 | 10 | 25 | 8 | 10 | |
| 37 | 17 | 36 | 38 | 34,5 | 36 | 9,5 | 29 | |
| 34 | 36 | 43 | 38 | 36 | 33 | 39 | 33 | |
| 32 | 32 | 41 | 36 | 30 | 36 | 36,5 | 32 | |
| 34 | 31 | 41 | 38 | 33 | 34 | 35 | 34 | |
| 35 | 36 | 38 | 35 | 37 | 30 | 40 | 31 | |
| 31 | 30 | 35 | 30 | 33 | 29 | 36 | 30 | |
| 36 | 29 | 35 | 33 | 34 | 32 | 38 | 32 | |
| 33 | 35 | 38,5 | 36 | 36 | 29 | 39 | 34 | |
| 32 | 36 | 34 | 30 | 33 | 33 | 37 | 31 | |
| 35 | 30 | 31 | 32 | 32 | 33 | 34 | 30 | |
| 35 | 32 | 38 | 35 | 34 | 30 | 36 | 34 | |
| 32 | 38 | 38 | 34 | 34 | 33 | 40 | 35 | |
| 36 | 35 | 40 | 33 | 34 | 35 | 36 | 32,5 | |
| 38 | 37 | 41 | 36 | 36 | 20 | 35 | 34 | |
| 14 | 35 | 34 | 23 | 29 | | 38 | 33 | |
| | 16 | 11 | 10 | 7 | | 9 | 13 | |
| | 9 | | | | | | | |
| PROMEDIO (M ²)= | 0,45 | 0,48 | 0,55 | 0,49 | 0,48 | 0,41 | 0,50 | 0,47 |

PROMEDIO = 0.48 m²

| cincel MCC3 | | | | SVH3 | | | | SB3 | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 1 | | corrida 2 | | corrida 1 | | corrida 2 | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 1 | muestra 2 |
| 7 | 8 | 9,5 | 20 | 8 | 3 | 5 | 7 | 28 | 13 | 5 | 10 |
| 26 | 17 | 30 | 28 | 36 | 17 | 14 | 25 | 27 | 31 | 30 | 7 |
| 30 | 26 | 28 | 25 | 35 | 29 | 27 | 28 | 22 | 29 | 29 | 28 |
| 28 | 23 | 25 | 20 | 29 | 17 | 31 | 25 | 23 | 27 | 26 | 29 |
| 33 | 23 | 31 | 25 | 31 | 17 | 23 | 28 | 33 | 32 | 30 | 30 |
| 28 | 25 | 27 | 20 | 39 | 26 | 19 | 23 | 21 | 32 | 30 | 26 |
| 29 | 23 | 25 | 22 | 36 | 26 | 30 | 24 | 24 | 24 | 26 | 25 |
| 28 | 22 | 28 | 25 | 32 | 20 | 24 | 37 | 32 | 28 | 30 | 31 |
| 16 | 25 | 13 | 15 | 40 | 20 | 20 | 27 | 22 | 29 | 31 | 12 |
| | 7 | | | 42 | 29 | 29 | 9 | 3 | 13 | | 5 |
| | | | | 20 | 17 | 30 | 2 | | 5 | | |
| | | | | | | 25 | | | | | |
| | | | | | | 5 | | | | | |
| 0,2135 | 0,1787 | 0,20525 | 0,1825 | 0,334 | 0,211 | 0,247 | 0,2305 | 0,2195 | 0,254 | 0,219 | 0,1955 |

PROMEDIO = 0.19 m²

PROMEDIO = 0.26 m²

PROMEDIO = 0.22 m²

Cuadros de los perfiles del cincel MMC R con puntas aladas con diferentes arreglos.

