

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**



Título

Evaluación de diferentes arreglos de labranza vertical para  
incrementar la calidad de la cama de siembra

Por:

**AMAURY ARREOLA CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de diferentes arreglos de labranza vertical para  
incrementar la calidad de la cama de siembra

Por:

**AMAURY ARREOLA CRUZ**

T E S I S

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

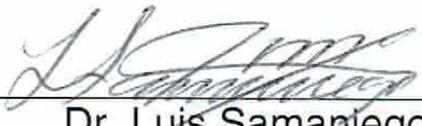
**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobada por:

Dr. Santos G. Campos Magaña  
Asesor Principal

  
MC. Héctor Uriel Serna Fernández  
Coasesor

  
MC. Rosendo González Garza  
Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"  
Coasesor

  
Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería

  
Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2017

## **Agradecimientos**

Primeramente, a **Dios** por darme la vida y las fuerzas para seguir adelante, a pesar de las adversidades que se presentaron en este camino hacia uno de mis sueños, por guiar mis pasos y cuidar de mí, por darme una familia maravillosa y por todas las bendiciones que me ha regalado.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** mi **ALMA TERRA MATER**, por darme la oportunidad de ingresar y cumplir mis sueños, es un orgullo y privilegio haberme formado profesionalmente en sus instalaciones, por las buenas personas que conocí dentro de esta.

**AL PERSONAL ACADÉMICO** por el apoyo prestado y el tiempo que se tomaron para que pudiera culminar esta etapa de mi vida.

**A MI FAMILIA ARREOLA CRUZ** por el apoyo, por los ánimos y los consejos para que pudiera realizar mis sueños, que se, también es parte de ellos.

**A MIS MAESTROS** por transmitir sus conocimientos, apoyo y confianza.

MC. Juan Antonio Guerrero Hernández.

Ing. Rosendo Gonzalez Garza

Dr. Martín Cadena Zapata.

MC. Genaro Demuner Molina

MC. Blanca Elizabeth De La Peña Casas.

MC. Tomas Gaytán Muñiz

A César Alvarado Plascencia, mi amigo, que siempre estuvo en los buenos y malos momentos, y a pesar de tener diferencias superamos los obstáculos de la vida y académicos, junto con mis demás compañeros de clase, Luis Alonso, Fernando Sebastián, Bartolomé, Misael, Ramón.

**AL M.C. HÉCTOR URIEL SERNA FERNÁNDEZ** por sus consejos, por su amistad, por ser una muy buena persona y un excelente profesor, por su confianza, amabilidad y paciencia por el apoyo en todo momento, y por la motivación que aporta para seguir adelante con mi formación académica y de mi vida personal.  
**GRACIAS!!!**

**AL DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA-** por ser un excelente profesor y asesor, por aceptarme en el proyecto de tesis y brindarme su confianza, por su paciencia y tiempo dedicado en transmitirme sus conocimientos, que ahora con su experiencia he aprendido a manejar nuevas herramientas que han sido parte fundamental y me seguirán siendo útiles en el proceso de mi vida profesional.

## **Dedicatoria**

### **A MIS PADRES**

**Alfredo Arreola Ruíz**

**María Isabel Cruz González**

Este trabajo se los dedico a ustedes que nunca dejaron de creer en mí y estuvieron conmigo en todo momento, agradezco la oportunidad de continuar con mis estudios, sé que hicieron un gran esfuerzo para que este sueño se cumpla, gracias por esas palabras de aliento que me dieron fuerzas para continuar, por los consejos espero nunca defraudarlos, y no olviden que los amo. Es un privilegio y soy feliz de ser su hijo y que ustedes sean mis padres.

### **A MI HERMANO**

**Franklin Alfredo Arreola Cruz**

Por el apoyo que me brindaste, por las palabras de ánimo, gracias por ese apoyo que siempre has tenido hacia mí, por la amistad que nos une. Deseo que siempre estemos unidos, que Dios te bendiga a ti y a tu familia, tu esposa Paola y Jonathan tu hijo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO .....	I
INDICE DE FIGURAS .....	IV
INDICE DE CUADROS .....	VII
RESUMEN .....	IX
I.- INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.- Objetivo general .....	3
1.2.- Objetivos específicos .....	3
1.3.- Hipótesis .....	3
II.- REVISION DE LITERATURA .....	4
2.1.- LABRANZA.....	4
2.1.1.- Sistemas de labranza vertical .....	4
2.1.2.- Ventajas de la labranza vertical .....	6
2.2.- Modo de acción de los cinceles .....	8
2.2.1.- Formas de cinceles .....	9
2.3.- Profundidad crítica .....	9
2.4.- Consumo de energía en la labranza .....	14
2.5.- Fuerzas que actúan sobre una herramienta de labranza.....	19
2.5.1.- Análisis de esfuerzos .....	22
2.5.2.- Transductores de fuerza .....	23
2.6.- Patinaje.....	25
2.7.- Consumo de combustible .....	27
2.7.1.- Medición del consumo de combustible.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31

3.1.- Equipo empleado en la evaluación.....	31
3.2.- Fase I: Laboratorio .....	33
3.2.1.-Acondicionamiento de marco Bison 357 .....	33
3.2.2.- Perfilometro .....	34
3.2.2.- Familiarización con el equipo a utilizar .....	35
3.2.3.- Software utilizado .....	36
3.3.- Fase de Campo.....	36
3.3.1.- Arreglos evaluados.....	36
3.3.3.- Ubicación .....	39
3.3.4.- Área de la labor .....	40
IV.- RESULTADOS .....	42
4.1.-Evaluación en campo.....	42
4.2.- Resultados del análisis espectral .....	43
4.3.- Resultados de las fuerzas obtenidas .....	44
4.3.1.- Análisis de varianza para las fuerzas .....	45
4.4.- Resultados de energía demandada .....	47
4.4.1.- Análisis de varianza para la demanda de energía .....	49
4.5.- Resultados del levantamiento de los perfiles.....	51
4.6.- Analisis de varianza de las áreas .....	54
4.7.- Esfuerzo especifico .....	55
4.8.- Arreglos CA30-3 y CA45-3 .....	57
4.8.1.- Resultados de lectura de perfiles .....	58
4.8.2.- Análisis de varianza de las áreas con remoción del suelo .....	60
V.- CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES .....	62
VI.- LITERATURA CITADA.....	63

VII.- ANEXOS .....	70
7.1.- Graficas de los mV demandados en la labor, para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2. ....	70
7.2.- Resultados de los mV, que se calcularon con el análisis espectral para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2. ....	72
7.4.- Lectura de los perfiles para calcular el área disturbada de cada repetición. ....	80
7.5.- Áreas disturbadas de cada arreglo.....	83
7.6.- Programa analisis3.m generado en MatLab 2010. ....	95
7.7.- Pasos para procesar los datos y hacer el análisis espectral.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Una comparación entre un muro de contención y una falla de suelo con cuchilla de corte ( McKyes, 1989).....	10
Figura 2. 2. La diferencia en movimiento patrón de suelo entre una cuchilla ancha y una cuchilla de corte estrecha (McKyes, 1988).....	10
Figura 2. 3. Modelo de falla tridimensional (McKyes y Ali, 1977) .....	11
Figura 2. 4. Ilustración de la profundidad crítica en el corte del suelo (O'Callaghan y Farrelly, 1964).....	11
Figura 2. 5. El modelo de la fuerza para la falla de profundidad crítica (Godwin, 1974) ...	13
Figura 2. 6. Patinaje en los tractores.....	26
Figura 2. 7. Consumo de combustible l ha-1 .....	27
Figura 3. 1. Diagrama del sistema de adquisición de datos .....	32
Figura 3. 2. Diagrama de flujo.....	32
Figura 3. 3. Acondicionamiento de cincel trasero.....	33
Figura 3. 4. Marco acondicionado vista frontal .....	34
Figura 3. 5. Marco acondicionado vista lateral .....	34
Figura 3. 6. Perfilometro acondicionado con barrenos a 5 cm de separación .....	35
Figura 3. 7. Sistema de adquisición de datos.....	35
Figura 3. 8. Acondicionador de señal DBK 43 A .....	36
Figura 3. 9. Cambio de alas del cincel trasero .....	37
Figura 3. 10. Corrida con alas de 30 cm .....	38
Figura 3. 11. Vista aérea de la ubicación de trabajo con SA .....	39
Figura 3. 12. Vista aérea de la ubicación de trabajo con CA30 y CA45. ....	39
Figura 3. 13. Toma de perfil de la labranza.....	40
Figura 4. 1. Evaluación de SA. ....	42
Figura 4. 2. Evaluación de CA30 y CA45.....	42
Figura 4. 3. Gráficas obtenidas para SA y CA30-1.....	43
Figura 4. 4. Espectral de las fuerzas de reacción del suelo para el octagonal amarillo SAR1.....	43
Figura 4. 5. Oct Amarillo SAR1 desplazando valores a cero. ....	44
Figura 4. 6. Diferencia de medias de la fuerza de tiro. ....	46
Figura 4. 7. Límites para el análisis de demanda de energía de CA30-1R1. ....	47
Figura 4. 8. Demanda de energía de CA30-1R1. ....	48

Figura 4. 9. Diferencias de medias.....	50
Figura 4. 10. Toma de lectura de los perfiles del área disturbada.....	51
Figura 4. 11. Programa elaborado en MatLab R2010.....	52
Figura 4. 12. Área disturbada CA30-2R2P2.....	53
Figura 4. 13. Diferencia de medias de las áreas.....	55
Figura 4. 14. Diferencia de medias de la energía específica.....	57
Figura 4. 15. Remoción de la perturbación del suelo.....	57
Figura 4. 16. Toma de lectura del perfil con el suelo removido.....	58
Figura 4. 17. Área disturbada CA45-3R1P2.....	59
Figura 4. 18. Diferencia de medias de las áreas.....	61
Figura 7. 1. Gráficas de mV para SA.....	70
Figura 7. 2. Gráficas de mV para CA30-1.....	70
Figura 7. 3. Gráficas de mV para CA30-2.....	71
Figura 7. 4. Gráficas de mV para CA45-1.....	71
Figura 7. 5. Demanda de energía de SAR2.....	73
Figura 7. 6. Demanda de energía de SAR3.....	73
Figura 7. 7. Demanda de energía de CA30-1R1.....	74
Figura 7. 8. - Demanda de energía de CA30-1R2.....	74
Figura 7. 9. Demanda de energía de CA30-1R3.....	75
Figura 7. 10. Demanda de energía de CA30-2R1.....	75
Figura 7. 11. Demanda de energía de CA30-2R2.....	76
Figura 7. 12. Demanda de energía de CA30-2R3.....	76
Figura 7. 13. Demanda de energía de CA30-2R3.....	77
Figura 7. 14. Demanda de energía de CA45-1R2.....	77
Figura 7. 15. Demanda de energía de CA45-1R2.....	78
Figura 7. 16. Demanda de energía de CA45-2R1.....	78
Figura 7. 17. Demanda de energía de CA45-2R2.....	79
Figura 7. 18. Demanda de energía de CA45-2R3.....	79
Figura 7. 19. Área disturbada SAR2P1.....	83
Figura 7. 20. Área disturbada SAR2P3.....	83
Figura 7. 21. Área disturbada SAR3P1.....	84
Figura 7. 22. Área disturbada CA30-1R1P2.....	84
Figura 7. 23. Área disturbada CA30-1R2P3.....	84

Figura 7. 24. Área disturbada CA30-2R1P1 .....	85
Figura 7. 25. Área disturbada CA30-2R2P3.....	85
Figura 7. 26. Área disturbada CA30-2R2P2.....	85
Figura 7. 27. Área disturbada CA30-2R3P3.....	86
Figura 7. 28. Área disturbada CA45-1R1P2.....	86
Figura 7. 29. Área disturbada CA45-1R2P2.....	86
Figura 7. 30. Área disturbada CA45-1R3P3.....	87
Figura 7. 31. Área disturbada CA45-2R1P1 .....	87
Figura 7. 32. Área disturbada CA45-2R2P2.....	87
Figura 7. 33. Área disturbada CA45-2R3P2.....	88
Figura 7. 34. Área disturbada 30-3R1P1 .....	88
Figura 7. 35. Área disturbada 30-3R1P2.....	88
Figura 7. 36. Área disturbada 30-3R1P3.....	89
Figura 7. 37. Área disturbada 30-3R2P1 .....	89
Figura 7. 38. Área disturbada 30-3R2P2.....	89
Figura 7. 39. Área disturbada 30-3R3P1 .....	90
Figura 7. 40. Área disturbada 30-3R3P2.....	90
Figura 7. 41. Área disturbada 30-3R3P3.....	90
Figura 7. 42. Área disturbada 45-3R1P1 .....	91
Figura 7. 43. Área disturbada 45-3R1P2.....	91
Figura 7. 44. Área disturbada 45-3R1P3.....	91
Figura 7. 45. Área disturbada 45-3R2P1 .....	92
Figura 7. 46. Área disturbada 45-3R2P2.....	92
Figura 7. 47. Área disturbada 45-3R2P3.....	92
Figura 7. 48. Área disturbada 45-3R3P1 .....	93
Figura 7. 49. Área disturbada 45-3R3P2.....	93
Figura 7. 50. Área disturbada 45-3R3P3.....	93
Figura 7. 51. Área disturbada SAR1 .....	94
Figura 7. 52. Área disturbada SAR2 .....	94
Figura 7. 53. Área disturbada SAR3 .....	94

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1. .- Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989) .....	7
Cuadro 2. 2. Determinación de fuerza de tiro en diferentes implementos integrales, (Hunt, 1983).....	20
Cuadro 2. 3. Media de las fuerzas y momentos en un subsolador, (Garner et al., 1988).....	20
Cuadro 2. 4. Rango de fuerzas de implementos, (ASAE D230, 1997).....	21
Cuadro 2. 5. Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento, (Fc: Fuerza en la barra de comprensión y FT: fuerza en el tiro. Marín, 2003).....	22
Cuadro 3. 1. Características del material empleado para la evaluación.....	31
Cuadro 3. 2. Arreglos a evaluar en campo. ....	37
Cuadro 3. 3. Constantes de los octagonales utilizados.....	38
Cuadro 3. 4. Ejemplo de variables de los perfiles a medir de las repeticiones .....	40
Cuadro 4. 1. Fuerza de tiro para cada arreglo.....	45
Cuadro 4. 2. Análisis de varianza para la fuerza de tiro. ....	45
Cuadro 4. 3. Medias y desviación estándar para la fuerza de tiro. ....	45
Cuadro 4. 4. Arreglos estadísticamente iguales. ....	46
Cuadro 4. 5. Demanda de energía de cada repetición en J.....	48
Cuadro 4. 6. Demanda de energía en MJ/ha.....	49
Cuadro 4. 7. Análisis de varianza para la demanda de energía. ....	49
Cuadro 4. 8. Medias y desviación estándar de la demanda de energía.....	49
Cuadro 4. 9. Arreglos estadísticamente iguales de la demanda de energía. ....	50
Cuadro 4. 10. Lectura de los perfiles, para el área disturbada. ....	51
Cuadro 4. 11. Medias de áreas disturbadas de cada repetición.....	53
Cuadro 4. 12. Medias y desviación estándar de las áreas.....	54
Cuadro 4. 13. Arreglos estadísticamente iguales de las áreas.....	54
Cuadro 4. 14. Energía específica de cada arreglo (kN/m <sup>2</sup> ). ....	55
Cuadro 4. 15. Medias y desviación estándar de la energía específica.....	56
Cuadro 4. 16. Arreglos estadísticamente iguales de la energía específica .....	56
Cuadro 4. 17. Media de las lecturas de los perfiles para CA30-3 y CA45-3. ....	59

Cuadro 4. 18. Área disturbada para CA30-3.....	59
Cuadro 4. 19. Área disturbada para CA45-3.....	60
Cuadro 4. 20. Área disturbada para SA. ....	60
Cuadro 4. 21. Áreas disturbadas para CA30-3, CA45-3 y SA en m2. ....	60
Cuadro 4. 22. Medias y desviación estándar de las áreas con remoción del suelo. .....	61
Cuadro 4. 23. Arreglos estadísticamente iguales de las áreas con remoción del suelo. ....	61
Cuadro 7. 1. Voltaje demandado de cada octagonal.....	72
Cuadro 7. 2. Fuerza demandada de cada arreglo en kN. ....	72
Cuadro 7. 3. Lectura de los perfiles SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2. ....	80
Cuadro 7. 4. Lectura de los perfiles para CA30-3 y CA45-3. ....	82

## RESUMEN

Este trabajo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, consistió en la evaluación de diferentes arreglos de cinceles para labranza vertical. Comparando arreglos de alas para dos diferentes anchos y tres diferentes ángulos. Buscando determinar cuál de los arreglos tiene menor resistencia específica al laboreo. Para esto se adecuó un bastidor con un arreglo de tres cinceles, dos frontales trabajando a 0.25 m de profundidad sin alas, espaciados a 0.60 m, y un cincel trasero en la parte posterior del bastidor en la parte media de los dos frontales, trabajando a 0.40 m de profundidad, a este se le colocaron alas teniendo un ancho de 0.30 m y 0.45 m, con tres diferentes ángulos a 10 °, - 8° y a 5°. Para esto se hicieron evaluaciones en campo, con parcelas de 50 m de largo y 2 m de ancho, con tres replicas cada una. Los datos que se midieron fueron la fuerza de tiro, registrada en un sistema de adquisición de datos, de la marca lotech, empleando un transductor integral, con octagonales extendidos con capacidad de 40 kN. Los resultados muestran que no existe diferencia significativa entre la fuerza demandada para los arreglos con alas con 23.41 kN, existiendo diferencia estadística de estas dos con respecto al cincel sin alas con 9.57 kN. Se determinó que la mayor demanda de energía por hectárea está dada por los arreglos CA, con una media de 6.53 MJ/ha, existiendo diferencia significativa con el arreglo SA cuyo valor medio fue de 4.575 MJ/ha. así mismo, el análisis estadístico de los perfiles de disturbación muestra que las áreas son estadísticamente iguales para todos los arreglos con una media 0:25 m<sup>2</sup>. Finalmente existe diferencia significativa en el esfuerzo específico (EE) mostrando el arreglo CA45-1 el mayor (EE) con 102.37 kN m<sup>-2</sup> en comparación con el arreglo SA con una (EE) de 40.05 kN m<sup>-2</sup>.

**Palabras clave.** Bastidor, transductor integral, octagonales extendidos.

## I.- INTRODUCCIÓN

Para las labores de establecimiento de cultivos, actualmente se requiere un gran consumo de energía en forma de combustible. Es importante señalar, que los recientes logros en el rendimiento de los cultivos no son suficientes en comparación con el alto costo de energía consumida; por lo tanto, es necesario optimizar los recursos utilizados en actividades que requieren los mayores costos en la producción agrícola, tales como la labranza del suelo, considerada como la actividad agrícola que requiere la mayor cantidad de energía en la producción de alimentos en el mundo (IDAE, 2006; Adeyowin y Ajav, 2013).

En México, no se es ajeno a esta problemática, por el contrario, a nivel nacional existe una alta demanda en la producción de alimentos del 33.5 por ciento de la superficie sembrada, según registros de la balanza agroalimentaria del año 2012 y publicados por (CEFP, 2013). En el país, actualmente se destinan 10 millones de hectáreas a la producción de cultivos básicos (maíz, trigo, frijol y arroz), mismos granos en el que se presenta.

En la actualidad, se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía, la conservación de los recursos del suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo que ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos.

La labranza primaria adquiere gran importancia en la preparación del suelo debido a que provoca cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas en el mismo. Esta labor debe favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la degradación de este. La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de labranza de conservación (no inversión del suelo), incluyendo a la labranza vertical, 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 (Camacho y Rodríguez, 2007).

De acuerdo con Aluko y Seig (2000) el movimiento del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión por 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 el trabajo con cinceles existe una profundidad crítica, en la cual no existe remoción lateral de suelo, y que esta depende del ancho de trabajo del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo.

Para trabajar a profundidades mayores a la profundidad crítica, es recomendable el uso de alas laterales acopladas a los cinceles en la punta de ellos, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo. Por otra parte, es la actividad agrícola que demanda la mayor cantidad de combustible fósil (IDAE, 2006).

Raper y Bergtold (2007), menciona que se puede hacer mucho para disminuir el costo de las operaciones con labranza vertical, vía a reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la adecuada profundidad de trabajo y humedad en el perfil del suelo. Diferentes estudios realizados muestran que, en el manejo apropiado de una labor agrícola, puede conseguirse una disminución en el consumo de combustible de hasta un 30 por ciento (IDAE, 2006).

Debido a esto, el presente proyecto tiene como propósito comparar el laboreo vertical tradicional con el laboreo utilizando alas expansoras en términos de la calidad que ofrecen cada uno, en la fuerza de tiro, y el área disturbada utilizando un perfilometro.

### **1.1.- Objetivo general**

Evaluar diferentes arreglos de equipo para labranza vertical, para la reducción de la energía aplicada al laboreo.

### **1.2.- Objetivos específicos**

Adecuar un marco Bison modelo 357 para labranza vertical, empleando tres cinceles, dos someros y uno profundo con alas de diferentes anchos.

Determinar la calidad de labor y las fuerzas aplicadas a diferentes arreglos de labranza vertical.

### **1.3.- Hipótesis**

Mediante el uso de diferentes arreglos en la labranza es factible la reducción de consumo de energía e incrementar el área disturbada en comparación con el sistema tradicional.

## II.- REVISION DE LITERATURA

### 2.1.- LABRANZA

La labranza es la manipulación mecánica del suelo, para la producción de cultivos en la agricultura (ASAE standarts, 2002). Sin embargo, existen efectos directos e indirectos que se logran con la labranza, entre los cuales se encuentran: facilitar la producción de los cultivos, el control de malezas, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil, además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes, pesticidas, entre otros (Hoogmoed, 1999a).

El hombre incorpora la labranza cuando intenta controlar la vegetación natural, con el fin de poder desarrollar especies de su interés. Los principales objetivos de la labranza son el control de malezas, preparación de la cama de siembra y el acondicionamiento de las propiedades físicas del suelo (FAO, 2003).

La labranza es un proceso dinámico que causa profundos cambios en las propiedades físicas de los suelos, las cuales persisten por tiempo variable, dependiendo del suelo y el clima que pueden afectar fuertemente a los cultivos. Para describir estos cambios, pueden utilizarse propiedades dinámicas que reflejan la reacción del suelo a la aplicación de fuerzas como la resistencia a la penetración y densidad aparente. (Venialgo *et al.*, 2002).

#### 2.1.1.- Sistemas de labranza vertical

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

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado, existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal, 1995).

La labranza vertical 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 (Agamennoni, 1996; Velázquez, 2011). La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibro cultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente, es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Baber., *et al.*, 1993).

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

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

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

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

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

### **2.1.2.- Ventajas de la labranza vertical**

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos. Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio, los discos de labranza convencional ocasionan capas duras.

Debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante para la siembra (Barber, 1997d). (Ver Cuadro 2.1). Un ejemplo de los efectos de la labranza vertical sobre el contenido de humedad en el suelo, la cobertura de rastrojo y el rendimiento de maíz en comparación con otros sistemas de labranza.

**Cuadro 2. 1. .- Comparación entre sistemas de labranza para la medición de diferentes parámetros (Cook y Lewis, 1989).**

<b>Sistema de labranza</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cobertura de rastrojo (%)</b>	<b>Rendimiento de maíz (tha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Labranza cero</b>	13	90	5.77
<b>Labranza vertical</b>	12	36	5.58
<b>Arado de disco</b>	9	14	4.70
<b>Labranza convencional</b>	6	3	3.57

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 del 30% 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 vibro-cultivador 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. (Barber et al., 1993). Además, se ha estimado que el costo de adquirir y de mantener los implementos de labranza vertical durante 10 años es por lo menos 25% menor que el de los implementos de labranza convencional. Eso es sobre todo

debido a un costo más elevado para el mantenimiento de los discos que de las puntas (Barber, 1997).

## **2.2.- Modo de acción de los cinceles**

Al introducir el cincel en el suelo causa la compresión de éste. La labranza vertical aplicada con cincel requiere una menor cantidad de energía en comparación con el tipo de disco utilizado en los sistemas de labranza convencional, por lo anterior es importante conocer los diferentes parámetros operativos de aperos de labranza y su efecto en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007).

Cada punta tiene una profundidad útil de trabajo, por debajo de esta profundidad también llamada la profundidad crítica (PC), la compactación se puede producir en lugar de aflojar el suelo y un considerable aumento de los valores de la resistencia específica puede ocurrir (Spoor y Godwin, 1978). Esta profundidad depende de las condiciones de la geometría de la punta y de las condiciones del suelo.

Mckyes (1985) describe que existe una profundidad crítica para el funcionamiento del cincel, en la que se produce la remoción lateral del suelo, y que esto depende de la anchura del implemento y su ángulo de ataque, así como el contenido de humedad y densidad del suelo. Por lo tanto, la profundidad del cincel depende del cultivo a establecer, las características del suelo y también de la fuente de energía disponible (Pandey, 2004).

### **2.2.1.- Formas de cinceles**

Cinceles rígidos; Los subsoladores son cinceles grandes y fuertes que pueden llegar hasta profundidades mayores de 1 m. Su uso por la alta fuerza de tracción necesaria se limita al tiro con tractores. Se distingue la forma tradicional (vertical), la forma parabólica y el "Paraplow". Para mejorar la roturación y emparejar el perfil del horizonte de trabajo de cinceles verticales o parabólicos se pueden usar rejas de alas abiertas. Arados de cincel, existen tanto para tracción animal con un máximo de tres cinceles o para tractores. Son usados para roturar y - en el caso del tractor - mezclar la capa arable. Según el tipo de suelo y el efecto deseado pueden ser equipados con una variedad de rejas. Sin embargo, para esta labor normalmente se usan rejas angostas. Cultivadores con cinceles rígidos, son usados para la labranza secundaria y el deshierbe, para tracción animal con hasta cinco cinceles y para tractor. Las rejas en este caso son más anchas como pata de ganso o alas abiertas con anchos de hasta más de 1 m para el control superficial de malezas en zonas áridas. Cinceles vibratorios; Estos cinceles son tanto para tracción animal como para uso con tractor. Las formas más pesadas se usan para mezclar el suelo, las más livianas para la labranza secundaria, la preparación de la cama de siembra y el deshierbe (Friedrich, 1997).

### **2.3.- Profundidad crítica**

Los modelos de corte del suelo, ya sea en dos o tres dimensiones, han asumido que el suelo se mueve hacia arriba en todo el rango de profundidad de la herramienta de corte. Se ha observado que este no siempre es el caso, por ejemplo, las figuras, (2.1), (2.2) y (2.3), especialmente en donde un implemento de corte angosto está operando a profundidades en un suelo plástico. Kostristsyn (1956) reportó observaciones de este fenómeno el cual ha sido llamado "la profundidad crítica", y sugiere a partir de su experiencia, que esta profundidad es generalmente de siete a ocho veces el ancho de la herramienta.

