



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Evaluación de sensores para el monitoreo de la resistencia a la penetración de suelo para la generación de mapas de diagnóstico

POR:

GILBERT FRESH LÓPEZ LÓPEZ

TESIS

**Presentada como requisito parcial para
Obtener el título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

*Evaluación de sensores para el monitoreo de la resistencia a la penetración de
suelo para la generación de mapas de diagnóstico.*

POR:

GILBERT FRESH LÓPEZ LÓPEZ

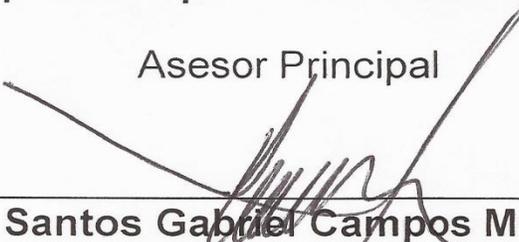
TESIS

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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

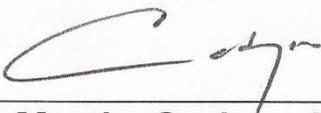
Aprobado por el comité de tesis

Asesor Principal



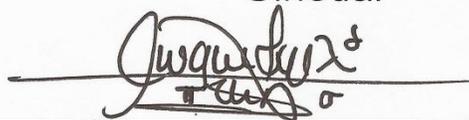
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal



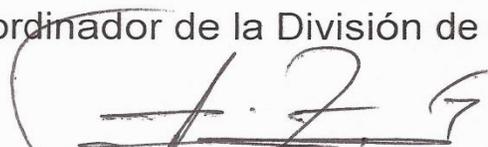
Dr. Martin Cadena Zapata

Sinodal



Ing. Juan Antonio López López

Coordinador de la División de Ingeniería



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio 2014

Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Infinitamente que me ha brindado la oportunidad de darme la vida, me llena de dicha, felicidad y sobre todo los ánimos de seguir siempre adelante continuando con retos y cumplirlos como este gran paso que estoy dando, Y más aún por darme una hermosa familia a la cual amar.

A MI FAMILIA

Porque estuvieron y estarán a lo largo de mi vida siempre con su apoyo incondicional y formar parte de este logro.

A MI ALMA TERRA MATER UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (UAAAN).

Por haberme abierto las puertas y albergado en todos estos años, por todos los momentos de desvelo, preocupaciones, felicidad gracias mi Alma Mater por todos estos momentos inolvidables, por mi preparación académica y personal, por brindarme amigos en quien confiar.

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Por brindarme su confianza, apoyo, experiencia, su tiempo y conocimientos compartidos en este gran proyecto y durante toda mi carrera.

Ing. Juan Antonio López López

M.C. Marco Antonio Reynolds Chaves

Por brindarme sus conocimientos, tiempo, paciencia, experiencia sus consejos que me servirán para la vida profesional y personal. Gracias por guiar mis pasos a lo largo de este proyecto.

M.C. Marco Antonio Reynolds Chaves

Ing. Juan Antonio López López

Ing. Nefthalí Cuervo Piña

Lili Yaneth Ramón Mendoza

Diego Cruz Hernández

Julio Alberto Ruiz Hernández

Milton Raholid Vázquez Morales

A este gran equipo de Agricultura de Precisión que sin ustedes no hubiera sido posible este trabajo por brindarme su apoyo, conocimientos y amistad mil gracias.

A los Profesores de Ingeniero Mecánico Agrícola:

M.C. Héctor Uriel Serna Fernández

Dr. Santos Gabriel campos Magaña

M.C. Juan Arredondo Valdez

Dr. Martin Cadena Zapata

M.C. Juan A. Guerrero Hernández

Dr. Jesús R. Valenzuela García

M.C. Mario A. Méndez Dorado

M.C. Blanca E. de la Peña Casas

M.C. Tomas Gaytán Muñiz

Ing. Rosendo Gonzales Garza

Ing. Jorge Alberto Flores Berrueto

M.C. Genaro Demuner Molina

Y a todos los demás profesores que me han brindado sus conocimientos a lo largo de mi carrera profesional y mi vida académica muchas gracias a ustedes.