| | 1 CINCEL ALAS | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | CORRIDA 1 | | | CORRIDA 2 | | | CORRIDA 3 | | |
| | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 |
| | 9 | 7,5 | 7,5 | 9,5 | 9 | 12 | 10 | 8,5 | 9,5 |
| | 19,5 | 12,5 | 19 | 15,5 | 17 | 20 | 17 | 11 | 20,5 |
| | 25 | 20 | 30 | 29 | 26 | 27,5 | 27 | 24 | 29 |
| | 33 | 33 | 34 | 33,5 | 37,5 | 36,8 | 37 | 37,5 | 35 |
| | 42 | 39,5 | 23,5 | 27 | 24,5 | 40,5 | 42 | 37 | 28,5 |
| | 40 | 27 | 15 | 16 | 13 | 31,5 | 29 | 26 | 20 |
| | 38 | 19 | 11 | 8 | | 21,5 | 9,5 | 16 | 12 |
| | 23 | 13 | 8,5 | | | 14 | | 10 | 9,5 |
| | 22,5 | 7,5 | | | | | | | |
| | 11 | | | | | | | | |
| PROMEDIO m ² | 0,25 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,12 | 0,19 | 0,16 | 0,16 | 0,15 |

PROMEDIO = 0,16 m²

| 1PF C ALAS | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| CORRIDA 1 | | | CORRIDA 2 | | | CORRIDA 3 | | | |
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | |
| 6 | 7,5 | 2 | 29 | 10 | 3,5 | 5 | 10 | 11 | |
| 31 | 30,5 | 42 | 38 | 20,5 | 29 | 31 | 24 | 26 | |
| 31 | 30 | 41 | 26 | 29 | 30 | 35 | 34,5 | 36 | |
| 24,5 | 24 | 31 | 27 | 26 | 22 | 33 | 31,5 | 33 | |
| 31,5 | 30 | 38 | 38,5 | 27 | 20 | 35 | 23,5 | 39 | |
| 34 | 32 | 39 | 33 | 31,5 | 32 | 43 | 31,5 | 48 | |
| 32,5 | 28,5 | 31 | 24,5 | 31 | 30 | 43 | 40,5 | 47,5 | |
| 22 | 22 | 30 | 31,5 | 25 | 22 | 28 | 33,5 | 43 | |
| 26 | 28 | 29 | 38,5 | 22 | 27 | 36 | 30,5 | 37 | |
| 23 | 24,5 | 21 | 30 | 24,5 | 28,5 | 37 | 36,5 | 45 | |
| 2 | 10 | 8 | 17,5 | 26,5 | 14 | 25 | 33 | 43 | |
| | | | 9 | | | 9 | 2,5 | 8 | |
| PROMEDIO m ² | 0,26 | 0,26 | 0,31 | 0,32 | 0,25 | 0,25 | 0,35 | 0,33 | 0,41 |

PROMEDIO = 0,30 m²

| CORRIDA 1 | | | 2PF C ALAS CORRIDA 2 | | | CORRIDA 3 | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | muestra 1 | muestra 2 | muestra 3 | |
| 13 | 10 | 7 | 6 | 17 | 17 | 12 | 10 | 12 | |
| 22 | 20 | 14 | 16 | 26 | 30 | 21 | 12 | 16 | |
| 23 | 19 | 18 | 17 | 24,5 | 31 | 29 | 14 | 19 | |
| 28 | 28 | 25 | 30 | 33 | 41 | 33 | 28 | 27,5 | |
| 28,5 | 38 | 30 | 33 | 38 | 45 | 32 | 34 | 30 | |
| 25 | 30 | 17 | 26 | 38 | 41 | 34 | 35 | 35,5 | |
| 18 | 25 | 16 | 20 | 20 | 36 | 27 | 26 | 41 | |
| 19 | 25 | 15 | 17 | 18 | 32 | 22 | 23 | 36 | |
| 12 | 22 | | 10 | 7 | 28 | 19 | 20 | 30 | |
| | 10 | | | | 11 | 5 | 6 | 19 | |
| | | | | | | | | 24 | |
| | | | | | | | | 11 | |
| PROMEDIO= m ² | 0,18 | 0,22 | 0,13 | 0,17 | 0,21 | 0,30 | 0,23 | 0,20 | 0,29 |

PROMEDIO = 0,21 m²