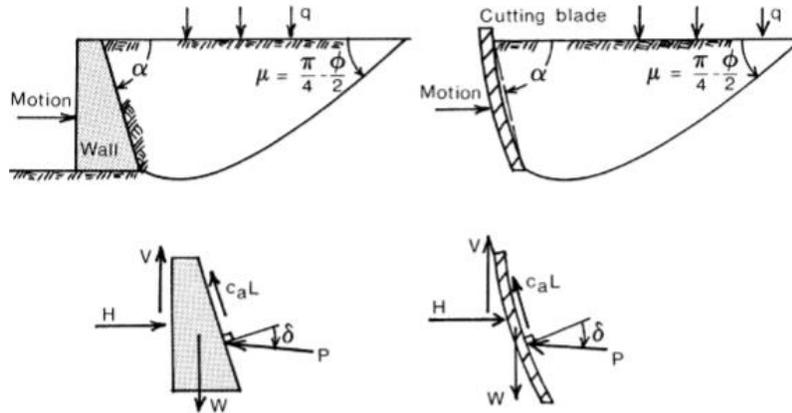


Figura 2. 1. Una comparación entre un muro de contención y una falla de suelo con cuchilla de corte (McKyes, 1989).

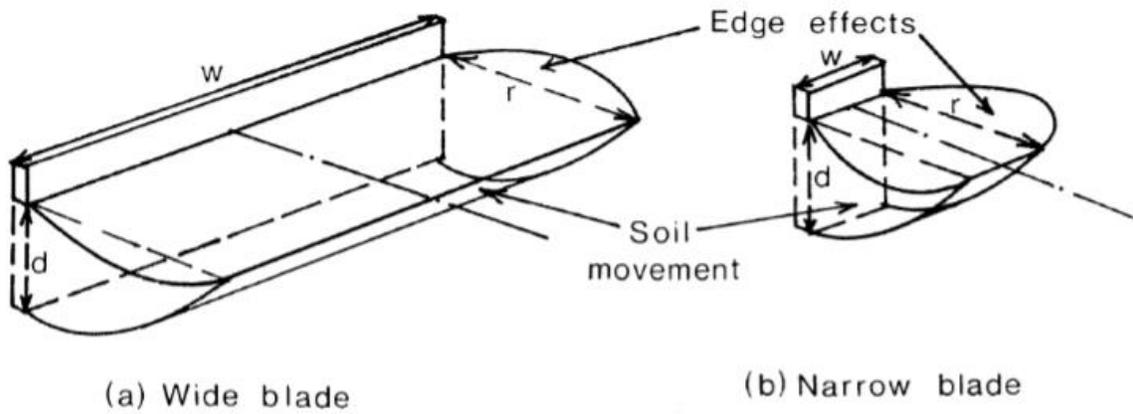
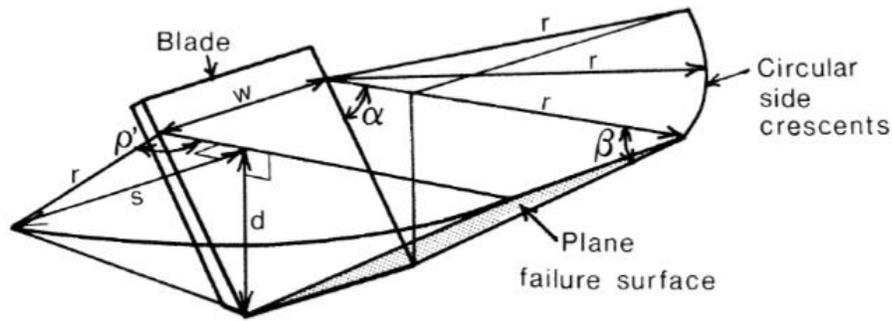


Figura 2. 2. La diferencia en movimiento patrón de suelo entre una cuchilla ancha y una cuchilla de corte estrecha (McKyes, 1988).

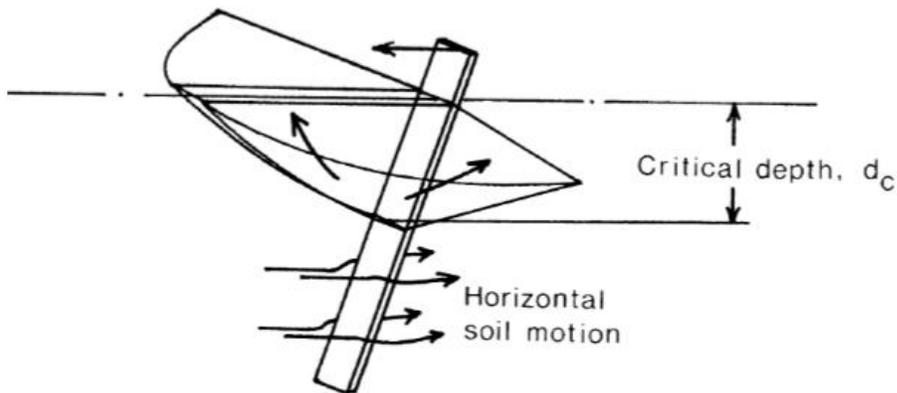


**Figura 2. 3, Modelo de falla tridimensional (McKyes y Ali, 1977).**

Para este modelo (Figura 2.3) Mckyes y Ali, encontraron la relación entre el radio y los ángulos que se generan en la superficie de falla del suelo (Ecuación 2.1).

$$r = r \sin \rho' = d \sqrt{\cot^2 \beta + 2 \cot \alpha \cot \beta} \dots \dots \dots (2.1)$$

La figura (2.4) ilustra esquemáticamente lo que ocurre en el suelo cuando una profundidad crítica está presente. La profundidad crítica  $d_c$  (siglas en inglés) se puede definir aproximadamente como un punto debajo del cual el suelo es desplazado por una herramienta principalmente a lo largo de líneas horizontales. Por encima de la profundidad crítica, el suelo se mueve horizontalmente y hacia arriba como en los modelos anteriores. Informes del valor de la profundidad crítica han variado considerablemente dependiendo del tipo de suelo en cuestión.



**Figura 2. 4. Ilustración de la profundidad crítica en el corte del suelo (O'Callaghan y Farrelly, 1964).**

O'Callaghan y Farrelly (1964) observaron profundidades críticas del mismo orden de las magnitudes, así como, del ancho, cuando evaluaron cuchillas verticales de acero en suelos plásticos arenosos y arcillosos. Usando herramientas similares, sin embargo, Miller (1971) encontró profundidades críticas hasta 14 veces la dimensión del ancho de la cuchilla en arena dura, y Godwin (1974) observó la profundidad crítica en rangos de ancho de cuchilla con una variación de 10 a 16, dependiendo del ángulo de inclinación de la cuchilla en un suelo franco arenoso friable.

En 1974, Godwin también postuló un modelo con el cual el régimen de fuerzas en el suelo puede ser analizado cuando una profundidad crítica está presente. Como se representa en la figura (2.5) el suelo es movido a los lados de la herramienta en mayores profundidades que el crítico, a lo largo de trayectorias espirales logarítmicas, similar al modelo de fundación de falla profunda postulado por Meyerhof (1951). La efectividad final de las espirales a lo largo de la cual se mueve el suelo se localiza en ángulo (teta) por detrás de la cara de la cuchilla. En la parte posterior de la herramienta, una presión horizontal se supone que actúan sobre el suelo, y se calcula como "en reposo" presión de tierra. La fórmula Meyerhof (1951) se utiliza entonces para calcular la presión horizontal,  $q'$  (Ecuación 2.2, 2.3 y 2.4), que actúa sobre la cara de la herramienta por debajo de la profundidad crítica.

$$q' = cN'_c + p_0N'_q = cN'_c + yzK_0N'_q \dots\dots\dots (2.2)$$

$$N'_q = \left[ \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \right] e^{2(\pi/2+\phi)\tan\phi} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$N'_c = \cot\phi \left[ \left[ \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} \right] e^{2(\pi/2+\phi)\tan\phi} - 1 \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

La integración de esta fuerza horizontal de la profundidad crítica hasta la parte inferior de la cuchilla se obtiene la fuerza total Q que actúa sobre esta parte de la herramienta.

$$Q = \left[ cN'_c(d - d_c) + \frac{\gamma}{2} K_0 N'_q (d^2 - d_c^2) \right] w \dots \dots \dots (2.5)$$

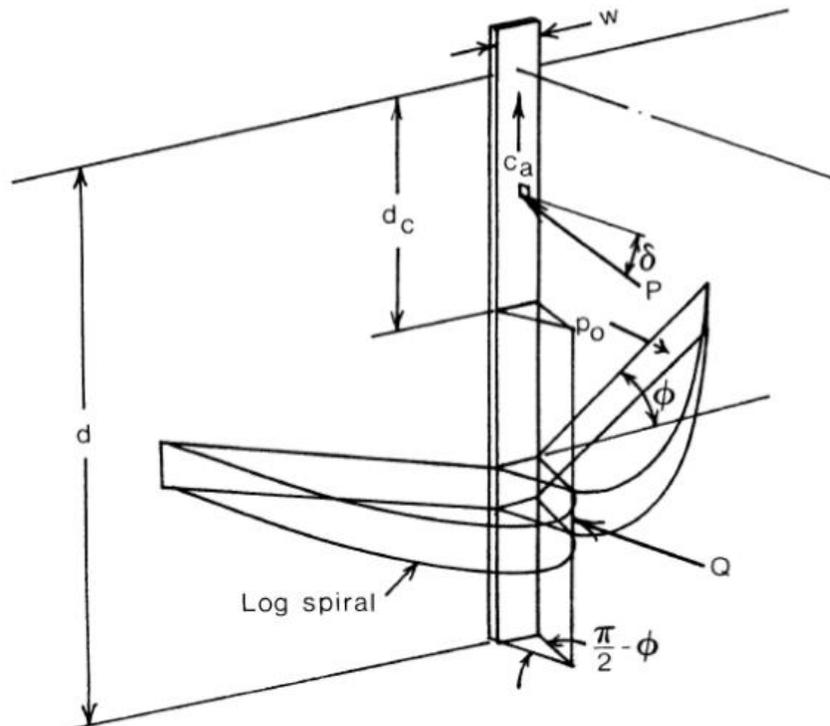


Figura 2. 5. El modelo de la fuerza para la falla de profundidad crítica (Godwin, 1974).

Para la fuerza P en la parte de la cuchilla por encima de la profundidad crítica, se utiliza el modelo tridimensional (Ecuación 2.1). Esto es la fuerza total horizontal requerida para mover el implemento, es la suma de Q por debajo de la profundidad crítica y H<sub>1</sub> por encima de ella, como se muestra a continuación.

$$H = Q + H_1 = Q + P \sin(\alpha + \delta) + c_a d_c w \cot \alpha \dots \dots \dots (2.6)$$

Además, Godwin (1974) observó que la localización de la profundidad crítica podría ser predicha teóricamente usando el modelo anterior. Si los valores de prueba de la profundidad crítica se eligen, las fuerzas P y Q que actúan por encima y por debajo de esta profundidad pueden hallarse. Combinando en términos como en la ecuación (2.6) nos da la fuerza total, estimando la fuerza de tiro de la herramienta. Siguiendo el principio de falla de suelo en la trayectoria de menor resistencia, es lógico que la profundidad crítica sea la que resulta en el menor requerimiento de fuerza en la herramienta. Por lo tanto, el ensayo donde la profundidad crítica da la menor fuerza total, es igual.

#### **2.4.- Consumo de energía en la labranza**

La evaluación y desempeño tecnológico de los implementos integrales a partir de la calidad y consumo de energía que estos desarrollan a labrar el suelo es de suma importancia, constituye soluciones prácticas. Este tipo de implementos se encuentran dentro de 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).

Los implementos más comunes dentro de la labranza integral podemos encontrar los siguientes: arado de tres discos, arado de cincel tipo rastrojero, arado cincel vibrador, vibrocultivador, subsolador, multiarado, rastra y el cultivador de campo de rastrojero.

Edmundo (1987), menciona que la determinación para la demanda energética de una operación de labranza exige conocer el valor de la fuerza por unidad de ancho necesaria para arrastrar el equipo en el campo. Este valor de la fuerza y la velocidad de trabajo permiten obtener la potencia necesaria para accionar, un equipo de un tamaño determinado. Estas relaciones se muestran en la ecuación (2.7).

$$Potencia = \frac{Fuerza*Velocidad}{FPT*3.6} \dots\dots\dots (2.7)$$

El gasto energético por ha se establece asociando el valor de la potencia con la capacidad efectiva de trabajo (CET) del equipo, que tiene incluida una estimación de la eficiencia de campo.

La potencia de trabajo requerida para trabajar con diversas herramientas es variable y depende de varios factores. Entre ellos se encuentra la textura y contenido de humedad del suelo, la velocidad y profundidad de trabajo, la naturaleza del material de la herramienta deslizante, sea metálico, plástico o madera. A pesar de la posibilidad de poder predecir la fuerza de arrastre de ciertas herramientas bajo condiciones específicas, una predicción práctica y realista es difícil por la variabilidad de las condiciones en un campo agrícola. Normalmente se encuentran en zonas muy húmedas y mal drenadas, compactadas, con pendiente, piedras y otros obstáculos que obligan al operador a cambiar la velocidad de trabajo (Ashburner y Sims, 1984).

La siguiente sección ha sido tomada de la publicación "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos" escrito por (Ibadan 1997).

**Vibrocultivador** la profundidad del trabajo aconsejable es de 8-10 cm. La profundidad del trabajo aconsejable, con una alta velocidad de 8-12 km/h, para optimizar las vibraciones que sueltan las malezas y desmenuzan los terrones grandes.

**Arado cincel vibrador** debe trabajar a una velocidad alta, de 8 a 12 km/h; requiere de 6 HP por brazo.

**Arado de cincel tipo rastrojero** tiene una velocidad de avance respecto al tractor de 6 a 9 km/h. El espaciamiento entre los brazos variará con la profundidad del

trabajo, cuando la profundidad del trabajo es de 18 cm, Por lo general se necesitan 9 a 12 hp por cada cincel.

Los **subsoladores** son cinceles grandes y fuertes que pueden llegar a profundidades de hasta un 1m. Se distingue la forma tradicional (vertical), la forma parabólica y el “Paraplow”, potencia por lo general se requieren 20-30 hp/brazo. Para un tractor de 90 hp, donde el límite inferior de la capa compactada se encuentra a unos 26 cm de profundidad, se requiere que el subsolador llegue hasta 39 cm.

**Arado de tres discos** con una profundidad de trabajo de 0.152m, velocidad de avance de 4.45 km/h con un consumo de combustible de 20.00 L/h y requiere una fuerza de tiro de 14.86 kN.

**Multiarado** con una profundidad de trabajo de 0.149 m su velocidad de trabajo de 4.10 km/h, potencia requerida en la fuerza de tiro 23.03 kN.

**Rastra de 20 discos**, trabaja a una profundidad 0.10 m a una velocidad de avance de 5.32km/h con una potencia de fuerza de tiro 2.74 kN. La labranza en el suelo es de gran importancia puesto que altera sus propiedades físicas y presentan un alto consumo de energía.

Sin embargo, es importante manejar algún procedimiento que permita estimar la potencia requerida para trabajar con diversas herramientas en condiciones normales y así permitir la selección de tractores y equipos en forma racional, lo cual también, permite ejecutar un análisis económico del sistema de mecanización seleccionado (de Dios, 1972; Hunt, 1977).

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimientos de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta en el suelo (Mouazen y Ramón, 2002).

Arvidsson *et al.*, (2004) encontraron que el contenido de agua adecuado para las labores de labranza es cercano al límite plástico de suelo; también incluyeron que la profundidad de trabajo aumenta a mayor contenido de humedad del suelo, disminuyendo la resistencia específica. Por otra parte, la labor en un suelo seco favorece la formación de terrones grandes (De Toro y Arvidsson, 2003) y suelos con contenido de agua superior al límite plástico son fácilmente deformados y compactados.

Camacho y Rodríguez (2007), midieron el área transversal del suelo disturbado, la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo, la fuerza de tracción y la resistencia específica para diferentes implementos de labranza con tres contenidos de agua en el suelo y tres velocidades de operación, indicando que el contenido de agua afectó todos los implementos de labranza, destacando el arado de discos y el arado de cincel vibratorio, en la cual muestra que el arado de cincel rígido es enérgicamente más eficiente para preparar el suelo, con una resistencia específica baja y una mayor área transversal de suelo disturbado.

Martínez *et al.*, (2001) presentan una serie de ecuaciones que pueden servir como herramienta de soporte en la toma de decisiones para la selección y operación de implementos de labranza concluyendo que los modelos resultantes pueden utilizarse con fines de predicción.

Con base en resultados estadísticos se determinó que entre la intensidad de labranza y la energía utilizada ( $\text{kW ha}^{-1}$ ) para cada tratamiento, existe una relación significativa cuyo coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.935$ ). Este indica una alta dependencia entre estos dos parámetros, por lo que se propone la ecuación 1 para estimar el consumo energético requerido al preparar el suelo en función de la intensidad de labranza originada por un implemento determinado. Además, las ecuaciones (2.8), (2.9), (2.10) y (2.11) para la estimación del requerimiento energético con los implementos para ellas especificados.

$$RE = -3.123 + (0.5512)(IL) \quad R^2 = (0.935)\dots\dots\dots (2.8)$$

La ecuación (2.8) para los arados subsolador y de cinceles, cuando el ancho de corte de cada timón es menor o igual que la distancia (o separación) entre los timones (cuando en la superficie no queda terreno sin alterar):

$$RE(kWha^{-1}) = -3.123 + (183.733)(PPL) - [(91.876)(PPL)(Dt)/Act]..... (2.9)$$

Cuando la distancia entre los timones sea mayor que el ancho de corte de cada timón (en la superficie queda terreno sin alterar), la ecuación se reduce a:

$$RE(kWha^{-1}) = -3.123 + [(27.56)(Act)/Dt]..... (2.10)$$

La ecuación (2.11) para el arado de discos y la rastra de discos:

$$RE(kWha^{-1}) = -4.9052 + (183.733)(PPL) - [(2.5722)(Dd)/A]..... (2.11)$$

La ecuación (2.12) para el arado de vertedera:

$$RE(kWha^{-1}) = -4.9052 + (183.733)(PPL) - [(2.5722)(\frac{Ar}{A})]..... (2.12)$$

Las ecuaciones propuestas están referidas a su intensidad de labranza, la cual presenta un valor diferente para cada implemento y condición de laboreo, por lo que los resultados pueden usarse para comparar la eficiencia de trabajo de los implementos que se utilizan para realizar la preparación del suelo, tanto en función del grado de preparación, como el consumo energético, o bien para estimar la energía requerida para preparar un predio determinado.

## 2.5.- Fuerzas que actúan sobre una herramienta de labranza

Un implemento de labranza o herramienta moviéndose a una velocidad constante está sujeto a tres fuerzas principales o sistemas de fuerzas que deben estar en equilibrio, Kepner *et al.* (1978), las cuales son:

1. Las fuerzas de gravedad actuando sobre el implemento.
2. Las fuerzas del suelo actuando sobre el implemento.
3. Las fuerzas actuando entre el implemento y el primer movimiento.

Clyde (1936) subdivide el total de las fuerzas de reacción del suelo dentro de las fuerzas útiles y parásitas. El define que las fuerzas del suelo útiles son aquellas en las cuales la herramienta debe vencer el corte, roturación y movimiento del suelo. Las fuerzas parásitas son aquellas (incluyendo la fricción o resistencia al rodamiento) que actúan sobre superficies estables. Cuando una herramienta no es simétrica sobre el plano vertical, longitudinal o a través de una línea centro, las fuerzas del suelo útiles frecuentemente introducen un efecto rotacional.

Los requerimientos de potencia, de tiro y energía de varias máquinas de campo (Hunt, 1983) se enlistan en el cuadro (2.2).

**Cuadro 2. 2. Determinación de fuerza de tiro en diferentes implementos integrales.**

<b>Implemento</b>	<b>Especificación</b>	<b>FH(kN)</b>	<b>Energía o Trabajo kN h/ ha</b>
Arado	3 Discos	12.649	22.1 – 46.1
Arado	4 Discos	16.865	22.1 – 46.1
Rastra	20 Discos	5.928	4.0 – 7.4
Multiarado	2 Cuerpos	73	3.1 – 5.2
Sembradora	2 Hileras	3.6	2.4 – 12

Para un implemento particular y condición de suelo las fuerzas del suelo se incrementarán con la profundidad de trabajo. La resultante del peso del implemento y las fuerzas del suelo, por lo tanto, tendrán magnitud variable, dirección y posición dependiendo de la profundidad de trabajo. Dentro de las investigaciones realizadas por Garner *et al.* (1988), con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de un arado de cinceles, determinaron magnitudes de las fuerzas y momentos a 0.30 y 0.43 m de profundidad mostradas en el cuadro (2.3).

**Cuadro 2. 3. Media de las fuerzas y momentos en un subsolador.**

<b>Parámetros</b>	<b>Profundidad 0.30 m</b>	<b>Profundidad 0.43 m</b>
Fuerza de tiro kN	14.300	27.675
Fuerza de tiro kN	3.175	9.125
Momento kN*m	7.805	16.000
Fuerza en el enganche superior kN	15.125	23.370

La norma ASAE D230 (1997) reporta la fuerza de tiro funcional para los diferentes implementos de labranza. En el cuadro (2.4) se muestran los valores extremos para la determinación de la fuerza de tiro en diferentes implementos:

**Cuadro 2. 4. Rango de fuerzas de implementos, (ASAE D230, 1997).**

<b>Implemento</b>	<b>Rango de la fuerza de tiro</b>	<b>Variables</b>
Arado de vertederas	$7+0.049s^2$ a $2 + 0.013s^2$ (N/cm <sup>2</sup> )	S=Velocidad (km/h)
Arado de discos	$5.2+0.039s^2$ a $2.4 + 0.045s^2$ (N/cm <sup>2</sup> )	S=Velocidad (km/h)
Rastra de discos	14.7 M a 7.8M (N)	M=Masa (peso kg)
Subsuelo	120 – 190d a 175 – 280d (N)	d = Profundidad
Sembradora	1100 a 800/fila N/fila	--

Marín (2003) e Hinojosa (2003) en una serie de evaluaciones con diferentes implementos de labranza, midieron las fuerzas de tiro en la barra de compresión, producidas por la interacción suelo-implemento (Cuadro 2.5).

**Cuadro 2. 5. Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento, (Fc: Fuerza en la barra de compresión y FT: fuerza en el tiro. Marín, 2003).**

Implementos	Fuerza de la barra de compresión			Fuerza en el tiro		
	Profundidad (m)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Radio entre Fc/FT
Arado	0.30	23.21	33.71	15.48	30.66	1.50
Multiarado (1 timón)	0.34	30.83	34.07	22.06	32.05	1.40
Multiarado (2 timones)	0.21	38.52	43.64	23.77	3.05	1.62
Rastra		17.05	16.24	5.39	21.92	3.16
Cultivadora		4.84	9.16	4.76	20.72	1.02
Vibrocultivador		16.46	6.73	9.84	37.78	1.67

### 2.5.1.- Análisis de esfuerzos

Una medida de fuerza con alto grado de exactitud, es de gran importancia en el análisis mecánico en un problema de ingeniería. En particular, la resistencia medida del suelo para varios funcionamientos de maquinaria, tal como el arado, es indispensable en la maquinaria agrícola para nuestro campo (Sakurai, 1996).

A continuación, se muestra una forma de medir la fuerza en sus tres estados dimensionales, tales como la magnitud, la dirección y la posición en la línea de acción.

### **2.5.2.- Transductores de fuerza**

La idea de emplear anillos octagonales extendidos (EOR siglas en inglés) en un sistema de medición fue introducido por primera vez por Lowen et al. (1951). Hoag y Yoerger (1975) derivaron ecuaciones analíticas de distribución de fuerzas para transductores simples y octagonales de anillos extendidos para diferentes cargas y condiciones límites utilizando el método de tensión de energía.

Se determinaron dos ecuaciones para el momento de flexión en la sección del anillo prolongado, mismas que se utilizan para el cálculo del momento en la sección utilizando el EOR. McLaughlin (1996) detectó algunos errores en las ecuaciones de los Hoag y Yoerger y las corrigió.

Godwin (1975) diseñó un transductor octagonal de anillo extendido para medir las fuerzas de reacción del suelo utilizando herramientas en dos direcciones, así como el momento en el plano de estas fuerzas. El reportó una buena linealidad, baja sensibilidad cruzada y la histéresis para el transductor. También encontró que las sensibilidades prácticas de las galgas extensiométricas fueron mucho mayores que los valores obtenidos a partir de ecuaciones analíticas.

O'Dogherty (1975) diseñó un transductor para determinar las fuerzas de corte y verticales usando una cuchilla en remolacha azucarera utilizando el anillo octogonal extendida. Informó de una buena linealidad, histéresis baja en ciclos de carga y descarga, y sensibilidades cruzadas entre 4.1 y 6.5 % para las fuerzas de corte y vertical, respectivamente en el proceso de calibración del transductor.

Godwin et al. (1987) diseñó tres transductores de (EOR) usando tres diferentes materiales con diferentes relaciones de radio y diferentes espesores del anillo ( $r / t$ ). Ellos encontraron que los sistemas desarrollados de instrumentación tenían suficiente resolución para medir el comportamiento dinámico vertical de suelo a acoplado a un enganche de pivote único.

Godwin et al. (1993) diseñó un dinamómetro utilizando dos (EOR) para medir las fuerzas y momentos ejercidos en herramientas de labranza. Utilizaron dos (EOR) en configuración espalda con espalda, donde los ejes longitudinales formaban

ángulos de 90 °. Ellos reportaron una excelente linealidad entre las fuerzas y momentos aplicados, y la salida de voltaje en el puente, una pequeña cantidad de efecto de histéresis entre carga y descarga de las curvas de calibración, así como, una sensibilidad cruzada menor del 4 %.

O'Dogherty (1996) derivó una fórmula para determinar el espesor del anillo del transductor (EOR) mientras utilizaba datos de los transductores diseñados previamente por los investigadores. El introdujo un procedimiento gráfico para el diseño (EOR) basado en parámetros geométricos del anillo.

McLaughlin et al. (1998) diseñó y fabricó un octagonal de doble anillo extendido (DEOR por sus siglas en inglés) acoplado a una barra de tiro. Ellos calibraron el transductor utilizando métodos de carga uniaxiales y triaxiales. Los autores derivaron la regresión de un modelo para predecir las fuerzas de tiro, verticales, y las cargas laterales, e informó de la sensibilidad cruzada del sensor de 1.9 y 7.0 % para las fuerzas de tiro y verticales respectivamente.