DEDICATORIA

Padres

Virgilio López Hernández

Areli López Luna

Les agradezco a dios y a ustedes por darme la vida, y a su vez por siempre estar conmigo en mis logros más importantes, enseñándonos a no darnos por vencidos y seguir luchando para alcanzar los objetivos logrando esas metas hasta el momento obtenidas con sus consejos, esfuerzos, sacrificios podemos decir esta reto se cumplió, gracias a ustedes por la dedicación, apoyo incondicional me han preparado para un futuro. Al momento de citar estas palabras me lleno de nostalgia y quisiera decir mil cosas pero todas ellas las resumo en un los AMO.

Hermanos

Marleny de Lourdes López López

Henry López López

Les agradezco por siempre estar a mi lado con su apoyo incondicional, sacrificios, amor, cariño, consejos y regaños que hasta el momento me han servido a lo largo de mi vida. Los AMO.

Sobrinos

María Fernanda López López

Brian Alexander Gómez López

A estos niños que tanto quiero y que han hecho la gran diferencia en la familia los AMO, y también a los niños que vendrán en un futuro no muy lejano.

Aleyda Karmina Morales Zunún

Por permitirme formar parte de tu vida por el cariño, paciencia, comprensión, amor brindado hasta el momento. Gracias por darme la dicha de ser padre y darme un hijo tan hermoso como el que dios nos ha regalado ya que juntos lo formaremos y educaremos gracias AMOR.

Hijo

Héctor Ulises López Morales

Cuando leas estas palabras quiero que sepas que has venido a ser una persona muy importante en mi vida me has llenado de dicha alegría, FELICIDAD tu eres un motor en esta etapa que hoy culmino pero a su vez empezaremos te AMAMOS, espero ser el mejor padre, amigo, confidente que sepas que puedes contar con nosotros tus padres y te sientas orgulloso, que seas una persona de retos y metas en la vida, nunca te des por vencido.

A todas las personas que han formado parte de mi vida familiares, amigos no mencionados, a la **Familia Morales Zunún** gracias por su comprensión.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Labranza convencional VS Agricultura de precisión.....	4
4.1.1 Labranza convencional	4
4.1.2 Agricultura de precisión (AP).....	4
4.2 Mecánica de suelos.....	9
4.2.1 Compactación de suelo.....	14
4.2.2 Resistencia a la penetración empleando AP	16
4.2.3 Resistencia al esfuerzo cortante del suelo.....	18
4.3 Diseño de transductores.....	19
4.3.1 Sensor octagonal de anillo extendido	19
4.3.2 Galgas extensiométricas.....	20
4.3.3 Puente de Wheatstone.....	24
4.4 Adquisición de datos.....	25
4.4.1 DaqBook200/2000.....	26
4.4.2 Amplificador DBK 43-A.....	27
4.5 Sensores de medición de distancia.....	30
4.5.1 Sonar LV-MaxSonar-EZ1	31
4.6 Filtros de señal.....	32
4.6.1 Clasificación de filtros.....	33
4.7 Amplificadores operacionales.....	35
4.8 Variabilidad en suelo.....	36
4.8.1 Mapas de diagnóstico de suelo.....	37

V. MATERIALES Y MÉTODOS	40
5.1 Diseño del sensor de resistencia a la penetración.....	40
5.2 Montaje de galgas extensiométricas.....	42
5.3 Calibración del sensor de resistencia a la penetración.....	43
5.4 Calibración del sensor LV-MaxSonar-EZ1.....	45
5.5 Evaluación de los amplificadores AD620 en serie con configuración con filtro.	47
5.5.1 Evaluación del porcentaje de ruido del LV-MaxSonarEZ1, amplificadores en serie AD620 como filtro.....	49
5.6 Evaluación de los sensores en campo.....	49
5.7 Generación de mapas de diagnóstico de capas compactas.....	52
VI. RESULTADOS	53
6.1 Resultados del diseño del sensor de resistencia a la penetración.....	53
6.2 Resultados de montaje de galgas extensiométricas.....	53
6.3 Resultados de la calibración del sensor de resistencia a la penetración.....	55
6.4 Resultados de las pruebas para evaluación de amplificadores AD620 en serie.	57
6.4.1 Resultados de la evaluación de las pruebas para porcentaje de ruido del sonar y filtro.....	60
6.4.1 Resultados de la evaluación de sensores en campo.....	63
6.5 Resultados de la generación de mapas de diagnóstico de resistencia a la penetración.....	67
6.5.1 Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con GS+ versión 9.....	67
6.5.2 Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con ArcView.....	70
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
7.1 Conclusiones.....	72
7.2 Recomendaciones.....	73
VIII. LITERATURA CITADA	74
IX. ANEXOS	81