Kheiralla et al. (2003) desarrollaron un dinamómetro de tres puntos de enganche automático utilizando un transductor (EOR). Ellos reportaron una sensibilidad primaria horizontal y vertical de 25,19 kN  $\mu\text{strain}^{-1}$  y 25.60 kN  $\mu\text{strain}^{-1}$  para el sensor (77.75 % y 89.77 % de las sensibilidades teóricas calculadas).

Khan *et al.*, (2007) diseñó un sistema de transductor biaxial (EOR) para medir las fuerzas tractor-implemento, mostraron que la sensibilidad cruzada del sensor fue menor a 1.5 % para la mayoría de los casos.

Se puede decir que la mayoría de los sistemas de medición se pueden dividir en tres partes (Campos et al., 2000).

Etapa detectora-transductora, detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal de una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma el efecto físico en otro, en gran mayoría de los casos, la variable física

se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

Etapa Intermedia, modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para tener una salida deseable.

Etapa final o terminal, indica, graba o controla la variable que se desea medir.

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.

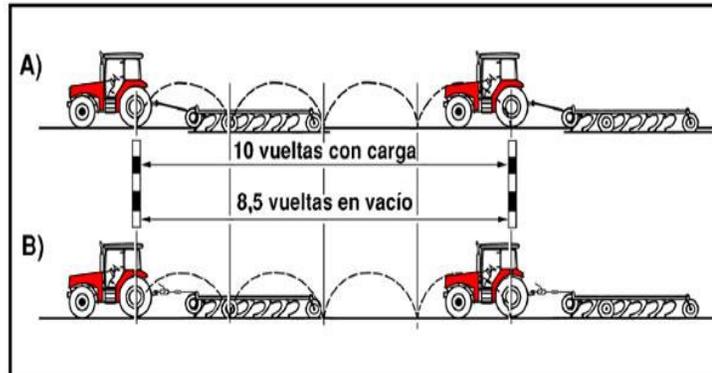
Moo (1999) señala que los transductores (sensores) son elementos de transformación de una variable física correspondiente a un fenómeno, a una señal eléctrica que describe ese comportamiento y su desempeño se debe a los elementos de captura, estos solo trabajan con señales eléctricas. Generalmente los transductores son empleados en la medición de magnitudes físicas, como, por ejemplo, temperatura, presión, longitud, etc.

## **2.6.- Patinaje**

Las pérdidas por patinaje se producen por el giro en falso de la rueda motriz sobre el suelo tal como lo muestra la (Figura 2.6). Una deformación del suelo hace que las ruedas corten horizontalmente el suelo en contacto y lo desplacen. Para disminuir el patinaje existen dos alternativas: una es aumentar el peso sobre las ruedas de tracción mediante el empleo de lastre (estático y/o dinámico) y otra es aumentar la superficie de apoyo a través de un neumático más grande o del empleo de duales (Deere, 2015).

El patinaje depende de la fuerza que desarrollen las ruedas y del tipo de suelo donde se trabaja. Además, depende del peso que soportan las ruedas y la superficie de

contacto (con sus formaciones) entre ruedas y el suelo. La fuerza que desarrollan las ruedas depende de la potencia suministrada por el motor (régimen y par), la marcha elegida y el diámetro efectivo de las ruedas (IDAE, 2005).



**Figura 2. 6. Patinaje en los tractores.**

Según Gil (2006), los estudios más avanzados que relacionan el peso total del tractor con la fuerza de tiro recomiendan que el peso total sea casi el doble de la fuerza de tiro para que el rendimiento de tracción sea óptimo. En todo caso, al tractor habrá que añadirle o quitarle peso, según el trabajo que realice y las condiciones en que se desarrolle. Los factores que determinen la cuantía de lastre son: superficie del suelo, o tipo de tractor, simple o doble tracción, los datos necesarios para saber la cantidad de peso adecuado la dirá el tractorista, para que este haga un buen esfuerzo de tiro sin excesivo patinaje.

La energía demandada por la rodadura se debe a la resistencia que opone el suelo al desplazamiento del tractor, y varía en función del tipo y tamaño de los neumáticos, el peso del tractor y la condición del suelo, la deformación vertical que se produce hace que las ruedas del tractor formen su propia pendiente a vencer, por llano que sea el terreno, también afecta la tierra que el tractor empuja inmediatamente delante de sus ruedas, esa “bufanda” que se forma cuando el suelo está muy suelto y que se denomina efecto “bulldozing”. Las pérdidas por patinaje se producen por el giro en falso de la rueda motriz sobre el suelo. Una deformación del suelo preponderantemente horizontal hace que las ruedas corten horizontalmente el suelo en contacto y lo desplacen (Deere, 2016).

## 2.7.- Consumo de combustible

El consumo de combustible por unidad de tiempo o de superficie depende de múltiples factores, entre los que cabría destacar: tipo de labor, profundidad y anchura del trabajo, clase de máquina, tamaño de la parcela, estado del cultivo, etc. sin olvidar el motor del tractor que genera la potencia demandada y la forma de manejarlo (Márquez, 2004). En la (Figura 2.7) se muestra una gráfica del consumo de combustible  $l\ ha^{-1}$ .

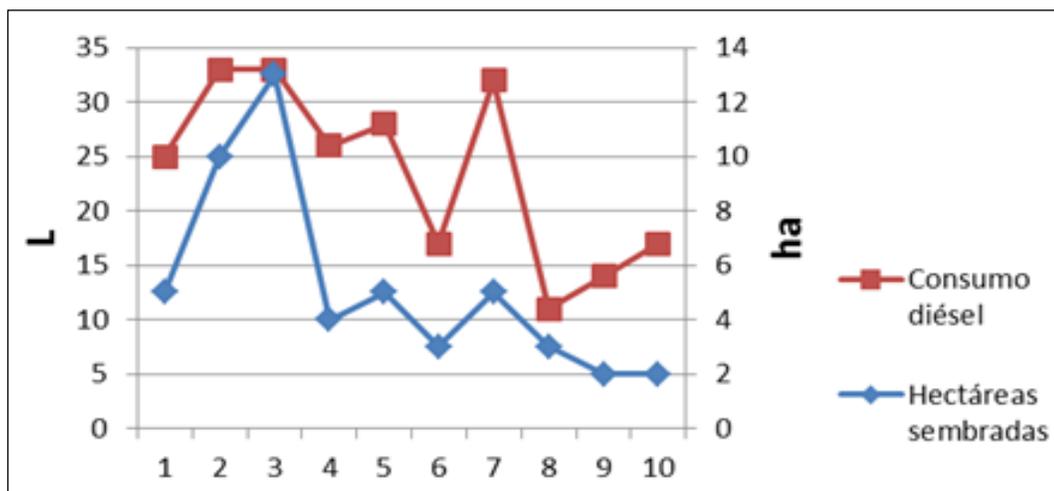


Figura 2. 7. Consumo de combustible  $l\ ha^{-1}$ .

### 2.7.1.- Medición del consumo de combustible

De acuerdo a la bibliografía existen varios métodos para medir el combustible en una determinada labor agrícola, en condiciones reales de campo, las más utilizadas son las de medición manual “medición directa” y la medición por medio de instrumentos electrónicos “medición electrónica” (IDAE, 2005).

Los métodos de medida directa se basan en conocer la cantidad de combustible consumida por el motor del tractor durante un cierto periodo de tiempo o bien por la diferencia de volúmenes con una probeta aforada o con pesos en una balanza de precisión existen los métodos gravimétricos pero tienen la desventaja de ser

insensibles a las variaciones de temperatura de combustible, que influye en la densidad del mismo y existe una dificultad para aplicarlos en los tractores en movimiento (IDAE, 2005).

## **2.8.- Estructura que se requiere para un establecimiento óptimo de cultivos (tamaño óptimo de agregados)**

Para el establecimiento óptimo de cualquier cultivo existen parámetros que se deben de cumplir o que son los que se requieren para que pueda existir una buena producción de los cultivos, dentro de estos parámetros existe uno muy importante, que es el establecimiento de la cama de siembra, y una buena estructura de ésta depende del tamaño de los agregados que la conforman y la distribución de estos. Russell (1973) menciona que las condiciones ideales para una cama de siembra son producidas por agregados de no menos de 0.5-1 mm y de no más de 5-6 mm, sin embargo, Hadas y Russo (1974) sugieren que para maximizar el contacto suelo-semilla, los agregados en la cama de semillas deben de tener un tamaño que se encuentre entre un quinto y un décimo del tamaño de la semilla, aunque para determinar el diámetro promedio de los agregados contenidos en un suelo existe una fórmula general, con la que se puede saber cuál es la composición de una cama de siembra (CENEMA, 2002).

Las mejores condiciones de emergencia ocurren cuando una alta proporción de agregados en la cama de siembra tienen un rango de 0.5-6.0 mm, y cuando la fracción de agregados mayor a 20 mm es mínima (NjØs, 1979; Hakanson y von Polgar, 1976, 1977). Dojarenko (1924) y Kvasnikov (1928) encontraron que la máxima producción de cereales fue obtenida con camas de siembra que se encontraban formadas por agregados de 1-2 mm y 2-3 mm respectivamente. Jaggi et al. (1972) llegó a la conclusión de que en una cama de siembra con agregados de 1-2 mm con una densidad aparente de 1.2-1.3 g/cm<sup>3</sup>, se obtienen los mejores granos de trigo sobre un campo de suelo arcilloso, esto es porque con un tamaño grande de agregados se restringe el movimiento del agua por las raíces, lo que

limita mucho el crecimiento de las plantas. Los mejores resultados de emergencia en el cultivo del trigo se obtuvieron en un rango intermedio de agregados de entre 1-2 mm, que en los agregados más grandes (>4 mm), esto para un suelo limoso (Braunack y Dexter, 1988).

Estudios acerca del mejor ambiente para germinación de semillas de varios cultivos han sido realizados en un diámetro medio de agregados de 5 mm en la cama de siembra fue sugerido como el más adecuado para el crecimiento del maíz (Larson, 1964). La tasa más alta de emergencia de maíz sobre un suelo arcilloso, casi siempre, resulta cuando el 30% del suelo pasa de 2.54 mm de diámetro (Johnson y Taylor, 1960). Taylor (1974) encontró que una cama de siembra con un límite más bajo de tamaño de 2 mm fue bueno para la emergencia de maíz y sorgo sobre un suelo arcillo-limoso.

La emergencia del sorgo ocurre mejor a los cuatro días con tamaños de agregados de 1-2, 2-4 y 46 mm de un suelo arcilloso, que en tamaños más pequeños que 1 mm (Baligar y Nash, 1978). Tisdall y Adem (1986b) determinaron que el maíz emerge más rápido y tiene un buen porcentaje de emergencia sobre camas de siembra con una alta proporción de agregados de 0.5-10 mm. Esto fue atribuido para mejorar el contacto suelo-semilla comparado con camas de siembra gruesas. En consideración a los requerimientos para una óptima cama de siembra para caña de azúcar, Jain y Agrawal (1970) encontraron que los agregados con un rango de 3.2-6.4 mm sobre un suelo franco arenoso dan un alto porcentaje de emergencia.

La emergencia de algodón, sobre un suelo arcilloso, es más rápida cuando la mitad de los agregados de la cama de siembra están entre 3.2 y 6.4 mm y la otra mitad a menos de 3.2 mm (Yoder, 1937) estas camas de siembra siempre dan los más altos rendimientos. Ryzhov y Slesareva (1977) casi siempre encontraron que una cama de siembra con un rango de agregados de 0.25-1 mm, y en particular 0.25-0.5 mm, producen el más grande rendimiento y crecimiento de raíces de algodón sobre un suelo franco arcilloso.

En el frijol de soya la emergencia ocurre a los cuatro días sobre agregados de 1-2 y 2-4 mm que en aquellos tamaños más pequeños o más grandes con un suelo arcilloso (Nash y Baligar, 1974).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

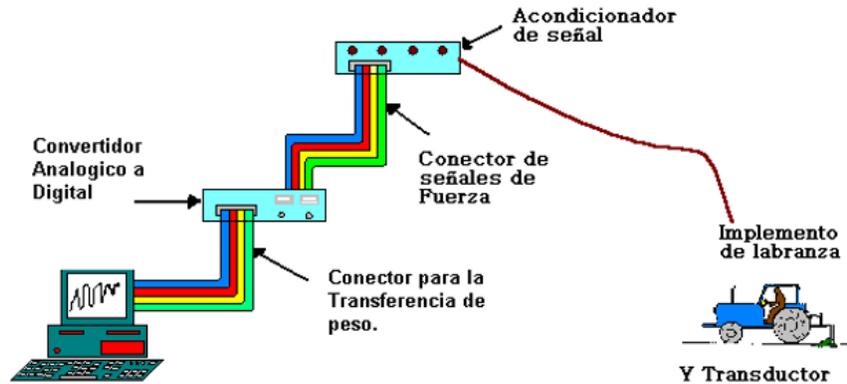
#### 3.1.- Equipo empleado en la evaluación

Para la evaluación se utilizaron los siguientes materiales: Sensores octagonales, un tractor John Deere, un convertidor analógico LogBook 360, un acondicionador de señal DBK ambos utilizados para el procesamiento de datos obtenidos en las pruebas de evaluación, equipo de medición de la calidad de labor que es el perfilometro, un marco Byson 357, además se utilizó un medidor de combustible.

**Cuadro 3. 1. Características del material empleado para la evaluación.**

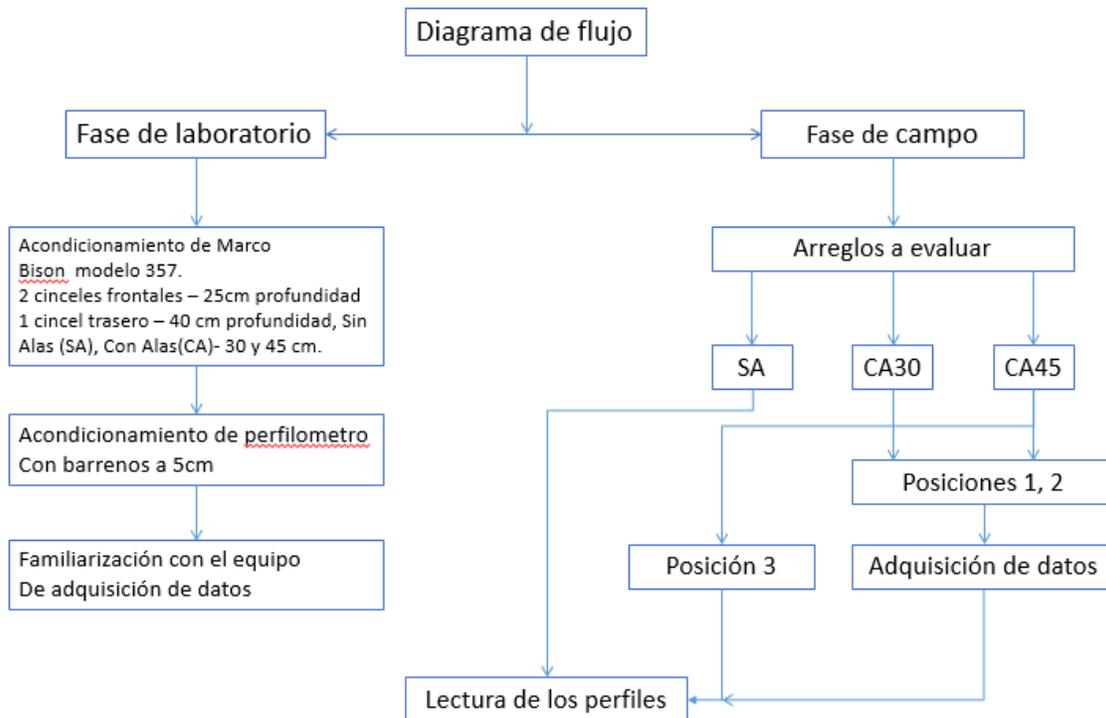
No Componente	Componente	Descripción
1	Marco Bison 357	Donde se acondicionarán los cinceles
2	Sensor octagonal	Acoplados en la estructura flotante entre el tractor y el marco Byson 357.
3	Tractor	John Deere modelo 6403 de tracción sencilla con doble rodada con una potencia al MOTOR de 106 hp.
4	Convertidor analógico digital	Convertidor analógico digital Log Book 360 marca lotech.
5	Acondicionador de señales	Amplificador y filtro, marca lotech, DBK 43A con capacidad de 8 canales, con una ganancia de 10K $\mu\epsilon$ Y voltaje de excitación de 10v.
6	Computadora Dell Optiplex GX520	Cuenta con los softwares <i>LogView</i> , <i>Excel</i> , y <i>Matlab 2010</i> . Para el procesamiento de los datos obtenidos en las pruebas
7	Equipo para medición de combustible	Sensores de combustible magnéticos S-004 BAICO
8	Equipo de medición de calidad de labor	Perfilometro con 24 varillas de 75 cm de largo espaciadas a 5 cm.

En la figura (3.1) se muestra el Sistema de adquisición de datos que se empleó para determinar el valor de la fuerza que se aplica en condiciones de campo (trabajando con el implemento).



**Figura 3. 1. Diagrama del sistema de adquisición de datos.**

En la (Figura 3.2) Se muestra el diagrama general donde se realiza el trabajo que consta de dos fases, en laboratorio y en campo.



**Figura 3. 2. Diagrama de flujo.**

## 3.2.- Fase I: Laboratorio

### 3.2.1.-Acondicionamiento de marco Bison 357

Se acondicionó un marco de la marca Bison modelo 357, con tres cinceles, dos frontales separados con 60 cm y un trasero a una distancia de 30 cm entre los frontales. Al cincel trasero se le aumento la longitud con 16 cm, soldando una placa, debido a que los frontales trabajarán a una profundidad de 25 cm y el trasero a 40 cm. Además, a este último se le acondicionaron alas de 30 cm y de 45 cm para los arreglos con los que se trabajaron. En la Figura (3.3) se puede apreciar el acondicionamiento del cincel trasero.



**Figura 3. 3. Acondicionamiento de cincel trasero.**

En la (Figura 3.4 y 3.5) Se muestra como quedó acondicionado el marco con los cinceles y así tener una profundidad de 40 cm en el cincel trasero y 25 cm en los frontales.



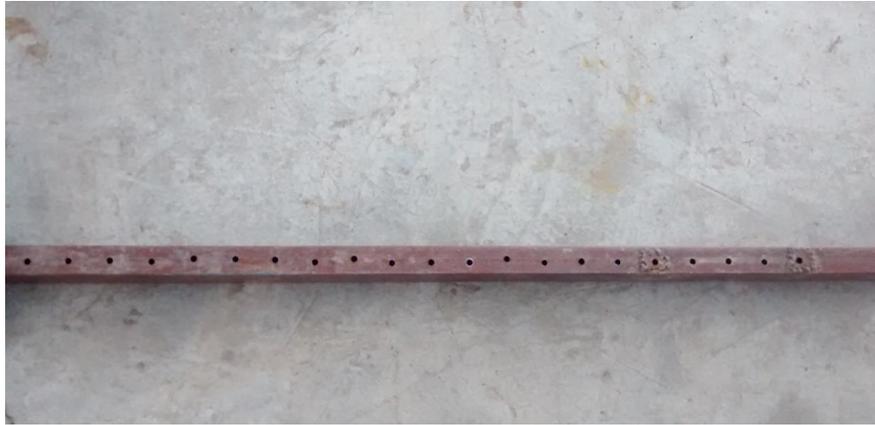
**Figura 3. 4. Marco acondicionado vista frontal.**



**Figura 3. 5. Marco acondicionado vista lateral.**

### **3.2.2.- Perfilometro**

Se adecuo el perfilometro con barrenos a 5 cm de separación (Figura 3.6), estos anteriormente estaban separados a 10 cm. Se hizo esto para tener mejor lectura del área disturbada.



**Figura 3. 6. Perfilometro acondicionado con barrenos a 5 cm de separación.**

### **3.2.2.- Familiarización con el equipo a utilizar**

Se aprendió a utilizar el LogBook 360, así como su conexión con el pc y el DBK 43A, la forma de encendido en el tractor John Deere. También a tener conocimiento sobre el programa LawView y a conectar los sensores octagonales con el DBK 43A para la adquisición de datos.

#### **3.2.2.1.- Convertidor analógico digital**

**(Log Book 360)** este módulo se conecta al puerto paralelo de la computadora y convierte los valores de voltaje en valores digitales para que con la PC puedan ser procesados.



**Figura 3. 7, Sistema de adquisición de datos.**

### 3.2.2.2.- Amplificador- acondicionador de señal DBK 43-A

Este elemento consta con un módulo de 8 canales, con ganancias de 10x a 1250x ( $\epsilon$ ) fabricado por Iotech, Inc. (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico-digital.



Figura 3. 8. Acondicionador de señal DBK 43 A.

### 3.2.3.- Software utilizado

Para la adquisición y procesamiento de los datos se utilizaron los programas **Lag View, Mat Lab R2010, Excel 2016 y Minitad 17.**

## 3.3.- Fase de Campo

### 3.3.1.- Arreglos evaluados

En campo se evaluaron factores como la demanda de energía requerida, área disturbada y en algunos casos el consumo de combustible. Se hicieron 21 repeticiones, 3 de ellas con cincel sin alas, 3 cinceles con alas de 30 cm en la posición 1, 3 con las mismas alas de 30 cm en posición 2 y otras 3 en la posición 3. Así mismo con las alas de 45 cm 3 repeticiones en cada posición, 1, 2, y 3. En el (Cuadro 3.2) se indica el significado de las variables de cada arreglo para su evaluación.

**Cuadro 3. 2. Arreglos a evaluar en campo.**

<b>Arreglo</b>	<b>Significado</b>
<b>SA</b>	Cinzel sin alas
<b>CA30-1</b>	Cinzel con alas de 30 cm, posición 1
<b>CA30-2</b>	Cinzel con alas de 30 cm, posición 2
<b>CA30-3</b>	Cinzel con alas de 30 cm, posición 3
<b>CA45-1</b>	Cinzel con alas de 45 cm, posición 1
<b>CA45-2</b>	Cinzel con alas de 45 cm, posición 2
<b>CA45-3</b>	Cinzel con alas de 45 cm, posición 3

Las posiciones son los ángulos de las alas con respecto al suelo, estas son las siguientes:

Posición 1 = ángulo de  $10^{\circ}$

Posición 2= ángulo de  $- 8^{\circ}$

Posición 3 = ángulo de  $5^{\circ}$

En la (Figura 3.9) se muestra el cambio de alas para los diferentes arreglos, que se evaluaron en campo.



**Figura 3. 9. Cambio de alas del cinzel trasero.**

En la (Figura 3.10) se está realizando una corrida, con las alas de 30 cm, donde se adquiere la energía requerida de la labor con ese arreglo.



**Figura 3. 10. Corrida con alas de 30 cm.**

### **.3.3.2.- Procesamiento de datos obtenidos**

**(Análisis espectral)** Para procesar los resultados obtenidos en las pruebas se utilizó el análisis espectral, utilizando el software Matlab R2010, para tener los resultados en Volts y así obtener la energía requerida en la labor.

**(Constantes de los octagonales)** Cruz (2014), hizo pruebas para generar las constantes de cada octagonal, que son utilizados en este proyecto, las constantes se muestran en el (Cuadro 3.3), las cuales se multiplican con los Volts para obtener la energía en kN.

**Cuadro 3. 3. Constantes de los octagonales utilizados.**

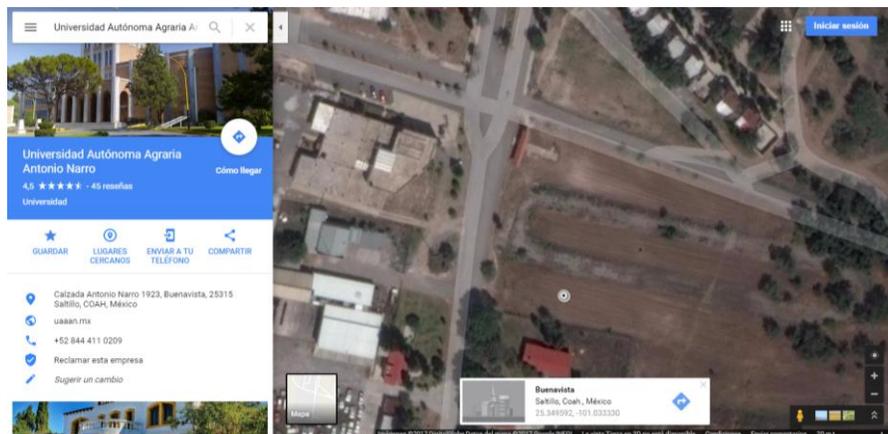
Constantes Nm/V de octagonales		
Verde	Amarillo	Rojo
15.86	15.85	20.85

**(Demanda de energía)** Para esto se utilizó un programa hecho en MatLab (Morales, 2014), para saber la energía neta en Joules (J), demandada por cada corrida o repetición, y hacer una comparación entre los kN obtenidos y los J.

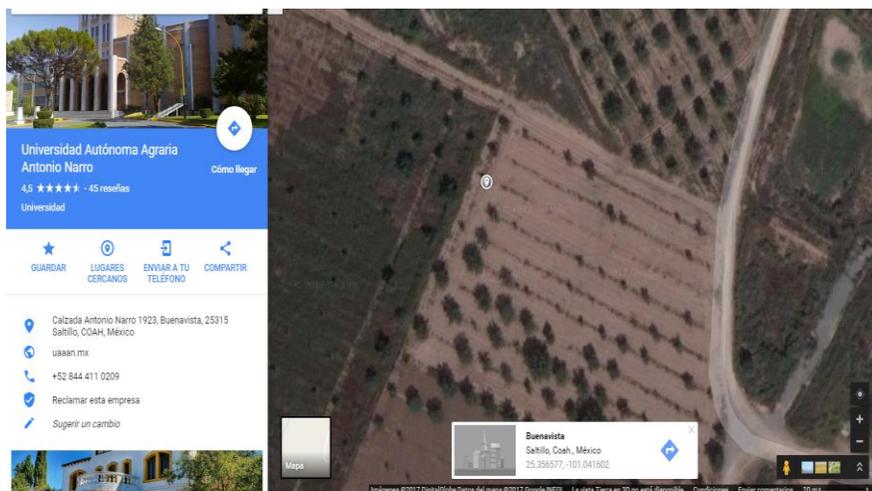
**(Análisis de varianza)** Con el software Minitad 17 se hizo el análisis de varianza para la demanda de energía obtenida con los arreglos, SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1, CA45-2.

### 3.3.3.- Ubicación

En la (Figura 3.11) se muestra la ubicación donde se realizaron las 3 repeticiones con el cincel sin alas, y en la (Figura 3.12) las repeticiones con cincel con alas de 30 cm y 45 cm, en sus tres diferentes posiciones. Estas se realizaron dentro de la UAAAN, ubicada en Buena Vista, Saltillo, Coahuila.



**Figura 3. 11. Vista aérea de la ubicación de trabajo con SA.**



**Figura 3. 12. Vista aérea de la ubicación de trabajo con CA30 y CA45.**

### 3.3.4.- Área de la labor

Se hicieron mediciones con el perfilometro de 3 metros de longitud para obtener el área disturbada (Figura 3.13) que se generó con cada arreglo, para saber la calidad de la labor de estos. En el (Cuadro 3.4) se muestran ejemplos al azar de las variables utilizadas, para cada área disturbada de cada repetición, se hicieron tres levantamientos de lectura de área o perfil para cada uno de estas, nombrándose P1, P2 y P3.



Figura 3.13. Toma de perfil de la labranza.

Cuadro 3. 4. Ejemplo de variables de los perfiles a medir de las repeticiones.

Variable	Significado
SAR1P1	Cinzel sin alas repetición 1, perfil 1
CA30-1R3P1	Cinzel con alas de 30 cm, posición 1, repetición 3, perfil 1
CA30-2R1P2	Cinzel con alas de 30 cm, posición 2, repetición 1, perfil 2
CA30-3R1P2	Cinzel con alas de 30 cm, posición 3, repetición 1, perfil 2
CA45-1R2P1	Cinzel con alas de 45 cm, posición 1, repetición 2, perfil 1
CA45-2R3P2	Cinzel con alas de 45 cm, posición 2, repetición 3, perfil 2
CA45-3R1P3	Cinzel con alas de 45 cm, posición 3, repetición 1, perfil 3

#### **3.3.4.1.- Procesamiento de los perfiles**

En esta etapa del proyecto se realizó un programa para calcular el área de cada perfil obtenido, este se elaboró en el software MatLab R2010, este programa nos da el área en  $\text{cm}^2$  y el área sombreada del perfil.

## IV.- RESULTADOS

### 4.1.-Evaluación en campo

La evaluación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las pruebas SA se llevaron a un costado del departamento de Mecánica Agrícola (Figura 4.1), y las CA30 y CA45, en el lugar conocido como el bajo dentro de la misma universidad (Figura 4.2).



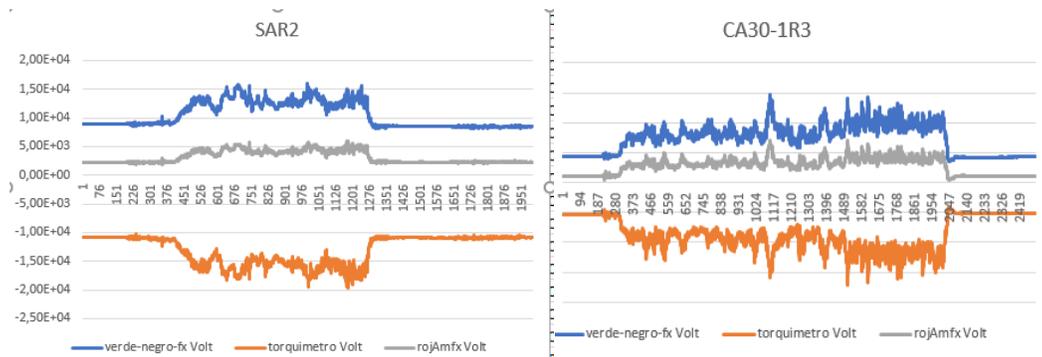
**Figura 4. 1. Evaluación de SA.**



**Figura 4. 2. Evaluación de CA30 y CA45.**

En estas evaluaciones se utilizó el equipo de adquisición de datos, en los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2, obteniendo los datos y procesándolos para determinar la demanda de energía que requirió cada arreglo. Con el software Excel

2016 se obtuvieron las gráficas en *mV* de las fuerzas de reacción del suelo, como se muestra en la (Figura 4.3).

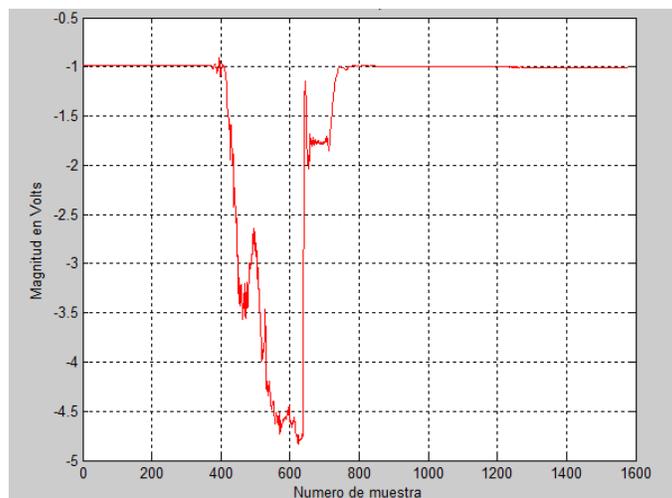


**Figura 4. 3. Gráficas obtenidas para SA y CA30-1.**

Un ejemplo de las fuerzas de reacción del suelo, para cada arreglo se muestran en la (Figura 4.3) y en el (**anexo 7.1**) se muestran todas las gráficas, con sus réplicas y arreglos correspondientes.

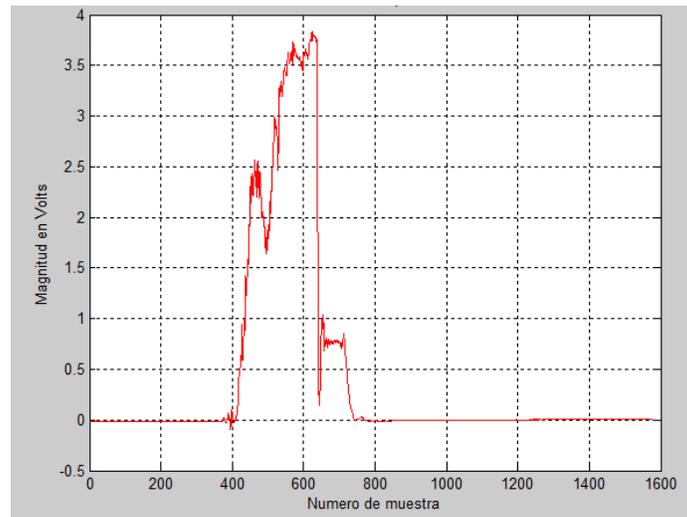
#### 4.2.- Resultados del análisis espectral

Con el software MatLab 2010, se analizaron las fuerzas de reacción del suelo generando los espectrales de cada octagonal, para posteriormente obtener los valores de voltaje obtenidos de cada repetición. En la (Figura 4.4) se muestra un ejemplo del espectral para el octagonal amarillo en la corrida SA.



**Figura 4. 4. Espectral de las fuerzas de reacción del suelo para el octagonal amarillo SAR1.**

En la (Figura 4.5) se muestra como la gráfica es desplazada a cero y toma valores positivos para su procesamiento empleando el programa análisis3.m (anexo 7.6) y obtener el voltaje medio generado por las fuerzas de reacción del suelo, para cada una de las corridas.



**Figura 4. 5. Oct Amarillo SAR1 desplazando valores a cero.**

#### **4.3.- Resultados de las fuerzas obtenidas**

El voltaje obtenido en el análisis espectral (Anexo 7.2), es multiplicado por las constantes de cada octagonal que están en Nm/V, para obtener los kN, que demando la labor de cada arreglo, la constante para el octagonal verde es de 15.86 Nm/V, el amarillo 15.85 Nm/V y el rojo en 20.85 Nm/V (Cruz, 2014).

En el (Cuadro 4.1) se muestran las medias y desviación estándar de los resultados obtenidos al multiplicar los Volts por las constates de cada octagonal, obteniendo los kN demandados.

Para los diferentes tamaños de ala, junto con los dos ángulos de trabajo, se ve incrementada la fuerza de manera significativa en comparación con el arreglo sin alas.

Para las alas el que demanda la mayor cantidad de fuerza de tiro, es el arreglo CA45-1 que es de 26.1 kN, mientras que los arreglos CA30-1, CA30-2 y CA45-2 las fuerzas son casi iguales obteniendo 22.2 kN, 22.6 kN y 22.8 kN respectivamente.

**Cuadro 4. 1. Fuerza de tiro para cada arreglo (kN).**

	Medias de las fuerzas de tiro				
	R1	R2	R3	Md	Sd
SA		8,59	10,6	9,57	1,39
CA30-1	20	32,1	14,3	22,2	9,11
CA30-2	22,1	31	14,7	22,6	8,19
CA45-1	30,3	22	25,9	26,1	4,13
CA45-2	15,8	26	26,6	22,8	6,05

#### 4.3.1.- Análisis de varianza para las fuerzas

Con el software Minitab 17, se realizaron los cálculos para obtener la variación de la fuerza de tiro de los arreglos realizados, estos resultados se muestran en los siguientes cuadros.

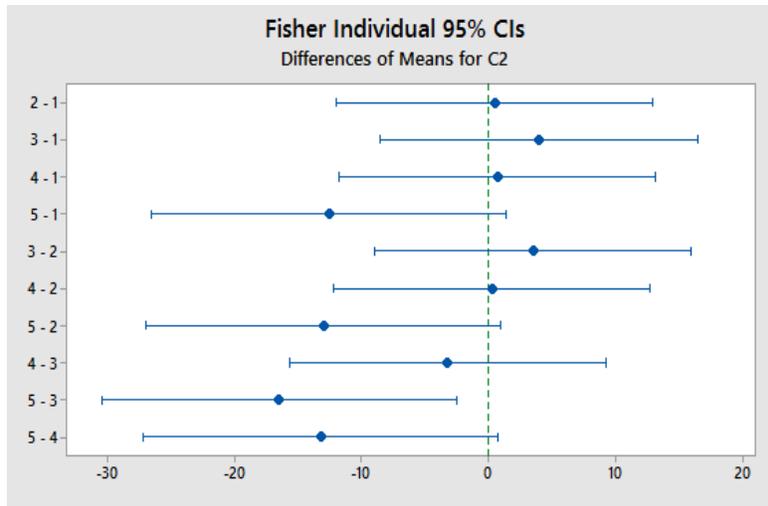
**Cuadro 4. 2. Análisis de varianza para la fuerza de tiro.**

Análisis de varianza					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Arreglos	4	357.3	89.32	1.96	0.184
Error	9	409.4	45.48		
Total	13	766.6			

**Cuadro 4. 3. Medias y desviación estándar para la fuerza de tiro.**

Medias				
Arreglo	N	kN	StDev	95% CI
CA30-1	3	22.17	9.11	(13.36; 30.97)
CA30-2	3	22.60	8.19	(13.79; 31.41)
CA45-1	3	26.07	4.13	(17.26; 34.88)
CA45-2	3	22.81	6.05	(14.00; 31.62)
SA	2	9.573	1.386	(-1.215; 20.361)

En la (Figura 4.6) se muestra la gráfica de las diferencias de medias de la fuerza de tiro utilizando el método Fisher con un 95% de eficiencia.



**Figura 4. 6. Diferencia de medias de la fuerza de tiro.**

En el (Cuadro 4.4) se muestra el resultado de la diferencia de medias, para saber que arreglos son estadísticamente iguales.

**Cuadro 4. 4. Arreglos estadísticamente iguales.**

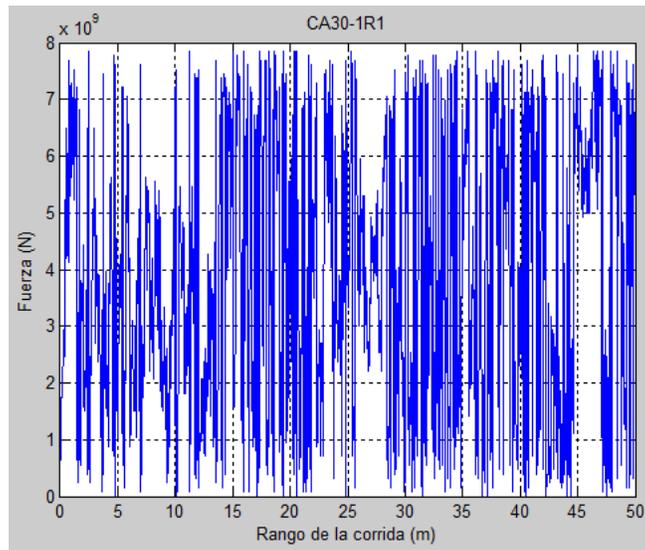
Arreglo	N	kN	Grouping	
CA45-1	3	26.07	A	
CA45-2	3	22.81	A	B
CA30-2	3	22.60	A	B
CA30-1	3	22.17	A	B
SA	2	9.573		B

Las mismas letras indican que son iguales estadísticamente.

Los arreglos con alas CA30 y CA45, en sus dos posiciones pertenecen al mismo grupo (A), por lo que son estadísticamente iguales, y el arreglo SA pertenece al grupo (B) con los arreglos CA30-1, CA30-2 y CA45-2. Lo anterior indica que no existe diferencia significativa entre la fuerza demandada para los arreglos con alas, existiendo diferencia estadística de estas dos con respecto al cincel sin alas.

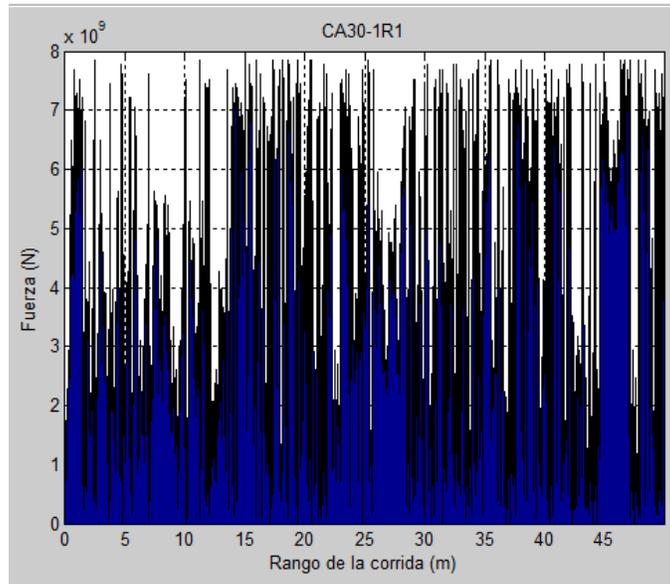
#### 4.4.- Resultados de energía demandada

Se utilizó el programa generado en MatLab por (Morales 2014), para obtener la energía neta de la fuerza de tiro demandada en la evaluación, con los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2, para esto fue necesario crear archivos en (.txt) de cada una de las repeticiones con el equipo de adquisición de datos. En la (Figura 4.7) se muestra la gráfica generada con el programa, dando los límites donde se va a procesar la información y así poder calcular los Joules que demandó la labor.



**Figura 4. 7. Límites para el análisis de demanda de energía de CA30-1R1.**

La (Figura 4.8) muestra el área sombreada del análisis, que es la demanda de energía de esa repetición en Joules.



**Figura 4. 8. Demanda de energía de CA30-1R1.**

Las gráficas de cada arreglo se encuentran en el (anexo 7.3).

En el (Cuadro 4.5) se muestran los resultados de la energía demandada de los arreglos para cada repetición en Joules.

**Cuadro 4. 5. Demanda de energía de cada repetición en Joules.**

	Demanda de energía (J) e+10				
	R1	R2	R3	Md	Sd
<b>SA</b>		11,702	15,737	13,720	2,853
<b>CA30-1</b>	19,358	21,554	18,262	19,725	1,676
<b>CA30-2</b>	21,916	16,572	19,336	19,275	2,673
<b>CA45-1</b>	19,208	21,438	20,039	20,228	1,127
<b>CA45-2</b>	16,542	21,38	19,377	19,100	2,431

La mayor demanda de energía total fue de 20.228 Joules para el arreglo de CA45-1. Después de esto, el programa obtiene la energía neta, cuando le proporcionamos la longitud de la repetición y el ancho de trabajo, que en estas pruebas fueron de 50 m de longitud y el ancho de trabajo de 0.60 m.

El (Cuadro 4.6) muestra los resultados de esto último en MJ/ha, para cada arreglo, con sus repeticiones.

**Cuadro 4. 6. Demanda de energía en MJ/ha.**

	Demanda de energía (MJ/ha) e+7				
	R1	R2	R3	Md	Sd
<b>SA</b>		3,905	5,246	4,575	0,948
<b>CA30-1</b>	6,453	7,185	6,088	6,575	0,559
<b>CA30-2</b>	7,305	5,524	6,445	6,425	0,891
<b>CA45-1</b>	6,403	7,146	6,680	6,743	0,376
<b>CA45-2</b>	5,514	7,127	6,459	6,367	0,810

En el cuadro anterior (4.6), se aprecia que las repeticiones con el arreglo SA demandaron menor energía en comparación con los cuatro arreglos CA30 y CA45, el arreglo CA45-1 fue quien más energía demandó con 6.743MJ/ha.

#### 4.4.1.- Análisis de varianza para la demanda de energía

Con el software Minitab 17, se analizó la demanda de energía en (MJ/ha), para obtener la variación. Arrojándonos los siguientes resultados (Cuadro 4.7 y 4.8).

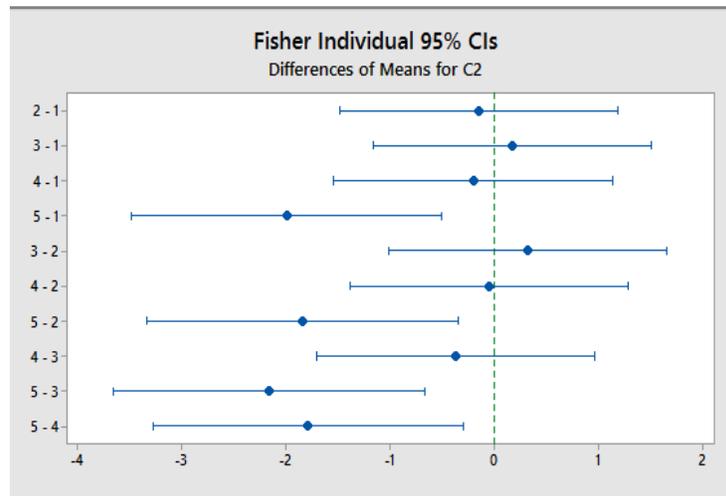
**Cuadro 4. 7. Análisis de varianza para la demanda de energía.**

Análisis de varianza					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
<b>Arreglos</b>	4	6.790	1.6976	3.25	0.066
<b>Error</b>	9	4.704	0.5227		
<b>Total</b>	13	11.494			

**Cuadro 4. 8. Medias y desviación estándar de la demanda de energía.**

Medias				
Arreglo	N	MJ/ha	StDev	95% CI
CA30-1	3	6.575	0.559	(5.631 ; 7.520)
CA30-2	3	6.425	0.891	(5.480 ; 7.369)
CA45-1	3	6.743	0.375	(5.799 ; 7.687)
CA45-2	3	6.367	0.810	(5.422 ; 7.311)
SA	2	4.575	0.948	(3.419 ; 5.731)

En la (Figura 4.9) se muestra la gráfica generada en el software Minitab 17, donde se aprecia las diferencias de las medias del análisis utilizando el método Fisher.



**Figura 4. 9. Diferencias de medias.**

En este análisis se obtuvo si los resultados de la energía demandada eran estadísticamente iguales utilizando el método Fisher, en el (Cuadro 4.9), se aprecia que los arreglos con alas tuvieron un resultado igual uno de otro, mientras que el arreglo SA quedó en un grupo diferente.

**Cuadro 4. 9. Arreglos estadísticamente iguales de la demanda de energía.**

<b>C1</b>	<b>N</b>	<b>MJ/ha</b>	<b>Grouping</b>	
CA45-1	3	6.743	A	
CA30-1	3	6.575	A	
CA30-2	3	6.425	A	
CA45-2	3	6.367	A	
SA	2	4.575		B

El cuadro 4.9 muestra que la mayor demanda de energía por hectárea está dada por los arreglos CA, con una media de 6.53 MJ/ha, existiendo diferencia significativa con el arreglo SA cuyo valor medio fue de 4.575 MJ/ha.

#### 4.5.- Resultados del levantamiento de los perfiles

Para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2, se tomaron las lecturas de los perfiles (Figura 4.10), para poder saber el área disturbada que cada arreglo generó, con el uso del perfilometro y con una cinta métrica para medir la parte de las varillas que quedaban fuera del área trabajada, se tomó un ancho de un metro para la toma de estas lecturas, utilizando 19 varillas.



**Figura 4. 10. Toma de lectura de los perfiles del área disturbada.**

Las lecturas que se tomaron con el perfilometro para estos arreglos se encuentran en el (Cuadro 4.10), donde se muestran las medias de los cm que se encuentran sobre la parte de arriba del perfilometro.

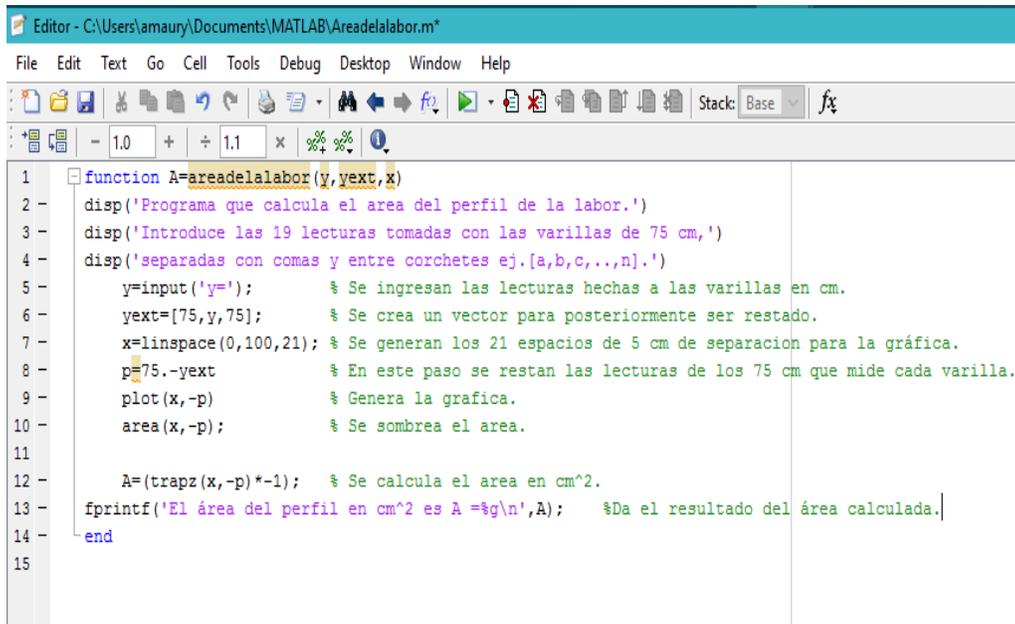
**Cuadro 4. 10. Lectura de los perfiles, para el área disturbada.**

	Media de las lecturas de los perfiles (cm)																		
<b>SA</b>	53,9	53,1	47,8	48	50,2	50,2	45,7	45,8	39,7	36,6	41,4	48,4	55,1	59,4	53,6	51,9	53,4	59,6	60,5
<b>CA30-1</b>	54,7	50	47,5	43,8	47,2	44,5	44,3	39,9	36	34,2	40,1	41,2	46,2	49	48,1	45,9	47,2	53,9	58,6
<b>CA30-2</b>	60,9	56,4	50,4	47,3	48,4	46,8	47,1	41,2	40,8	35,7	38,1	43,9	41,5	45	49,1	45,4	46,7	52,3	107
<b>CA45-1</b>	59,2	59,2	55,3	49,2	52,2	48,1	48,5	43,4	43	40	40,6	43,8	42,6	43,9	46,4	46,9	45,7	49,9	56,7
<b>CA45-2</b>	48,7	47,1	44,4	43,1	49,2	48,1	47,8	43,3	32,9	30,4	30	38,8	40,8	43,2	40,4	44	45,2	48	51,4

Todas las lecturas de los perfiles para cada arreglo se encuentran en el (anexo 7.4)

Después de haber obtenido las lecturas de los perfiles, se calcula el área de cada uno de estos con el programa *areadelalabor.m* elaborado en MatLab 2010, este programa grafica el área sombreada del perfil, y los  $\text{cm}^2$ .

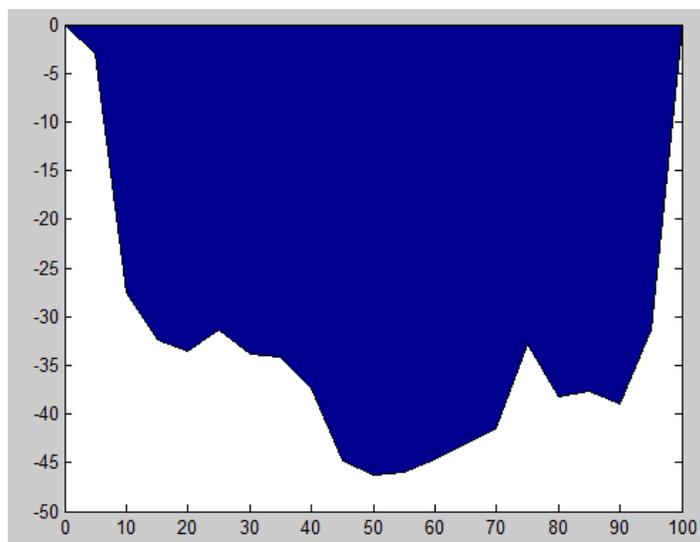
En la (Figura 4.11) se muestra la compilación del programa para calcular el área del perfil en  $\text{cm}^2$ .



```
1 function A=areadelalabor(y,yext,x)
2 disp('Programa que calcula el area del perfil de la labor.')
3 disp('Introduce las 19 lecturas tomadas con las varillas de 75 cm,')
4 disp('separadas con comas y entre corchetes ej.[a,b,c,..,n].')
5 y=input('y='); % Se ingresan las lecturas hechas a las varillas en cm.
6 yext=[75,y,75]; % Se crea un vector para posteriormente ser restado.
7 x=linspace(0,100,21); % Se generan los 21 espacios de 5 cm de separacion para la gráfica.
8 p=75.-yext % En este paso se restan las lecturas de los 75 cm que mide cada varilla.
9 plot(x,-p) % Genera la grafica.
10 area(x,-p); % Se sombrea el area.
11
12 A=(trapez(x,-p)*-1); % Se calcula el area en cm^2.
13 fprintf('El área del perfil en cm^2 es A =%g\n',A); %Da el resultado del área calculada.
14 end
15
```

**Figura 4. 11. Programa areadelalabor.m elaborado en MatLab R2010.**

En la (Figura 4.12) se aprecia el área sombreada del perfil que el programa genera al ingresar los datos obtenidos en las lecturas de los perfiles.



**Figura 4. 12. Área disturbada CA30-2R2P2.**

En el (anexo 7.5) se muestran las áreas disturbadas de cada arreglo.

Los resultados obtenidos para cada arreglo y repeticiones se muestran en los siguientes cuadros:

En el (Cuadro 4.11) se muestra las medias de las áreas de los perfiles de los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2, para cada repetición en m<sup>2</sup>.

**Cuadro 4. 11. Medias de áreas disturbadas de cada repetición.**

	Áreas (m <sup>2</sup> )			Med Total (m <sup>2</sup> )
	R1	R2	R3	
<b>SA</b>	0,211	0,283	0,212	0,235
<b>CA30-1</b>	0,357	0,217	0,263	0,279
<b>CA30-2</b>	0,273	0,326	0,202	0,267
<b>CA45-1</b>	0,250	0,240	0,275	0,255
<b>CA45-2</b>	0,278	0,314	0,321	0,304

Se puede apreciar que el arreglo SA es el que menor área genero con 0.235 m<sup>2</sup>, mientras los que más área disturbada generaron fueron los arreglos CA30-1 y CA45-2, con 0.279 m<sup>2</sup> y 0.304 m<sup>2</sup> respectivamente.

Las áreas de cada de cada perfil se encuentran en el (anexo 7.5), para cada arreglo.

#### 4.6.- Analisis de varianza de las áreas

Utilizando el software Minitab 17 se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadros 4.12 y 4.13):

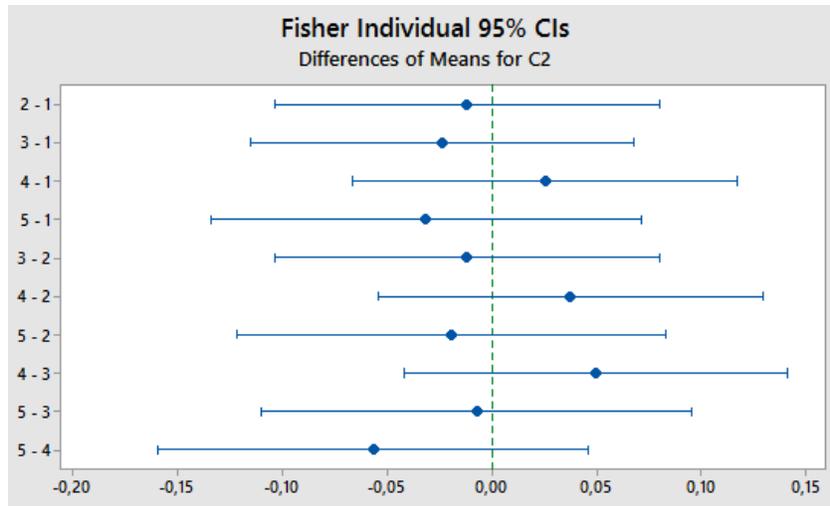
**Cuadro 4. 12. Medias y desviación estándar de las áreas.**

<b>Medias</b>				
<b>Arreglo</b>	<b>N</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>StDev</b>	<b>95% CI</b>
CA30-1	3	0.2790	0.0714	(0.2142; 0.3438)
CA30-2	3	0.2670	0.0622	(0.2022; 0.3318)
CA45-1	3	0.2550	0.0180	(0.1902; 0.3198)
CA45-2	3	0.3043	0.0231	(0.2395; 0.3691)
SA	2	0.2475	0.0502	(0.1681; 0.3269)

**Cuadro 4. 13. Arreglos estadísticamente iguales de las áreas.**

<b>Arreglo</b>	<b>N</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Grouping</b>	
CA45-2	3	0.3043	A	
CA30-1	3	0.2790	A	
CA30-2	3	0.2670	A	
CA45-1	3	0.2550	A	
SA	2	0.2475	A	

Se puede apreciar que los resultados del análisis estadístico utilizando el método de Fisher son estadísticamente iguales para todos los arreglos con una media de 0.2705 m<sup>2</sup>, por pertenecer al mismo grupo, en la (Figura 4.13) se muestra la gráfica de este análisis.



**Figura 4. 13. Diferencia de medias de las áreas.**

#### 4.7.- Esfuerzo específico

Una vez que se obtuvieron las fuerzas en kN y las medias de las áreas (m<sup>2</sup>) de cada repetición, se calculó el esfuerzo específico (kN\*m<sup>-2</sup>), promediando las fuerzas obtenidas de los octagonales verde y amarillo, que miden la fuerza de tiro, dividiéndolas entre las medias totales de las áreas disturbadas, como se muestra en la ecuación siguiente.

$$Energía Específica = \frac{\frac{Oct\ verde + Oct\ amarillo}{2}}{Med\ Total\ m^2}$$

Los resultados obtenidos del esfuerzo específico, que cada arreglo requirió se muestra en el (Cuadro 4.14) a continuación.

**Cuadro 4. 14. Esfuerzo específico de cada arreglo (kN/m<sup>2</sup>).**

Esfuerzo Especifico				
	R1	R2	R3	Md
<b>SA</b>		30.353	49.764	40.0585
<b>CA30-1</b>	56.1064	148.156	54.41	86.224
<b>CA30-2</b>	81.062	95.153	72.5247	82.913
<b>CA45-1</b>	121.08	91.75	94.29	102.37
<b>CA45-2</b>	56.94	82.70	82.95	74.196

En el cuadro anterior (4.14) vemos que, en relación con la fuerza empleada para roturar el suelo y el área de este, el arreglo que menor esfuerzo demandó fue el SA con 40.058 kN/m<sup>2</sup>, mientras que el arreglo que más esfuerzo demanda fue CA45-1 con 102.37 kN/m<sup>2</sup>.

#### 4.7.1.- Análisis de varianza del esfuerzo específico

Con el software Minitab 17 se obtuvieron los resultados de las medias y desviación estándar del esfuerzo específico, como se muestra en los (Cuadros 4.15 y 4.16)

**Cuadro 4. 15. Medias y desviación estándar del esfuerzo específico.**

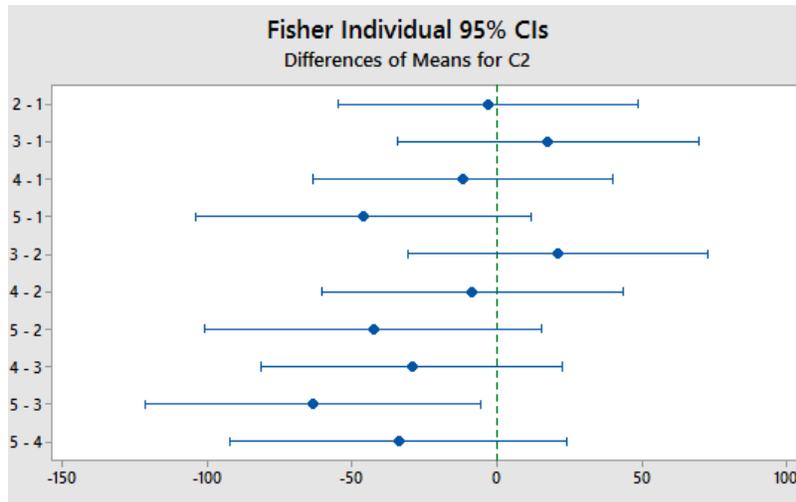
Medias				
Arreglo	N	kN/m <sup>2</sup>	StDev	95% CI
CA30-1	3	86.2	53.6	(49.5; 122.9)
CA30-2	3	82.91	11.43	(46.22; 119.61)
CA45-1	3	103.71	15.06	(67.01; 140.40)
CA45-2	3	74.20	14.95	(37.50; 110.89)
SA	2	40.06	13.73	(-4.88; 85)

**Cuadro 4. 16. Arreglos estadísticamente iguales de la energía específica.**

Arreglo	N	kN/m <sup>2</sup>	Grouping	
CA45-1	3	103.71	A	
CA30-1	3	86.2	A	B
CA30-2	3	82.91	A	B
CA45-2	3	74.20	A	B
SA	2	40.06		B

Se puede apreciar que los únicos arreglos que no se encuentran en el mismo grupo son el arreglo CA45-1 con el SA, esto indica que no son estadísticamente iguales.

Se puede ver en la (Figura 4.14), la gráfica donde se muestra la diferencia de estos arreglos.



**Figura 4. 14. Diferencia de medias de esfuerzo específico.**

#### **4.8.- Arreglos CA30-3 y CA45-3**

Para estos arreglos que tienen un ángulo en las alas de 5° con respecto a la horizontal, solamente se tomaron las lecturas de los perfiles, pero en estas repeticiones se removieron los agregados (Figura 4.15) que el implemento rompió, para tener una mejor perspectiva de la labor.



**Figura 4. 15. Remoción de la disturbación del suelo.**

Se hizo la remoción del suelo para las tres repeticiones de los arreglos CA30-3 y CA45-3, tomando tres perfiles por cada repetición. También se removió el suelo en las repeticiones SA, tomando un perfil por repetición.

#### **4.8.1.- Resultados de lectura de perfiles**

Después de haber removido el suelo para tomar las lecturas, se utilizó nuevamente el perfilometro con las varillas de 75 cm (Figura 4.16), e igual que en los arreglos anteriores (SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2), se midieron con una cinta métrica para tener los datos de las longitudes que sobre salen del perfilometro, para posteriormente obtener el área disturbada.



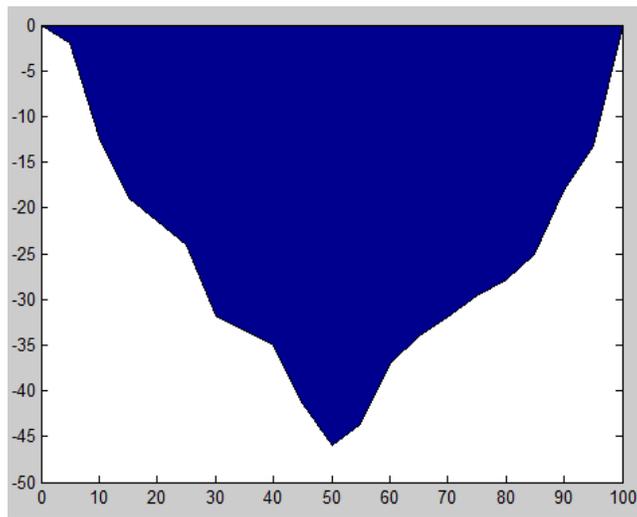
**Figura 4. 16. Toma de lectura del perfil con el suelo removido.**

En el (Cuadro 4.17) se muestran los resultados de las lecturas de los perfiles para los arreglos CA30-3 y CA45-3, en cm.

**Cuadro 4. 17. Media de las lecturas de los perfiles para CA30-3 y CA45-3.**

Medias de las lecturas de los perfiles																				
<b>CA30-3</b>	64	56,5	52,8	50,3	47,6	45,6	43,3	40,1	35,6	33,9	36,1	41,5	44,8	47,1	49,8	51,8	54,2	60,2	63	
<b>CA45-3</b>	65,4	54,3	57	54	52,1	49,2	46,7	41,5	36,8	34,8	36,1	41,7	45,2	46,7	50,2	52,6	55,9	62,2	65,4	

Las lecturas de los perfiles para estos arreglos, se encuentran en el (anexo 7.4). Con el programa creado en MatLab 2010, se calcularon las áreas de las lecturas anteriores, y se graficaron los perfiles obtenidos (Figura 4.15).



**Figura 4. 17. Área disturbada CA45-3R1P2.**

Las áreas disturbadas de los arreglos se encuentran en el (anexo 7.5)

Los (Cuadros 4.18, 4.19 y 4.20) muestran las áreas obtenidas para los arreglos ya mencionados en  $\text{cm}^2$ .

**Cuadro 4. 18. Área disturbada para CA30-3.**

	CA30-3 ( $\text{cm}^2$ )		
	R1	R2	R3
<b>P1</b>	2609	2679	2562
<b>P2</b>	2656	2526	2084
<b>P3</b>	2463	2975	2184
<b>Med</b>	2576,00	2726,67	2276,67
<b>Sd</b>	100,64	228,26	252,11

**Cuadro 4. 19. Área disturbada para CA45-3.**

.	CA45-3 (cm <sup>2</sup> )		
	R1	R2	R3
<b>P1</b>	2392	2343	2219
<b>P2</b>	2633	2293	2126
<b>P3</b>	2555	2400	2242
<b>Med</b>	2526,67	2345,33	2195,67
<b>Sd</b>	122,97	53,54	61,42

**Cuadro 4. 20. Área disturbada para SA.**

	SA cm <sup>2</sup>			
	R1	R2	R3	Md
<b>P</b>	2374	1630	2106	2036,67

El (cuadro 4.21) contiene las medias de las áreas de los perfiles de CA30-3 y CA45-3 y SA, en metros cuadrados.

**Cuadro 4. 21. Áreas disturbadas para CA30-3, CA45-3 y SA en m<sup>2</sup>.**

	Áreas m <sup>2</sup>			
	R1	R2	R3	Md
<b>CA30-3</b>	0,26	0,27	0,23	0,25
<b>CA45-3</b>	0,25	0,23	0,22	0,24
<b>SA</b>	0,24	0,16	0,21	0,20

El arreglo de mayor área disturbada mostro fue CA30-3 con 0.25 m<sup>2</sup>, en comparación con el arreglo CA45-3, fueron muy similares, ya que este último tuvo un área disturbada de 0.24m<sup>2</sup>, mientras que con 0.20 m<sup>2</sup> de área disturbada el arreglo SA fue el menor de los tres arreglos.

#### **4.8.2.- Análisis de varianza de las áreas con remoción del suelo**

Utilizando el programa Minitab 17 se obtuvieron las medias y la desviación estándar de las áreas de los perfiles con remoción del suelo, en el (Cuadro 4.22) se muestran estos resultados y en el (Cuadro 4.23) se puede apreciar si los arreglos son estadísticamente iguales.

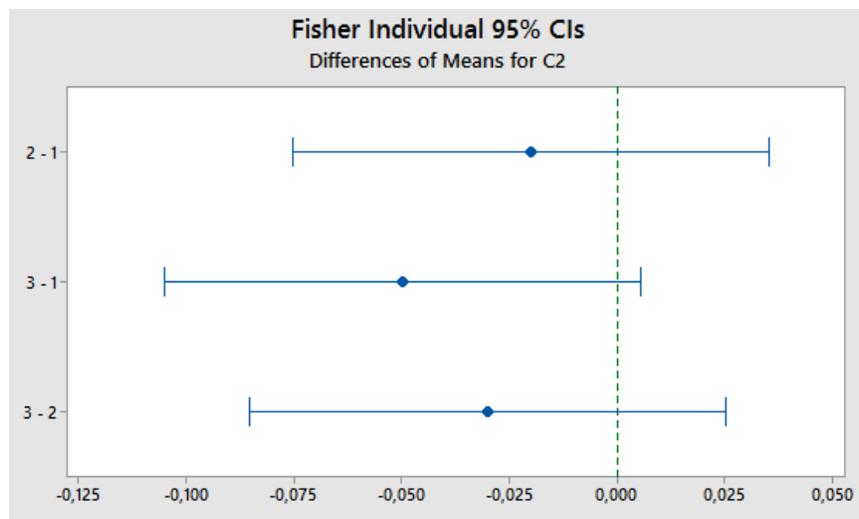
**Cuadro 4. 22. Medias y desviación estándar de las áreas con remoción del suelo.**

Medias				
Arreglo	N	m <sup>2</sup>	StDev	95% CI
CA30-3	3	0.2533	0.0208	(0.2142; 0.2924)
CA45-3	3	0.23333	0.01528	(0.19422; 0.27245)
SA	3	0.2033	0.0404	(0.1642; 0.2424)

**Cuadro 4. 23. Arreglos estadísticamente iguales de las áreas con remoción del suelo.**

Arreglo	N	m <sup>2</sup>	Grouping
CA30-3	3	0.2533	A
CA45-3	3	0.23333	A
SA	3	0.2033	A

Los tres arreglos son estadísticamente iguales, debido a que se encuentran en el mismo grupo. En la (Figura 4.18) se muestra la gráfica de estos resultados.



**Figura 4. 18. Diferencia de medias de las áreas.**

## V.- CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

No existe diferencia significativa entre la fuerza demandada para los arreglos con alas, existiendo diferencia estadística de estas dos con respecto al cincel sin alas.

La mayor demanda de energía por hectárea está dada por los arreglos CA, con una media de 6.53 MJ/ha, existiendo diferencia significativa con el arreglo SA cuyo valor medio fue de 4.575 MJ/ha.

El análisis estadístico de los perfiles de disturbación muestra que las áreas son estadísticamente iguales para todos los arreglos con una media 0:2705 m<sup>2</sup>.

Existe diferencia significativa en la resistencia específica. Se puede apreciar que los únicos arreglos que no se encuentran en el mismo grupo son el arreglo CA45-1 la mayor resistencia específica en comparación con el SA con, esto indica que no son estadísticamente iguales.

Para el arreglo con ángulo 3 el arreglo de mayor área disturbada mostro fue CA30-3 con 0.25 m<sup>2</sup>, en comparación con el arreglo CA45-3, fueron muy similares, ya que este último tuvo un área disturbada de 0.24m<sup>2</sup>, mientras que con 0.20 m<sup>2</sup> de área disturbada el arreglo SA fue el menor de los tres arreglos.

## VI.- LITERATURA CITADA

**Agamennoni, R.** 1996. Rotaciones y labranzas en la región semiárida bonaerense sur. En Labranzas en la Región Semiárida Argentina. D. Buschiazzo, J. Panigatti y F. Babinec. Ed. INTA CERLAP-San Luis.

**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. Andrade, P., Rosa, U.A., Upadhyaya, S.K., Jenkins, B.M., Aguera, J.

**Arvidsson, J., T. Keller, and K. Gustafsson.** 2004. Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil Tillage Res. 79:221-231.

**Ashburner, J. y Sims, B.** 1984. Elementos de diseño del tractor y herramienta de labranza. IICA, San José, Costa Rica. 474 p. (Serie de Libros y Materiales Educativos No. 56).

**Baligar, V.C. and Nash, V.E.** 1978. Sorghum root growth as influenced by soil physical properties. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 9: 583-594.

**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.

**Barber, R.** 1997. Los principales tipos de labranza. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 8:59-86. Roma Italia.

**Braunack, M.V. and Dexter, A.R.** 1988. The effect of aggregate size in seedbed on surface crusting and growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*, L. cv. Halberd) under dryland conditions. Soil Tillage Res. 11: 133145.

**Buckingham F. 1984.** Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo. Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. E. U. A.

**Camacho, J.H. y G.A. Rodríguez. 2007.** Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo. Agric. Téc. 67(1):60-67

**Campos-Magaña, S. G., Aragón, R. A.; Cadena-Zapata, M. 2000.** Diseño y comportamiento de tres transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA. X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA 2000.

**Clyde, A.W. 1936.** Measurement of forces on soil tillage tool. Agric. Engng. Vol. 17.

**De Dios, C. 1972.** Potencia y energía absorbidas por máquinas de labranza y siembra. INTA, Pergamino, Argentina, Informe técnico No. 116. 10 p.

**De Toro, A., and J. Arvidsson. 2003.** Influence of spring preparation date and soil water content on seedbed physical conditions of a clay soil in Sweden. Soil Tillage Res. 70:141-151.

**Dojarenko, A.G. 1924.** The study of soil structure from the ratio of noncapillary and capillary porosity, and its significance in soil fertility. Russ. J. Agric. Sci. 1: 451-474.

**Edmundo, H. H. 1987.** Manejo y conservación de suelos. Programa de cooperación agrícola del Cono Sur. Dialogo XXIV., pp. 95-116. Santiago, Chile.

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

**Friedrich, T. 1997.** Conceptos y objetivos de la labranza en agricultura conservacionista. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín No. 8 de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 4: 29-38. Roma Italia.

**Garner, T.H., R.B. Dodd, D. Wolf and U.M. Peiper. 1988.** Force analysis and application of a three-point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE. 31(4):1047-1053.

**Godwin, R. J. 1975.** An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies. J. Agric. Eng. Res., 20: 347-352.

**Godwin, R. J., A. J. Reynolds, M. J. O'Dogherty, A.A. Ai-Ghazal. 1993.** A triaxial dynamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. Agric. Engng. Rese., 55(3): 189-205.

**Godwin, R. J., Magalhaes, P. S. G., Miller, S. M. and Fry, R. K. 1987.** Instrumentation to Study the Force System and Vertical Dynamic Behavior of Soil-engaging Implements. J. Agric. Eng. Res., 36: 301-310.

**Godwin, R.J. 1974.** An investigation into the mechanics of narrow tines in frictional soils. Ph.D. Thesis, Univ. of Reading, 248 pp.

**Hadas, A. and Russo, D. 1974.** Water uptake by seeds as affected by water stress, capillary conductivity, and seed-soil water contact. II Analysis of experimental data. Agron. J. 66: 647-652.

**Hakanson, I. and von Polgar, J. 1976.** Model experiments into the function of the seedbed. I. The seedbed as a protective layer against drought. Agricultural collage of Sweden, Uppsala, Reports from the Division of Soil Management. Nr. 46.

**Hakanson, I. and von Polgar, J. 1977.** Model experiments into the function of the seedbed. II. Experiments with stratified and unstratified seedbeds. Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala, Reports from the Division of Soil Management. Nr. 53.

**Hoag, D. L. And Yoerger, R. R. 1975.** Analysis and Design of Load Rings. Trans. ASAE, 19: 995-1000.

**Hoag, D. L. And Yoerger, R. R. 1975.** Analysis and Design of Load Rings. Trans. ASAE, 19: 995-1000.

**Hunt, D. 1987.** Farm power and machinery management. 7th ed. Iowa State University Press. pp.28-52; 277-288

**IDAE (2005)** (Instituto para la diversificación y ahorro en la energía). Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 1. Madrid, España, pp. 5-28.

**IDAE. 2006.** Ahorro, eficiencia energética y sistemas de laboreo agrícola. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España. 2ª Edición corregida. Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W. 2003. Design and Development of a Three-point Auto Hitch Dynamometer for an Agricultural Tractor. AJSTD, 20(3 and 4): 271-288.

**Jaggi, I.K., Gorantiwar, S.M. and Khanna, S.S. 1972.** Effect of bulk density and aggregate size on wheat growth. J. Indian Soc. Soil Sci. 20: 421-423.

**Jain, N.K. and Agrawal, J.P. 1970.** Effect of clod size in the seedbed on development and yield of sugar cane. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 795-797.

**Johnson, W.H. and Taylor, G.S. 1960.** Tillage treatments for corn on clay soils. Trans. ASAE. 3: 4-7, 10.

**Kepner, R.A., R. Bainer and E.L. Barger. 1978.** Principles of farm machinery. Avi Pub. Co., Westport, Conn., USA, 527 p.

**Khan, J., Godwin, R. J., Kilgour, J. and Blackmore, B. S. 2007.** Design and Calibration of a Bi-axial Extended Octagonal Ring Transducer System for the Measurement of Tractor-implement Forces. J. Eng. Appl. Sci., 2(1): 16-20.

**Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W. 2003.** Design and Development of a Three-point Auto Hitch Dynamometer for an Agricultural Tractor. AJSTD, 20(3 and 4): 271-288.

**Kostritsyn, A.K. 1956.** Cutting of cohesive soil medium with knives and cones. Vsesoiuzz Akad. Sel'skokhoziaistvennykh Nauk. Zeml. Mekh. Sborn. Trudov, Leningrad, 3:247-290.

**Kvasnikov, V.V. 1928.** The structure of the soil and yields. Russ. J. Agric. Sci. 5: 459-482.

**Lal, R. 1995.** Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. Soils Bulletin 71. FAO, Rome, Italy.

**Larson, W.E. 1964.** Soil parameters for evaluating tillage methods and operations. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 118-122.

**Lowen, E. G., Marshall, E. R. and Shaw, M. C. 1951.** Electric Strain Gauge Tool Dynamometers. Proc. Soc. Exp. Stress Analysis, 8(2): 1-16.

**Marín, O.L. 2003.** Desarrollo de un transductor de fuerza para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y torsionantes. Tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

**Marquez, L. (2005).** Los tractores en la agricultura española. Costes de utilización. Madrid España, pp. 68-72.

**Martinez-Rubin, C.E., López-Martinez, J.D., Díaz-Martínez, J.R. and Valdez, C.R. 2001.** Modelos de simulación para estimar el consumo energético requerido para efectuar la labranza. TERRA 20(2): 183-188.

**Mayerhof, G.G. 1951.** The ultimate bearing capacity of foundation. Geotechnique, 2(4): 301-332.

**McKyes, E. 1985.** Soil Cutting and Tillage. Elsevier, Amsterdam, 217 p. (Developments in Agricultural Engineering No 7).

**McKyes, E. 1989.** Agricultural Engineering Soil Mechanics. ELSEVIER p. 192-219.

**McKyes, E. and Ali, O.S. 1977.** The cutting of soil by narrow blades. J. Terramechanics 14(2): 43-58.

**McLaughlin, N. B., Tessier, S. and Guilbert, A. 1998.** Improved Double Extended Octagonal Ring Drawbar Transducer for 3-D Measurement. *Can. Agric. Eng.*, 40: 257-264.

**Miller, P.C.H. 1971.** Soil Failure and the nature of the force system with very narrow tines. B.Sc. Thesis, Nat. Col. Agric. Eng., Silsoe, Benford, U.K.

**Mojica, L.E.D. 2000.** Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para la labranza de conservación empleando equipo multiuso tracción animal. Tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, México.

**Moo-Yam, V.M.J. 1999.** Desarrollo y evaluación de un sistema de adquisición de datos para la evaluación de implementos de labranza. Tesis, Maestría, Universidad Veracruzana, Instituto de ingeniería, Veracruz, Veracruz, México.

**Mouazen, A.M., and H. Ramón. 2002.** A numerical-statistical hybrid modeling scheme for evaluation of different manure incorporation tools in a loamy sand soil. *Soil Tillage Res.* 58:19-29.

**Nash, V.E. and Baligar, V.C. 1974.** The growth of soybean (*Glycine max*, L.) roots in relation to soil micromorphology. *Plant Soil.* 41: 81-89.

**Njøs, A. 1979.** Aggregate size distribution in the seedbed. Effects on soil temperature, matric suction, and emergence of barley (*Hoedeum Vulgare* L) A review of some research on clayey soils in south eastern Norway. Yhe 8th Conf. of the Int. Soil Tillage Research Org. ISTRO, Hohenheim 1: 121-129.

**O'Callaghan, J. R. and K. M Farrelly. 1964.** Cleavage of soil by tined implements. *J. Agric. Eng. Res.*, 9(3): 259-270.

**O'dogherty, M. J. 1975.** A Dynamometer to Measure the Forces on a Sugar Beet Topping Knife. 20: 339-345.

**O'dogherty, M. J. 1996.** The Design of octagonal Ring Dynamometer. *J. Agric.Eng. Res.*, 63: 9-18.

**Raper, R. L. and J. S. y Bergtold. 2007.** In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Appl. Eng. Agric.* 23: 463-471.

**Russell, E.W. 1973.** *Soil Conditions and Plant Growth*, 10th edn. Longmans, London. 849 pp.

**Ryzhov, S.N. and Slesareva, L.N. 1977.** Effect of the structure of irrigated Sierozems on the development of the root system of cotton. *Sov. Soil Sci.* 9: 477-490.

**Sakurai, H. 1996.** An application of strain gages to the agricultural machinery. Edit. Farm machinery section. 2nd Training Division. Tsukuba International Centre (TBIC). Japan International Cooperation Agency (JICA).

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

**Taylor, M.S. 1974.** The effect of soil aggregate size on seedling emergence and early growth. *East Afr. Agric. For. J.* 40: 204-213.

**Tisdall, J.M. and Adem, H.H. 1986b.** The effect of reduced tillage of an irrigated silty soil and of a mulch on seedling emergence, growth and yield of maize (*Zea mays*) harvested for silage. *Soil Tillage Res.* 6: 365-375.

**Yoder, R.E. 1937.** The significance of soil structure in relation to the tilth problem. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 2: 21-33.

## VII.- ANEXOS

### 7.1.- Graficas de los mV demandados en la labor, para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2.

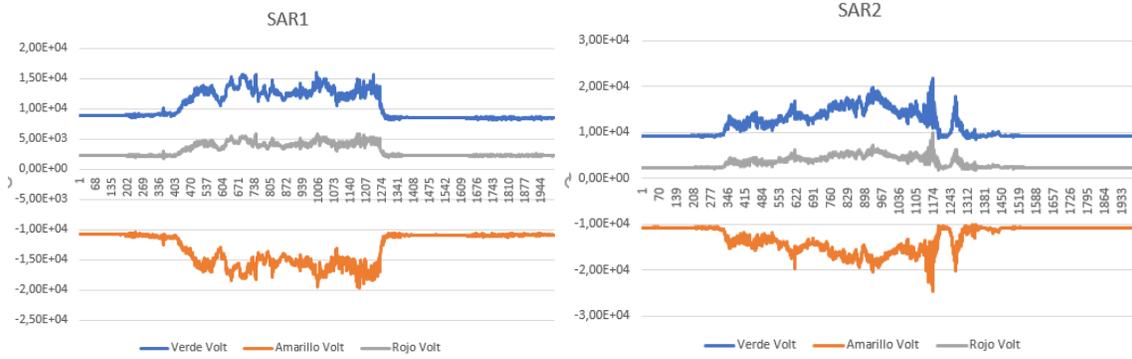


Figura 7. 1. Graficas de mV para SA.

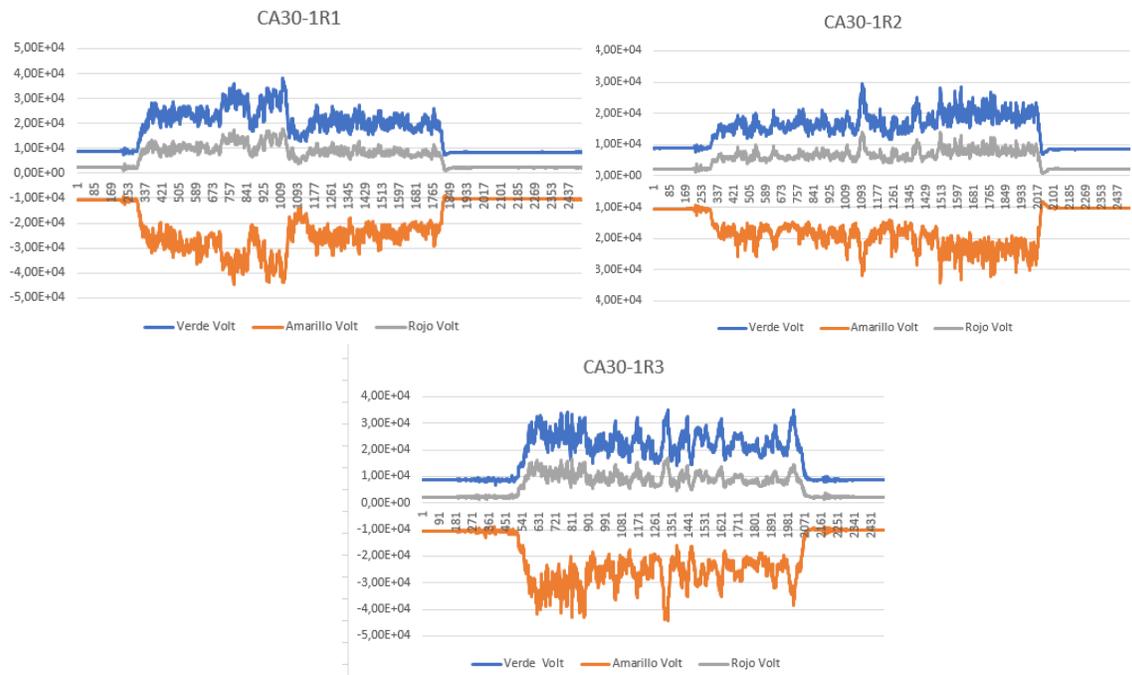


Figura 7. 2. Graficas de mV para CA30-1.

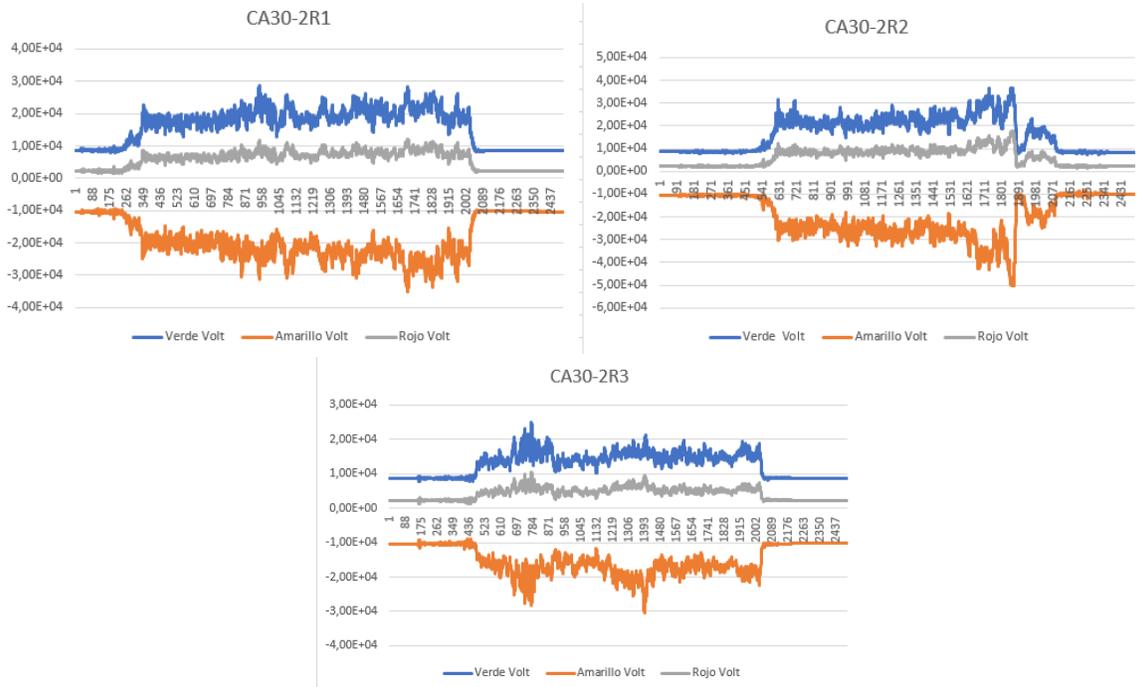


Figura 7. 3. Gráficas de mV para CA30-2.

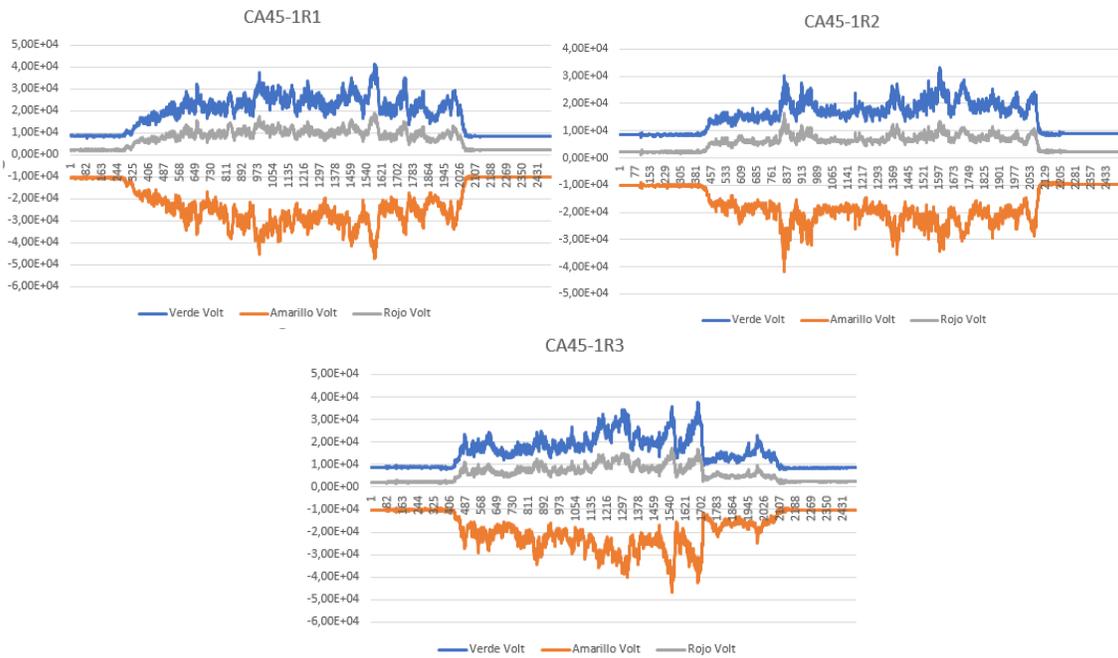


Figura 7. 4. Gráficas de mV para CA45-1.

## 7.2.- Resultados de los mV, que se calcularon con el análisis espectral para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2.

En el (Cuadro 7.1) se muestran los resultados que se obtuvieron, en el análisis espectral para cada uno de los arreglos, con sus tres repeticiones.

**Cuadro 7. 1. Voltaje demandado de cada octagonal.**

	Octagonal Verde					Octagonal Amarillo					Octagonal Rojo				
	R1	R2	R3	Med	Sd	R1	R2	R3	Med	Sd	R1	R2	R3	Med	Sd
SA		0,5	0,69	0,6	0,14		0,58	0,64	0,61	0,04		0,24	0,3	0,27	0,04
CA30-1	1,18	1,82	0,86	1,29	0,49	1,34	2,23	0,94	1,51	0,66	0,6	0,98	0,48	0,69	0,26
CA30-2	1,3	1,45	0,84	1,2	0,32	1,49	2,47	1,01	1,66	0,74	0,63	0,69	0,43	0,58	0,14
CA45-1	1,73	1,34	1,51	1,53	0,2	2,09	1,44	1,76	1,76	0,33	0,92	0,67	0,8	0,8	0,12
CA45-2	1,02	1,5	1,54	1,35	0,29	0,98	1,77	1,82	1,52	0,47	0,45	0,72	0,75	0,64	0,17

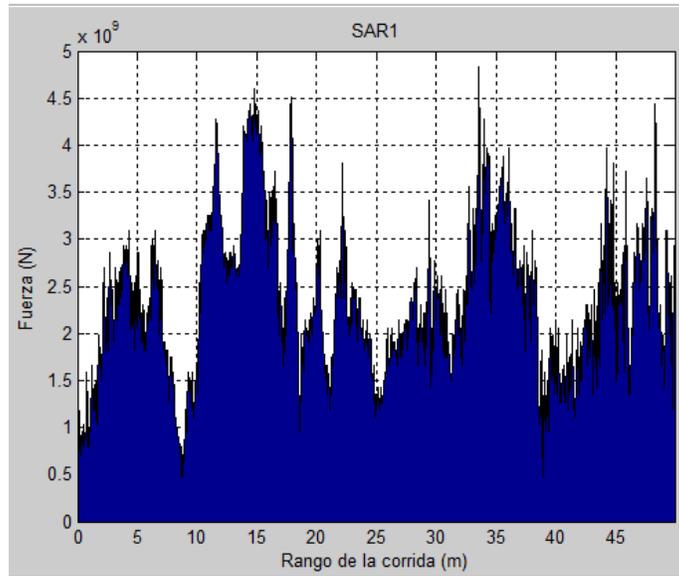
El (cuadro 7.2) muestra los kN demandados estos se calcularon multiplicando los Volts con las constantes de cada octagonal.

**Cuadro 7. 2. Fuerza demandada de cada arreglo en kN.**

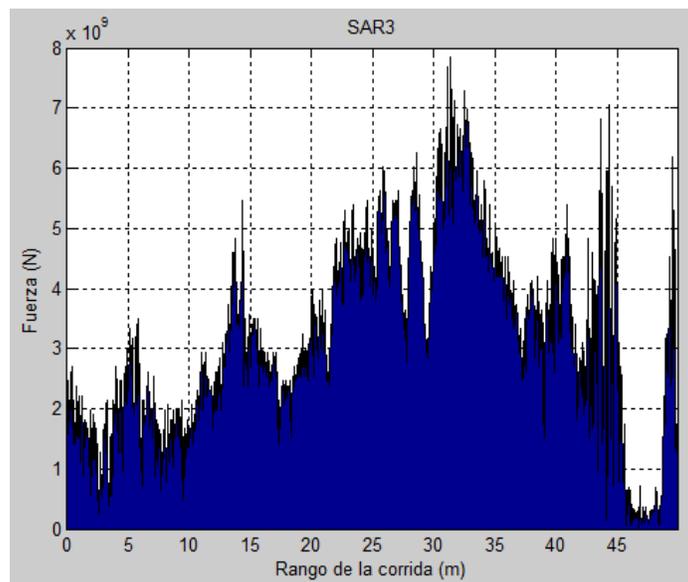
	Octagonal Verde					Octagonal Amarillo					Octagonal Rojo				
	R1	R2	R3	Med	Sd	R1	R2	R3	Med	Sd	R1	R2	R3	Med	Sd
SA		7,936	11	9,47	2,169		9,25	10,1	9,676	0,603		5,027	6,207	5,617	0,834
CA30-1	18,77	28,9	13,66	20,44	7,761	21,3	35,39	14,97	23,89	10,45	12,53	20,5	10,1	14,38	5,436
CA30-2	20,68	22,94	13,27	18,96	5,061	23,59	39,1	16,04	26,24	11,76	13,17	14,44	8,897	12,17	2,906
CA45-1	27,47	21,28	23,97	24,24	3,103	33,07	22,76	27,89	27,91	5,156	19,08	13,97	16,68	16,58	2,559
CA45-2	16,18	23,82	24,41	21,47	4,59	15,48	28,11	28,85	24,14	7,517	9,312	15,01	15,65	13,32	3,489

## 7.3.- Demanda de energía para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2.

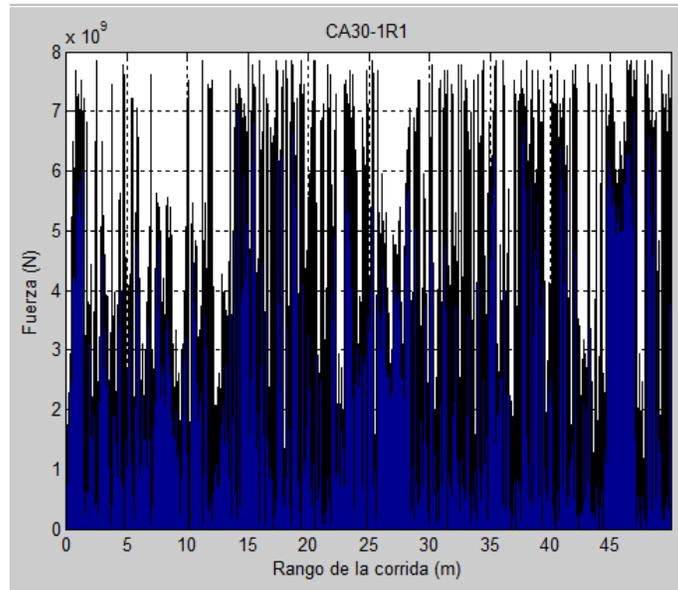
Se utilizó el programa elaborado en MatLab por Morales (2014), para calcular los Joules demandado, como se muestra en las siguientes figuras:



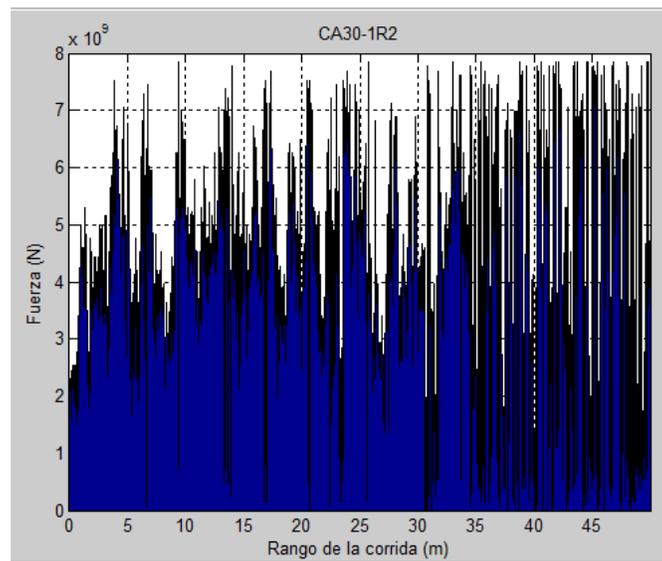
**Figura 7. 5. Demanda de energía de SAR2.**



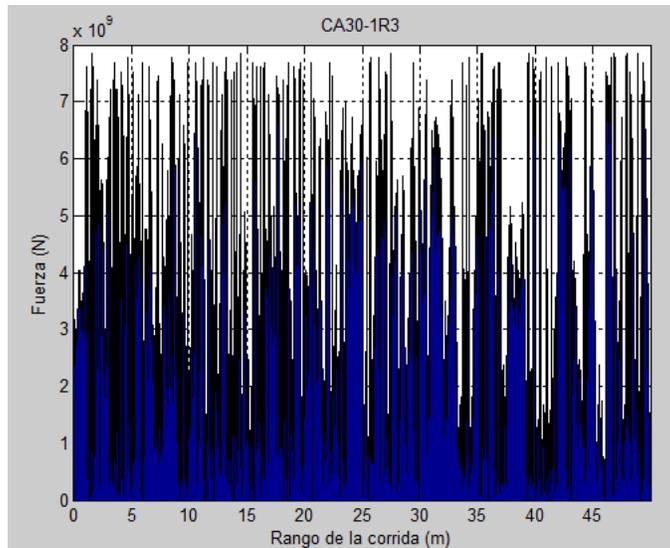
**Figura 7. 6. Demanda de energía de SAR3.**



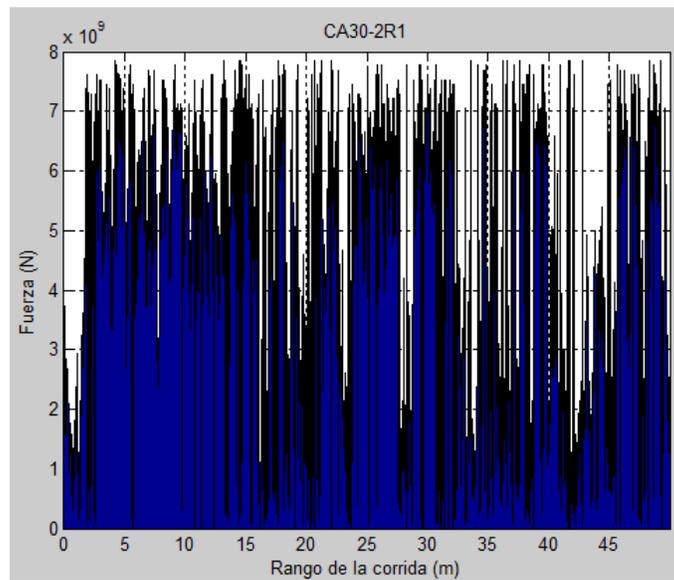
**Figura 7. 7. Demanda de energía de CA30-1R1.**



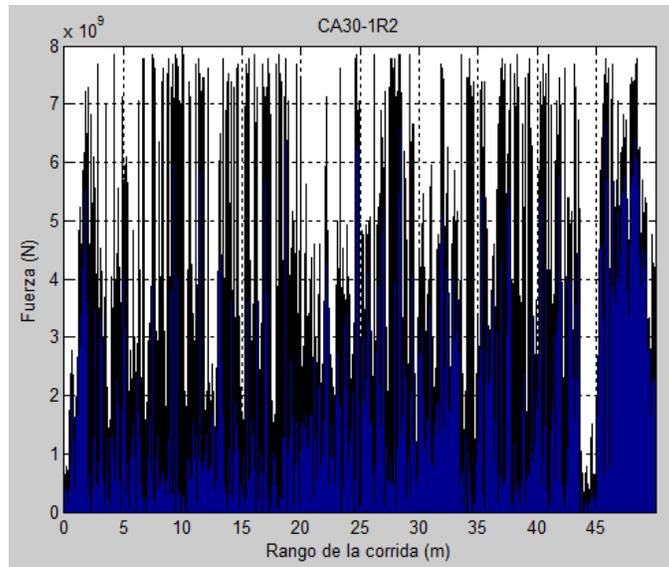
**Figura 7. 8. - Demanda de energía de CA30-1R2.**



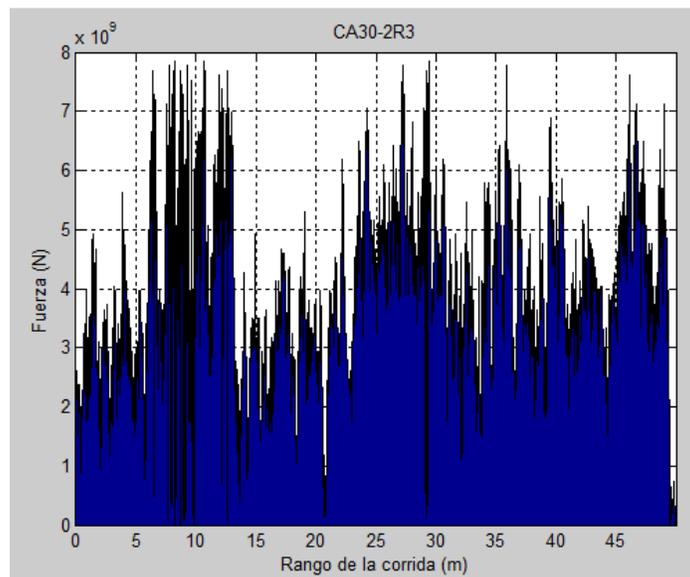
**Figura 7. 9. Demanda de energía de CA30-1R3.**



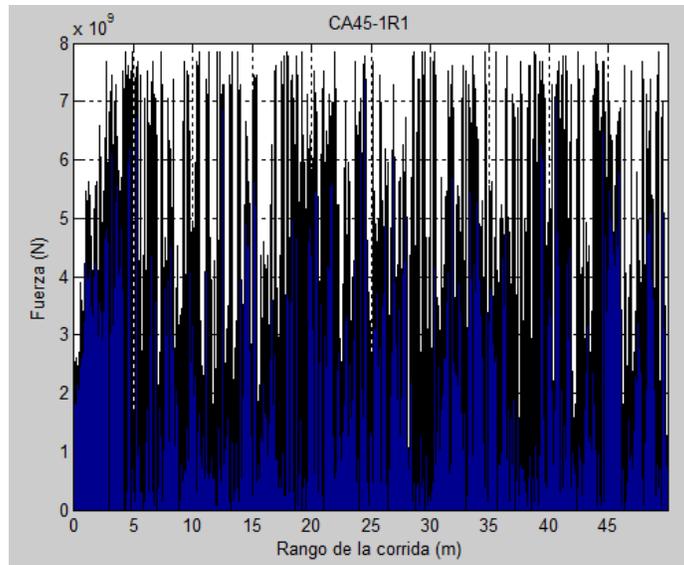
**Figura 7. 10. Demanda de energía de CA30-2R1.**



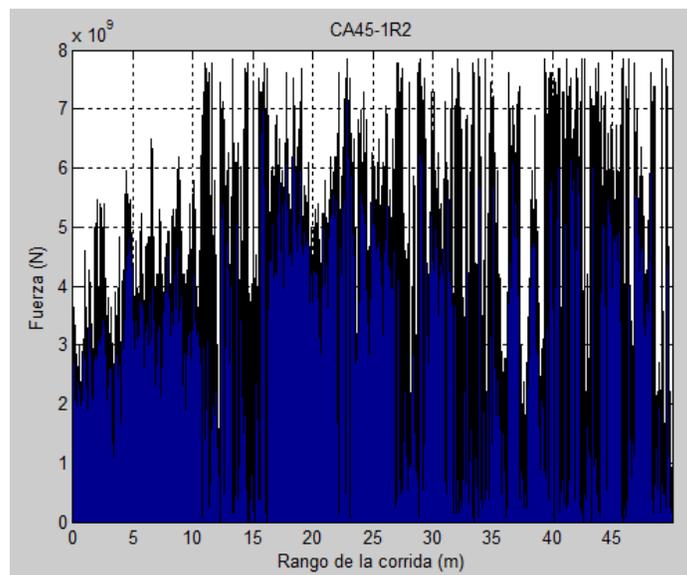
**Figura 7. 11. Demanda de energía de CA30-2R2.**



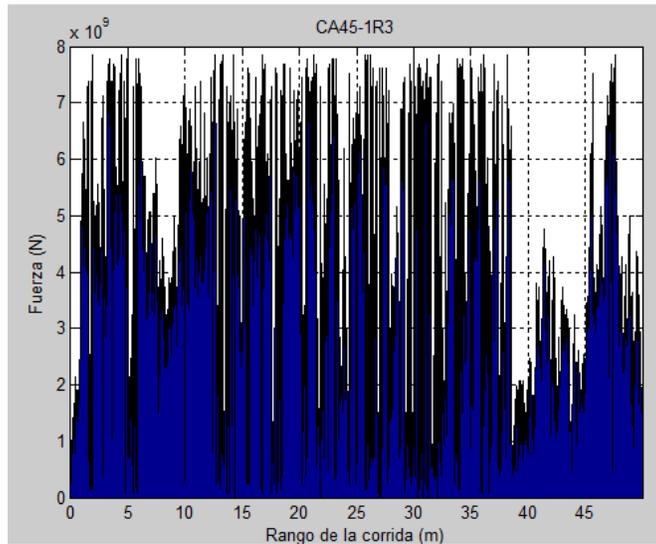
**Figura 7. 12. Demanda de energía de CA30-2R3.**



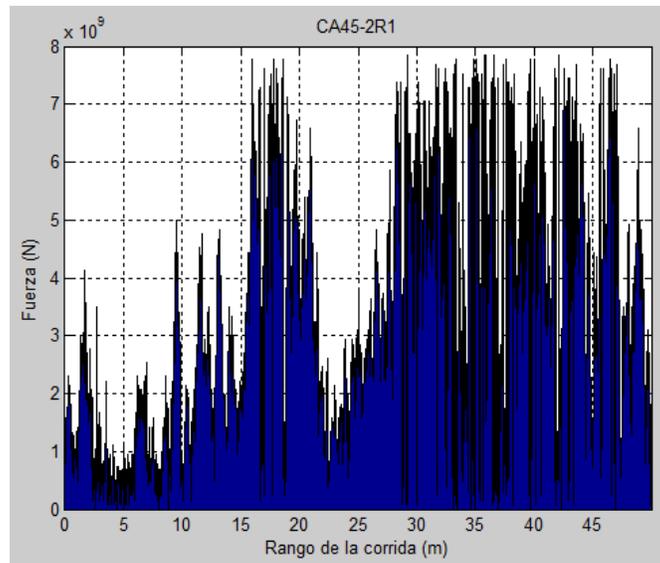
**Figura 7. 13. Demanda de energía de CA30-2R3.**



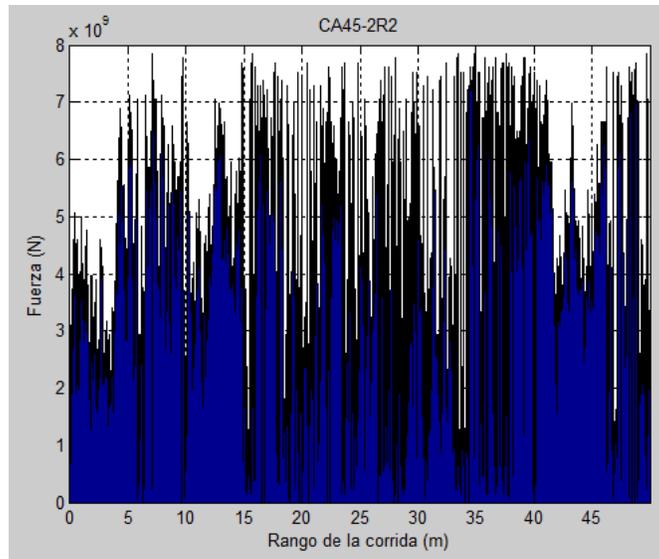
**Figura 7. 14. Demanda de energía de CA45-1R2.**



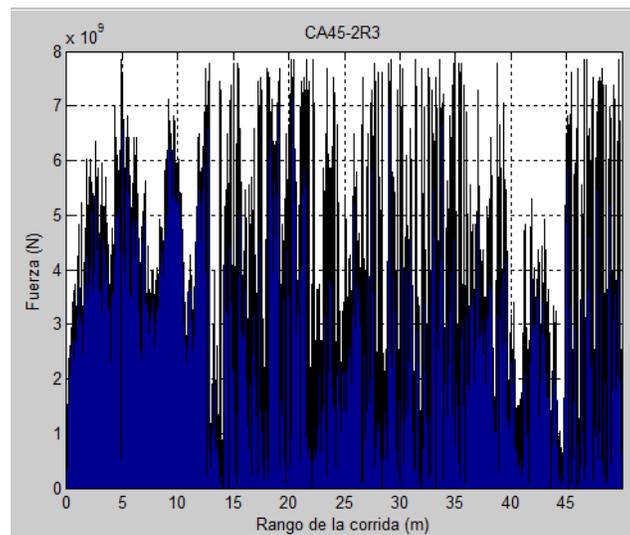
**Figura 7. 15. Demanda de energía de CA45-1R2.**



**Figura 7. 16. Demanda de energía de CA45-2R1.**



**Figura 7. 17. Demanda de energía de CA45-2R2.**



**Figura 7. 18. Demanda de energía de CA45-2R3.**

#### 7.4.- Lectura de los perfiles para calcular el área disturbada de cada repetición.

En el (Cuadro 7.2) se muestran las lecturas de los perfiles para los arreglos SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2.

**Cuadro 7. 3. Lectura de los perfiles SA, CA30-1, CA30-2, CA45-1 y CA45-2.**

Arreglos	Lecturas de perfiles (cm)																		
	65,4	59,2	50	51	50	50,6	39,4	39,4	38,6	38	61,6	67,8	69,4	69,6	66,6	61	52,2	54	59,2
SAR1P1	65,4	59,2	50	51	50	50,6	39,4	39,4	38,6	38	61,6	67,8	69,4	69,6	66,6	61	52,2	54	59,2
SAR1P2	63,6	60	57	53	53,6	48	45	44	41,2	39,8	41,2	50	60	58	57	50,6	51	56	58
SAR1P3	50,8	50,6	52	50	48	46	42	47,2	40	41	49,4	50	60	60,2	56	48	58,2	66	67
SAR2P1	43	38,2	38	40	38,6	34	33	32,8	30	30	30	39	43	44	34	43	64	66,2	56,4
SAR2P2	34	36,2	23	33,8	42	32,6	36	40,6	34,4	36,2	39,2	24	46	51	50,4	53	40,6	60	66
SAR2P3	45	65	54	56	54,4	53	50	47,4	44,8	43	42,2	42	51	62,4	60	58,2	61	66,2	68
SAR3P1	61	50	51,4	49	54	63	60,4	54	42	36,6	37,6	63,8	66,2	65	47,6	48,4	48,6	52	53,2
SAR3P2	58	57,2	49,6	47,4	59	57,2	55,4	56,6	41	37	37,6	39,2	41	63	60,4	50	48	53	51,8
SAR3P3	64	61,4	55,6	52	51,8	67	50	50,6	45,6	28	42	60	59,6	61,6	50,2	55	57	63	64,6
CA30-1R1P1	56,4	36,2	38	41,8	43,4	35	33,8	30,6	28	28	28	35,4	55,4	56	51,2	41,4	44	59,6	62
CA30-1R1P2	45,4	31	42	32,4	47	51,4	54,4	39	29,8	21,4	24	30,4	32	35	38	39,6	37,4	36,6	41
CA30-1R1P3	54	56,4	28,4	31	41,6	25	22	22,2	22,6	28,2	31,6	31,8	35	34,8	34	25,6	26,8	27,2	50
CA30-1R2P1	60,4	61,4	60,6	53	59,4	58,6	41	53	37,4	35,8	51,6	39	53	63,6	62,3	63	66	69	71
CA30-1R2P2	62	58	57	45	38,6	44,4	54	45	37,8	48	52,4	57	64	61	61	64	63,4	68	70
CA30-1R2P3	62	61,6	57	57,2	60	57,2	54,4	54,4	53	35	33	39	35	36	39,2	38,6	42	43	41,6
CA30-1R3P1	63	43	45	44	46,4	46,6	62	39	38	37,6	60	45	46,8	48	47,4	42	51	66,4	71
CA30-1R3P2	43,4	50	49,6	47	49,4	49	46	40	39,6	37,2	38,4	54	46	49,2	45	47,4	56	58	58
CA30-1R3P3	46	52	50	42,4	38,6	33,4	31	35,6	37,8	37	42	39	49	57	55,2	51,8	38	57	63
CA30-2R1P1	58	59,4	54,8	51,4	39	45	47	43	44	38,6	55	59,6	43,6	46,2	42	33,6	45	36,4	526
CA30-2R1P2	70	66	48	47,6	45	45	41,6	34,4	33,6	33,8	33	44,2	35,6	44	42	41	48	56,6	56
CA30-2R1P3	45	45,6	46,2	36	50	51,6	52,2	40	47,2	33	44	45,2	47,2	47,2	47	45,8	47,2	55,8	51
CA30-2R2P1	55,6	53	48	47,8	49,6	46	46	52,4	36	34	33	37	38,6	39	52	59,6	54	43,2	43
CA30-2R2P2	72	47,4	42,6	41,4	43,6	41,2	40,8	37,6	30,2	28,8	29	30,4	32	33,6	42,2	36,8	37,4	36	43,6
CA30-2R2P3	43,8	38,4	43,8	34,6	44	42	43,8	32,2	30,6	26,6	24,2	28,6	29	31,8	36	30	36,2	55	52,8
CA30-2R3P1	65,5	64	60,6	57,2	54	43,8	42,4	38	43	44,6	41	50,2	44,8	58	67,8	56,6	59	63	68
CA30-2R3P2	66	63,6	56,3	55,8	56,6	54	60	44,8	39,2	35,8	39,8	37,4	38,2	39,6	47,6	46,6	35	65,4	52
CA30-2R3P3	72,4	70	53,4	54	53,6	52,6	49,8	48	63,2	46	44	62,2	64,8	65,4	65,6	58,8	58,4	59,6	68,2
CA45-1R1P1	65	64	57,8	54	54	53,2	53,4	55	52	49,2	43,2	45,8	41	38,2	52	50	42,4	41,4	56
CA45-1R1P2	49,6	59,4	44,2	34	44	44,4	33,2	41	37,2	38,2	39,4	40	25,4	26,2	27	37,2	48	52	55,8
CA45-1R1P3	58	59	73	54,4	53	50,2	50	46,4	43	41,6	44,2	53	56	57,8	60,2	60	58	57,2	58,6
CA45-1R2P1	65	56,2	54,2	49,4	51,4	46	47	44,4	43,4	42	42	46,4	40	38,2	38,4	44,6	43	56	61
CA45-1R2P2	66,8	63	50,4	57,2	59,4	53	50,4	38	40,6	42,8	51,4	54,2	54,6	54	55,6	54,4	52	57,8	59,4
CA45-1R2P3	62	62	61	51	51,4	49	48,8	41,4	38,4	40,2	38,2	42	42,4	44	44	45	46,4	50,2	52
CA45-1R3P1	64,2	65,6	63	51,6	50	49	51	45,8	43,2	40,2	41	44,2	45	58,6	58	46,2	41,2	37,8	63,4

CA45-1R3P2	47,2	52,4	48	50,4	52,6	52,8	49,4	45	41,6	34,8	34,8	37	43,2	44,2	43,2	43,6	42,4	49	52
CA45-1R3P3	54,8	51,4	45,8	40,4	53,8	35,2	53	33,4	48	31	31	31,8	36	33,8	39,4	41,4	37,8	48	52,2
CA45-2R1P1	51,8	43	37,6	34,4	34	52,8	52	51	47,4	37,2	34	43	44,4	45,8	47,2	54,4	51	56	59
CA45-2R1P2	57,2	50	52,8	52	50	43	47,4	44,8	33,4	32	31,8	40	42,8	49	46,2	46,6	47,8	50,4	50,8
CA45-2R1P3	55	54	52	47	44,6	46	51,8	38,2	35,4	38,2	41,4	43,2	42	42	35,4	49	48,6	48,6	53,2
CA45-2R2P1	41	43	44,4	40,6	40,6	39	38	49	34,4	28,6	28,6	29,4	31	36	38	40	43,4	41	53
CA45-2R2P2	48,8	50,4	47	43	53,8	39	38,4	39,6	37,4	31	29	29	33,4	38	43,2	45,2	46	47	48,4
CA45-2R2P3	44,4	43	42	42	62,6	60	58,2	46,6	26,2	24,8	23,2	58,8	57,8	56	37	37,4	42,2	46,4	55,4
CA45-2R3P1	47,2	46,6	47	40	53,8	55,6	35	32,8	29	29,4	29	46	46,8	46,2	41	45	44,2	45,2	41
CA45-2R3P2	48,6	52	35	40,4	54,8	42,8	51,2	31,6	26,2	25	26	30,4	36,8	42	39	38,2	38	49,8	52,2
CA45-2R3P3	44	42,2	42	48,6	49	55	58	56,2	27	27,2	27	29	32,2	33,4	37	40,4	46	47,2	49,2

En el siguiente cuadro (7.3) se muestran las lecturas tomadas a los perfiles, para los arreglos CA30-3 y CA45-3.

**Cuadro 7. 4. Lectura de los perfiles para CA30-3 y CA45-3.**

Arreglos	Lecturas de perfiles (cm)																		
CA30-3R1P1	63,4	61,6	53,6	51,4	47	46	44	40	31,6	30	32,2	38	43,6	47,2	52,4	53	54	55,8	59
CA30-3R1P2	63,4	53,2	48,8	49	46	44	40	37	34	33,4	37	41,6	44	45	47	51	49,6	64	65,8
CA30-3R1P3	69,4	59,2	54,2	51,2	47,4	43	41	36	32,4	33,4	35,8	48	50	48,4	51,4	52,6	56	60	63
CA30-3R2P1	54,4	52,4	50,6	47,2	43,8	44	44	41,6	34	33	35,8	39,6	42,6	44,8	48	52,8	56	61,2	63,4
CA30-3R2P2	63	58,8	48,6	47,6	46	43,4	39,2	38,4	36	33	37,4	41,2	45,6	47	50,6	51	60,6	65	67,4
CA30-3R2P3	57,6	45,6	46	43,4	44	42	40	39	35,6	33	35	33,8	37,2	41,8	44,4	45,8	48	56,8	61
CA30-3R3P1	66	55,8	52	50	47	45,8	44	39,6	36,4	34,4	35,6	41,4	42,6	45,2	46,4	51	53,2	61,6	64,6
CA30-3R3P2	69	65	60,6	56,8	55,4	55,2	52,8	48	43,6	40	39,8	43,8	47,2	48,4	50,2	52,4	55,2	60,6	64,2
CA30-3R3P3	69,4	69,4	60,4	56	51,8	47,4	45	41	36,8	34,8	36,6	46,4	50,6	56	58	57	55,6	57	59
CA45-3R1P1	64	60	57,6	52,2	48	44,8	45,4	42,2	38,8	36	36,6	43,4	43,4	46,4	50,4	53	55,4	62,8	66,2
CA45-3R1P2	73	6,6	56	53,6	51	43,2	41,6	40	33,6	29	31,4	38	41	43	45,4	47,2	50	57	61,8
CA45-3R1P3	66,8	60	54,8	48	45,6	43,2	43,4	39,8	32,4	30,8	32,4	39,6	43	45,8	46,8	50,6	53,4	66,8	70,8
CA45-3R2P1	59	56,6	55	53	50,2	45	44,8	41	38	35	36	40,8	50,8	55	55	54,8	57,2	63	66,2
CA45-3R2P2	70	68	62,8	55,8	54	51,2	46,2	44,2	40,2	36,4	37,8	39,6	41,6	32,8	49,8	53	57,2	62	63,8
CA45-3R2P3	69	56	52,8	52,6	52,8	52	43,8	42	33,6	35,4	36	42,4	45,2	48,2	50,4	54,2	56	61,4	61,2
CA45-3R3P1	68	66	61	59	58,2	57	54,4	41	39,8	38,6	38	41,4	44,2	46	47,2	50,8	54,8	56,8	59
CA45-3R3P2	58,2	58,2	57	57,4	55,8	54,4	53,8	42,6	36,4	35	35,2	42,8	47,6	50,4	54,2	56,6	63	69,4	71,8
CA45-3R3P3	60,8	57,2	55,8	54	53,2	51,8	46,8	41	38,2	37	41,2	47,4	50	52,4	52,2	53,4	56	60,4	67,8

### 7.5.- Áreas disturbadas de cada arreglo.

En las figuras siguientes se muestran las áreas disturbadas, que se generaron en el programa MatLab 2010.

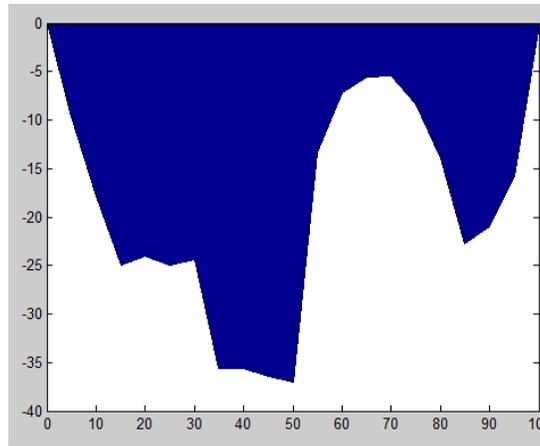


Figura 7. 19. Área disturbada SAR2P1.

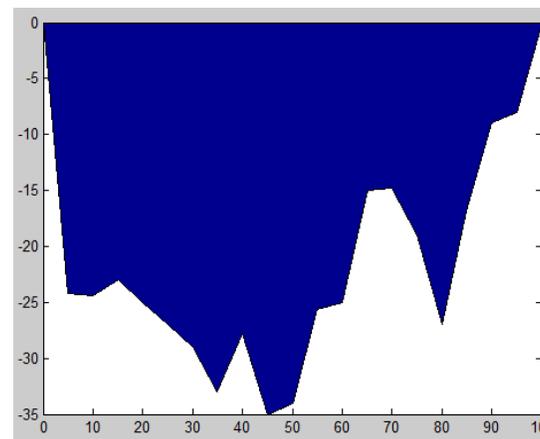
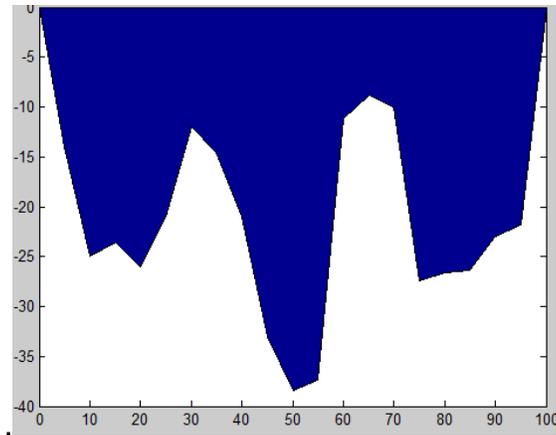
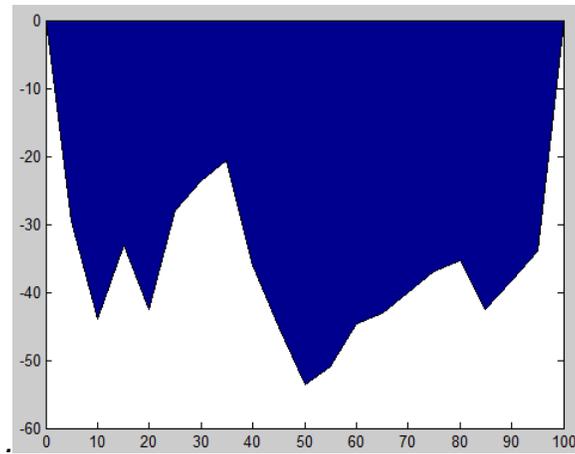


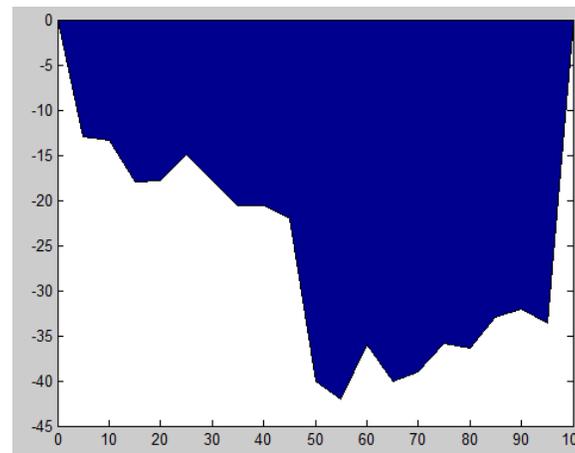
Figura 7. 20. Área disturbada SAR2P3.



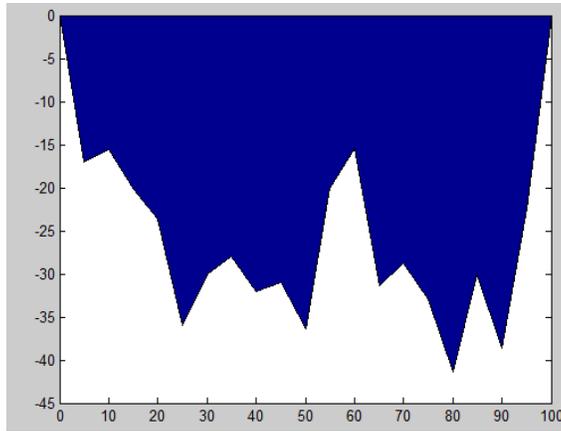
**Figura 7. 21. Área disturbada SAR3P1.**



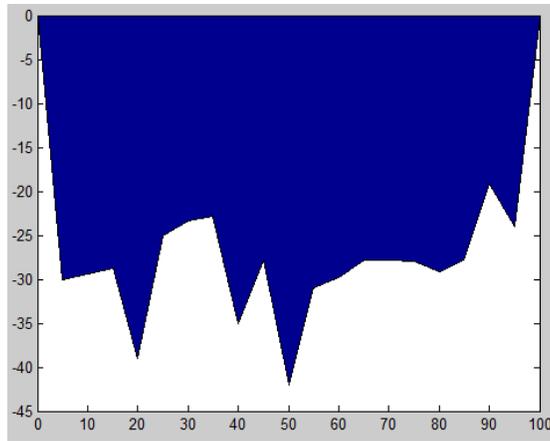
**Figura 7. 22. Área disturbada CA30-1R1P2.**



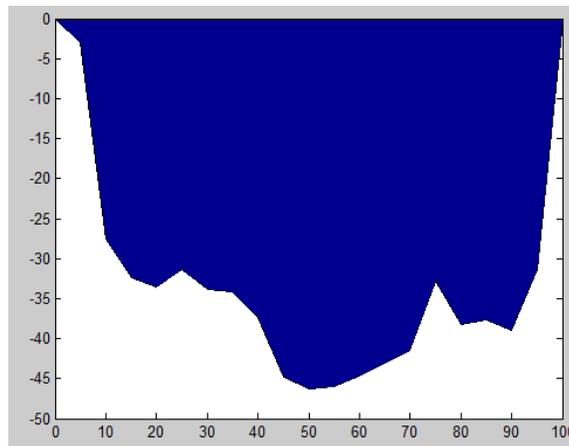
**Figura 7. 23. Área disturbada CA30-1R2P3.**



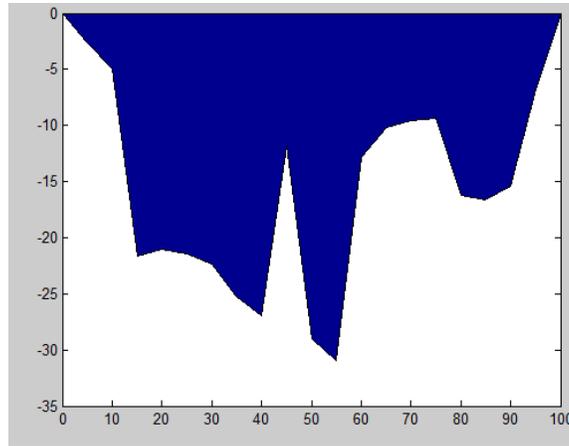
**Figura 7. 24. Área disturbada CA30-2R1P1.**



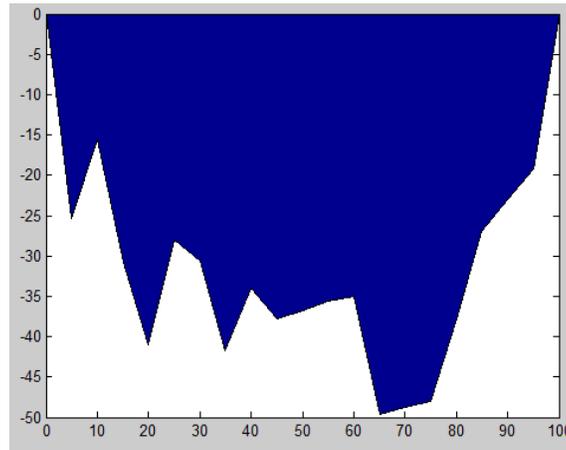
**Figura 7. 25. Área disturbada CA30-2R2P3.**



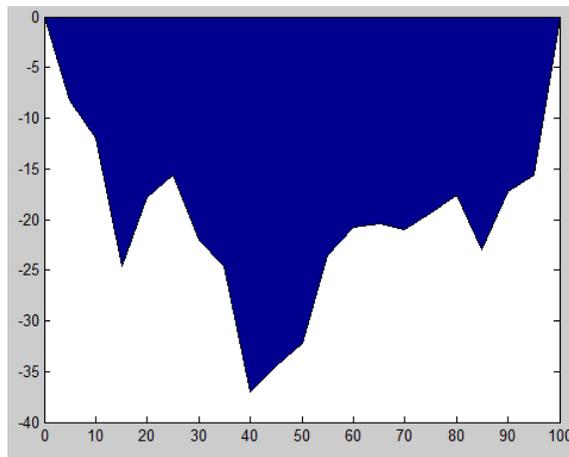
**Figura 7. 26. Área disturbada CA30-2R2P2.**



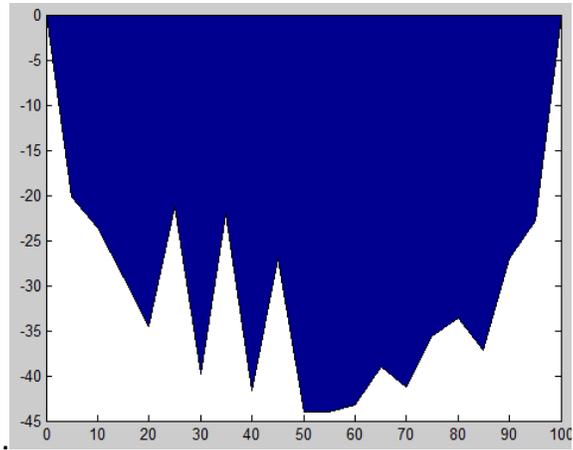
**Figura 7. 27. Área disturbada CA30-2R3P3.**



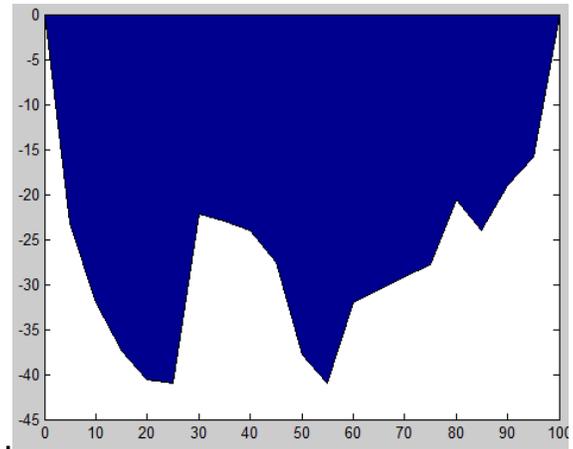
**Figura 7. 28. Área disturbada CA45-1R1P2.**



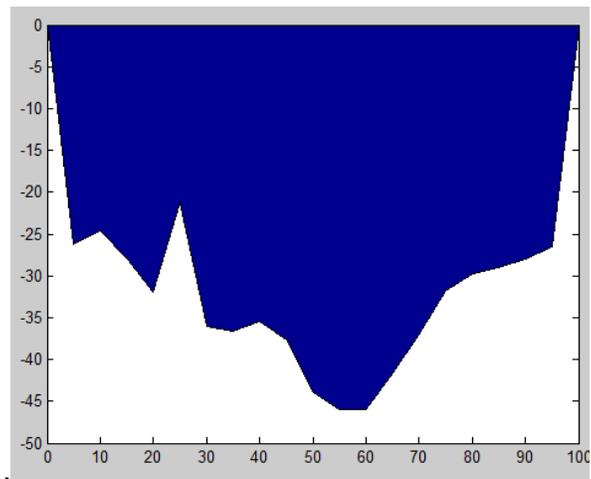
**Figura 7. 29. Área disturbada CA45-1R2P2.**



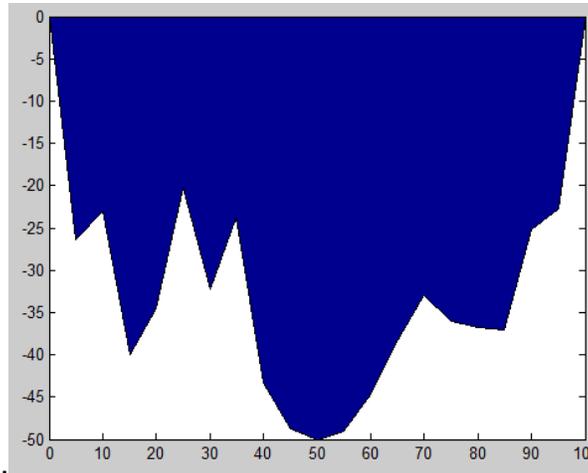
**Figura 7. 30. Área disturbada CA45-1R3P3.**



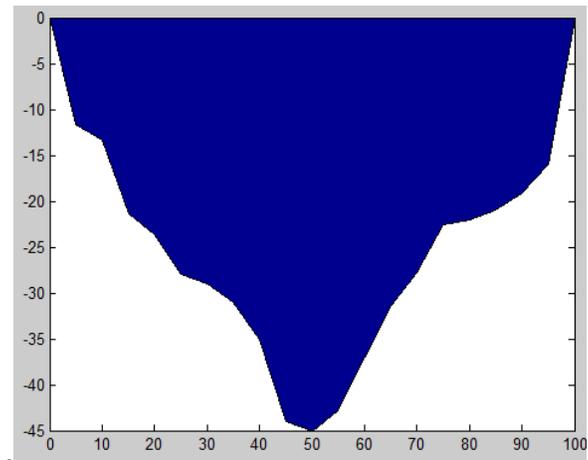
**Figura 7. 31. Área disturbada CA45-2R1P1.**



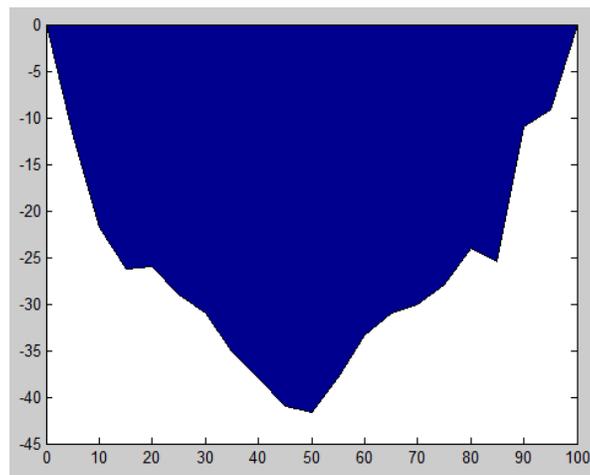
**Figura 7. 32. Área disturbada CA45-2R2P2.**



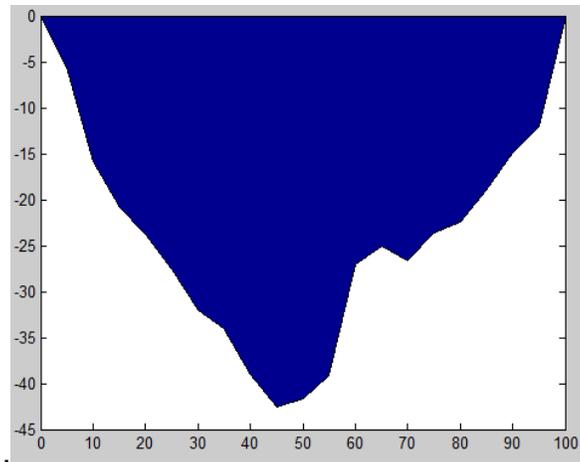
**Figura 7. 33. Área disturbada CA45-2R3P2.**



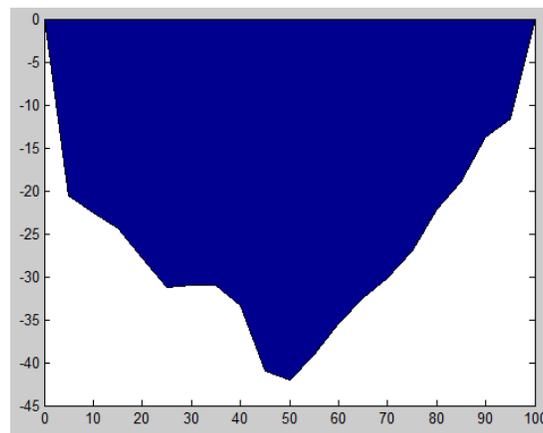
**Figura 7. 34. Área disturbada 30-3R1P1.**



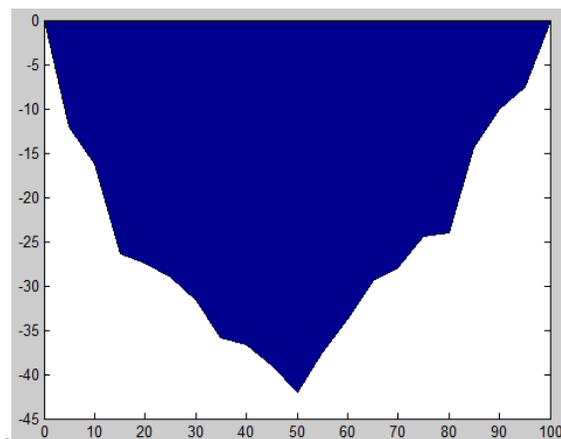
**Figura 7. 35. Área disturbada 30-3R1P2.**



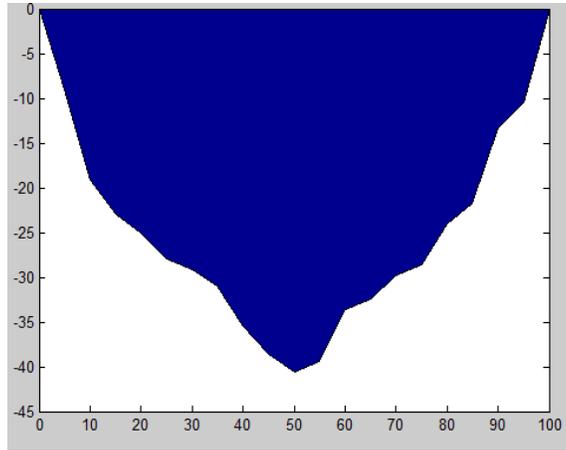
**Figura 7. 36. Área disturbada 30-3R1P3.**



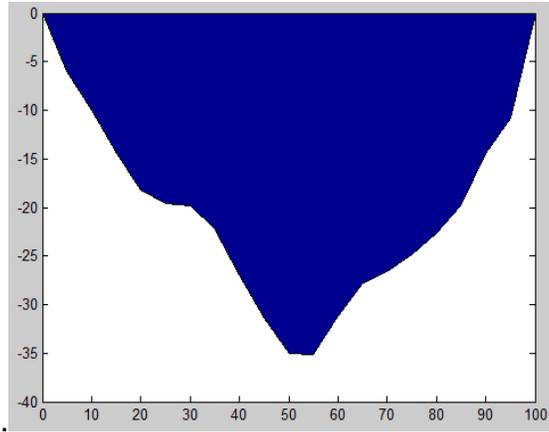
**Figura 7. 37. Área disturbada 30-3R2P1.**



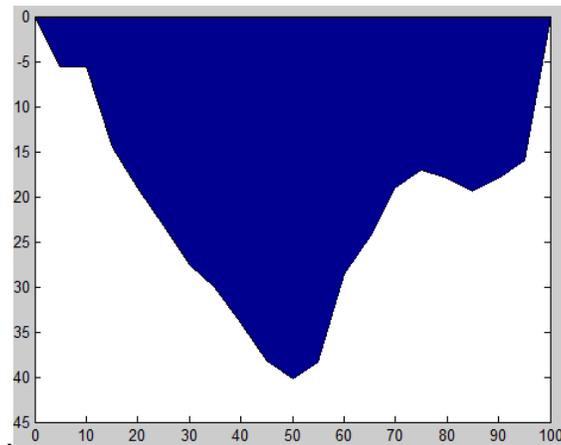
**Figura 7. 38. Área disturbada 30-3R2P2.**



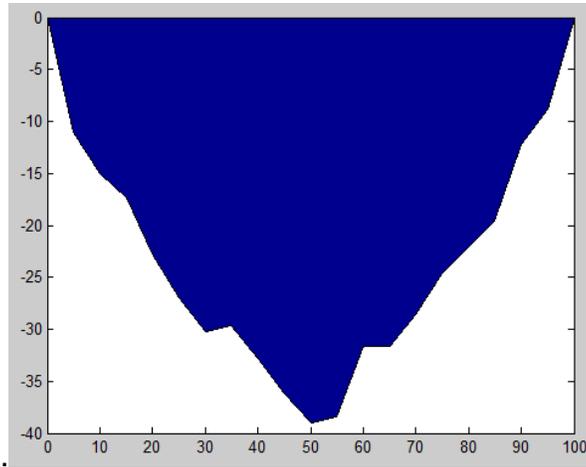
**Figura 7. 39. Área disturbada 30-3R3P1.**



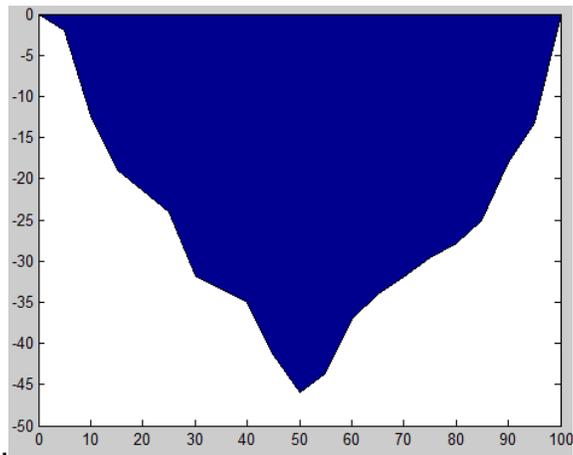
**Figura 7. 40. Área disturbada 30-3R3P2.**



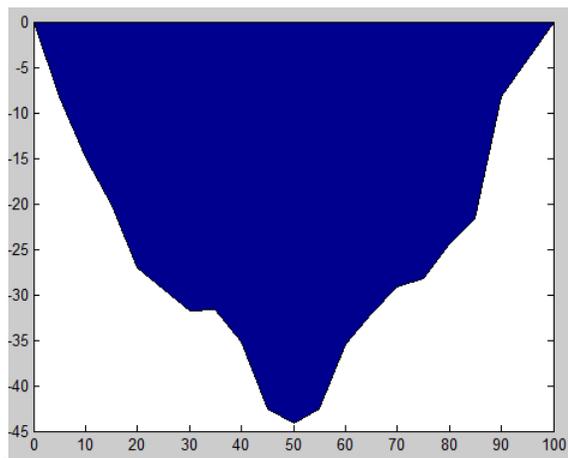
**Figura 7. 41. Área disturbada 30-3R3P3.**



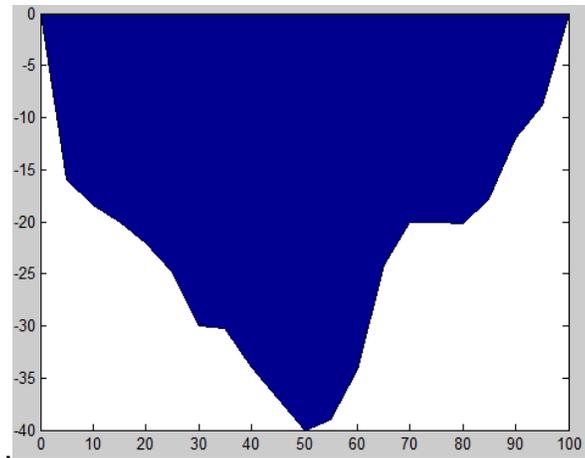
**Figura 7. 42. Área disturbada 45-3R1P1.**



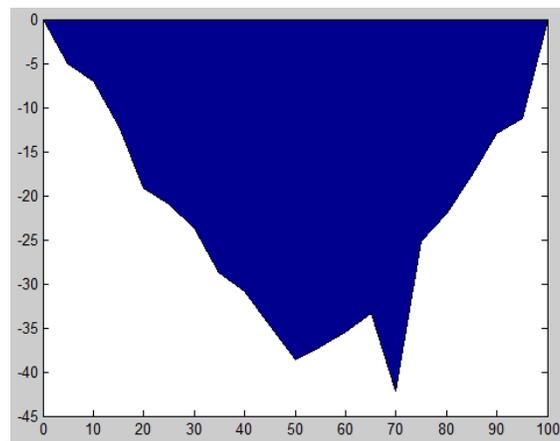
**Figura 7. 43. Área disturbada 45-3R1P2.**



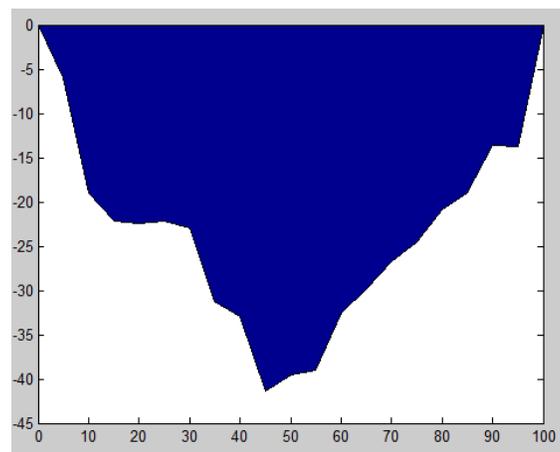
**Figura 7. 44. Área disturbada 45-3R1P3.**



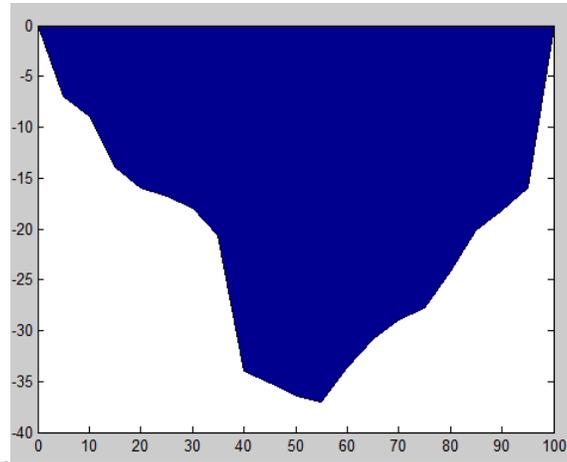
**Figura 7. 45. Área disturbada 45-3R2P1.**



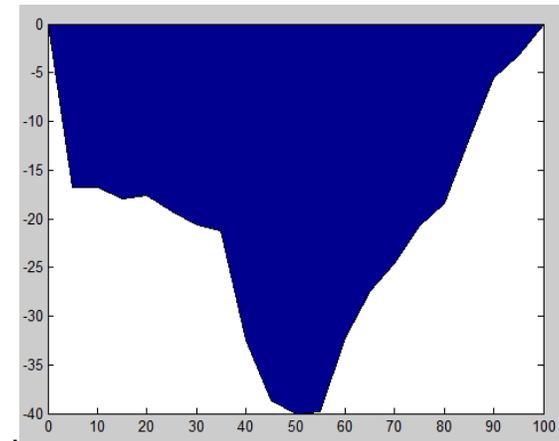
**Figura 7. 46. Área disturbada 45-3R2P2.**



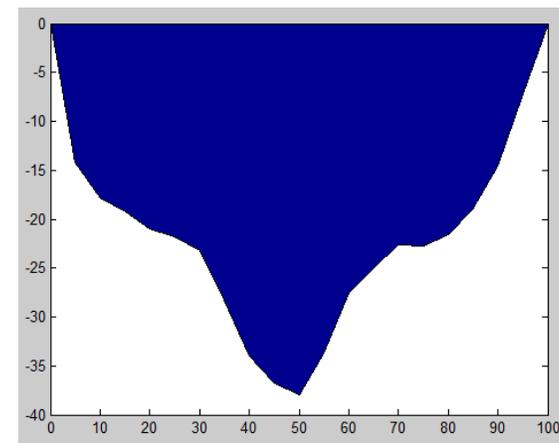
**Figura 7. 47. Área disturbada 45-3R2P3.**



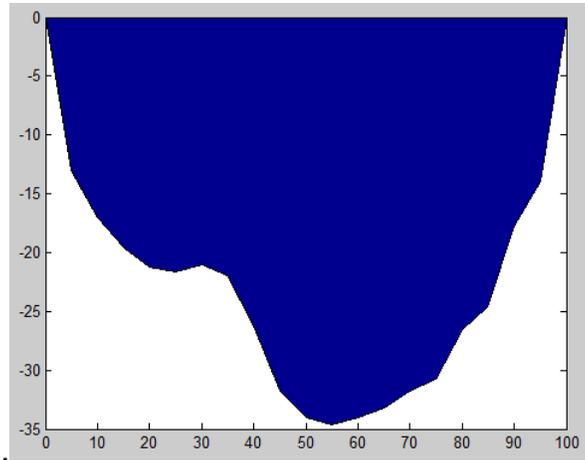
**Figura 7. 48. Área disturbada 45-3R3P1.**



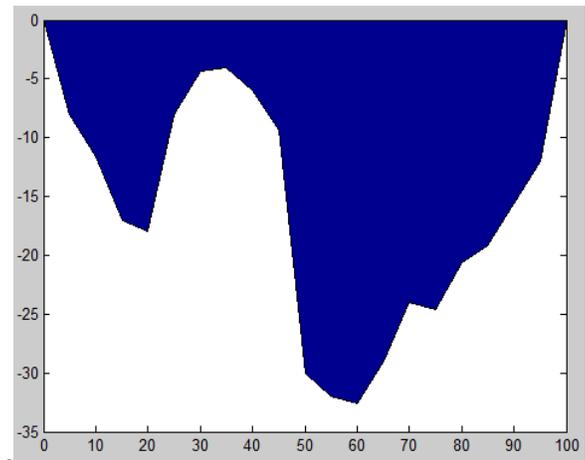
**Figura 7. 49. Área disturbada 45-3R3P2.**



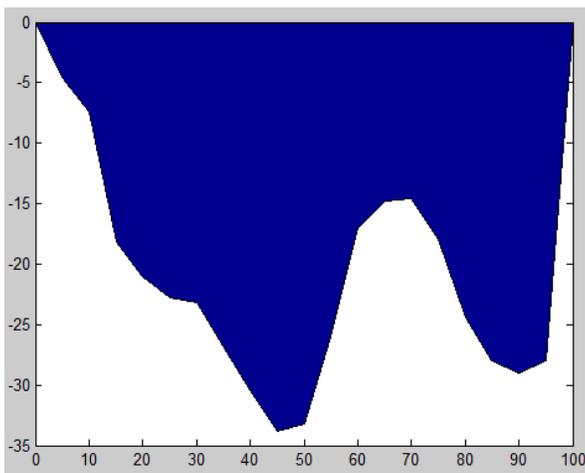
**Figura 7. 50. Área disturbada 45-3R3P3.**



**Figura 7. 51. Área disturbada SAR1.**



**Figura 7. 52. Área disturbada SAR2.**



**Figura 7. 53. Área disturbada SAR3.**

## 7.6.- Programa analisis3.m generado en MatLab 2010.

```
p=path;
incpath=( [...
'c:\edml\data\dcon',...
';c:\edml\data\ddob',...
';c:\edml\data\dgot',...
';c:\edml\data\dlgd',...
';c:\edml\data\dlich',...
';c:\edml\data\dlig',...
';c:\edml\data\dmdd',...
';c:\edml\data\dmue',...
';c:\edml\data\dond',...
';c:\edml\data\cincel',...
]);

path(p,incpath);

clear
clc
file=input('Nombre de archivo de datos sin extension : ','s');
filename=[file '.dat'];
eval(['load ' filename]);
disp('Listo, archivo cargado')
x=eval(file);
v=x(:,1);
h=x(:,2);
z=x(:,3);

pas=input('Numero de corrida (1/4) : ','s');
disco=input('Titulo para las graficas : ','s');
cv=[' Comp. Vert.' pas];
ch=[' Comp. Horiz.' pas];
cz=[' Comp. Vert.' pas];

disp('Trabajando con columna 1...')
titulo=[disco cv ];
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dv=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
v=v-dv;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
v=v*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis :');
fin=input('Posición final para el análisis :');
v=v(ini:fin);
medial=mean(v);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(medial)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
```

```

disp('Pulsa una tecla...')
pause
v=v-medial;
plot(v, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn1=(abs(fft(v))*2)/length(v);
f=(272/length(v))*(0:length(v)/2);
plot(f,Pn1(1:length(f)), '-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('Valor inicial : ');
b=input('Valor final : ');
plot(f(a:b),Pn1(a:b), '-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn1=max(Pn1);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn1)
disp('A continuación, se analizará la columna 2. Pulsa una tecla...')

pause

disp('Trabajando con la columna 2...')

titulo=[disco ch];
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dh=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
h=h-dh;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
h=h*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis : ');
fin=input('Posición final para el análisis : ');
h=h(ini:fin);
media2=mean(h);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media2)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause

```

```

h=h-media2;
plot(h, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn2=(abs(fft(h))*2)/length(h);
f=(272/length(h))*(0:length(h)/2);
plot(f,Pn2(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('¿ Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn2(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('¿ Definir un nuevo rango (s/n)? ','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn2=max(Pn2);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn2)
disp('A continuación, se analizará la columna 3. Pulsa una tecla...')

pause

disp('Trabajando con la columna 3...')

titulo=[disco cz];
plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
dz=input('Desplazamiento del inicio de valores con respecto a cero : ');
z=z-dz;
signo=input('Multiplicar por -1 o por 1 : ');
z=z*signo;
disp('En este momento se graficarán los datos ajustados...Pulsa una
tecla...')
pause
plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
ini=input('Posición inicial para el análisis : ');
fin=input('Posición final para el análisis : ');
z=z(ini:fin);
media3=mean(z);
disp('La media del segmento de datos es: ');disp(media3)
disp('Este valor será restado para desplazar los datos hacia el cero')
disp('Pulsa una tecla...')
pause
z=z-media3;

```

```

plot(z, '-r');title(titulo);xlabel('Numero de muestra');ylabel('Magnitud
en Volts');grid on;zoom on
disp('Ahora se obtendran las magnitudes y frecuencias correspondientes.')
disp('Esto puede tardar un poco. Pulsa una tecla...')
pause
Pn3=(abs(fft(z))*2)/length(z);
f=(272/length(z))*(0:length(z)/2);
plot(f,Pn3(1:length(f)),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
disp('Si no se aprecian los valores, definir un rango entre 1 y el
siguiente valor : ');disp(length(f))
resp=input('; Definir nuevo rango (s/n) ? ','s');
if resp=='s'
ok=1;
while ok==1
a=input('valor inicial : ');
b=input('valor final : ');
plot(f(a:b),Pn3(a:b),'-r');title(titulo);xlabel('Frecuencia
(Hz)');ylabel('Magnitud en Volts');grid on;zoom on
resp=input('; Definir un nuevo rango (s/n)?','s');
ok=strcmp('s',resp);
end
end

maxpn3=max(Pn3);
disp('El valor máximo para Pn es : ');disp(maxpn3)

pause
disp('valores de las medias ')
disp(media1)
disp(media2)
disp(media3)

pause
disp('valores del espectro ')
disp(maxpn1)
disp(maxpn2)
disp(maxpn3)

pause
disp('Análisis terminado')

```

## 7.7.- Pasos para procesar los datos y hacer el análisis espectral.

- I. Editar archivo
  - Abrir archivo en txt
  - Eliminar renglones de texto
  - Verificar que el largo de las columnas sea el mismo
  - Guardar como archivo txt pero como archivo delimitado por comas
  - Cambiar extensión a (\*.dat)
- II. Ubicar el archivo análisis
  - Crear carpeta que contenga los archivos a analisis2-5. Dependiendo del número de variables a analizar.
  - Copiar a esta carpeta todos los archivos con punto dat (\*.dat) editados
- III. Abrir Matlab
  - Cambiar a directorio de la carpeta creada (cd:\\*)
  - Abrir pestaña 0windows
  - Escribir el archivo del executable (análisis\*)
  - Correr el programa(←)
- IV. Por columna
  - Mover a cero cada set de datos
  - Invertir en caso de que los datos sean negativos
  - Seleccionar datos de inicio a partir de los datos estables que corresponden a cuando ya se alcanzó la profundidad de laboreo.
  - Seleccionar fin de datos en múltiplos de 2. (512, 1024, 2048 etc)
  - Escribir la media que arroja el análisis y sumar el espectral. Este es el valor de las fuerzas de reacción.