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 4.1 Ciclo completo de la agricultura de precisión (García y Flego, 2014)</i>	7
<i>Figura 4.2 Mapa de rendimientos del ensayo la Lucía (Monte Buey, Córdoba) de la red de ensayos de AAPRESID (García 2002)</i>	8
<i>Figura 4.3 El interior del triángulo está dividido en casillas, cada una de ellas representa una clase textural de suelo caracterizado por las proporciones de uno o de dos elementos dominantes; suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo arenosos, etc. (Rucks et al., 2004).</i>	10
<i>Figura 4.4 Variación de las fuerzas resistentes del suelo en función de la humedad (Universidad de Castilla-la Mancha 2004)</i>	12
<i>Figura 4.5 Estado de tensiones en el suelo por efecto de una carga vertical (Universidad de Castilla-la Mancha 2004)</i>	15
<i>Figura 4.6 Mapa de resistencia a la penetración en 3D (Salas, 2013)</i>	18
<i>Figura 4.7 Galga extensiométrica uni-axial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).</i> 22	
<i>Figura 4.8 (A) Galgas uniaxial</i>	23
<i>Figura 4.9 (B) Roseta de dos elementos, laminillas apiladas a 90°C</i>	23
<i>Figura 4.10 Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios Mega Ohm (Cooper, 1991)</i>	24
<i>FIGURA 4.11 Sistema de adquisición de datos analógicos (Pallas, 1993)</i>	25
<i>FIGURA 4.12 Dispositivo de adquisición de datos DAQ BOOK200 (Measurement Computing, 2014)</i>	27
<i>Figura 4.1 DBK43A y DBK43B Diagrama de bloques A) DBK43A utiliza DIN-6 conectores Mini para entradas de señal. DBK43B utiliza bloques de terminales de tornillo extraíbles. B) Canales 0 a 7 corresponden a los canales de placa de circuito 100 a 800, como se discutió en la sección de configuración de hardware (Iotech, 2014)</i>	29
<i>Figura 4.14 sonar LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix 2014)</i>	32
<i>Figura 4.15 Tipos de respuesta a filtros (Jesiotr. et al., 2005)</i>	33
<i>Figura 4.16 Filtros ideales (Moreno y Bonafonte, 2009)</i>	35
<i>Figura 4.17 Diagrama del amplificador operacional (Escudero et al., 2014)</i>	36
<i>Figura 4.18 Mapa ArcView 3.2 interpolación (Salas, 2013)</i>	39
<i>Figura 3.1 Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone. (Cook y Ravinovich, 1963)</i>	43
<i>Figura 5.2 Diagrama de calibración del sensor de resistencia a la penetración</i>	44

<i>Figura 3.3 Las características aproximadas del haz del LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix, 2014)</i>	
45	
<i>Figura 5.4 Conexiones del sensor LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix, 2014)</i>	46
<i>Figura 5.5 Calibración en laboratorio del sonar</i>	47
<i>Figura 5.6 Diagrama de conexión de los amplificadores AD620 en serie con configuración de filtro y filtro paso bajo</i>	48
<i>Figura 5.7 Vista aérea del rancho Humberto Treviño Siller</i>	49
<i>Figura 5.8 Equipo utilizado para la prueba de campo</i>	50
<i>Figura 5.9 Puntos en el terreno de evaluación para diferentes fechas</i>	51
<i>Figura 6.1. Dimensiones en 3D del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 kN, en Creo Parametric 2.0</i>	53
<i>Figura 6.2 Diagrama de conexiones de las galgas en el ring</i>	54
<i>Figura 6.3 Especificaciones de galgas extensiométricas de 350 Ω empleadas en el elemento (sensor), en arreglos de puente de Wheatstone</i>	54
<i>Figura 6.4. Materiales utilizados en la calibración del sensor de fuerza</i>	55
<i>Figura 6.5 Gráfica de calibración del sensor de fuerza</i>	55
<i>Figura 6.6 Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 kN</i>	57
<i>Figura 6.7 (a) Creación del circuito (b) Diagrama en 3D (c) Diagrama real de los amplificadores AD620 en serie, sonar y filtro pasa bajo con los componentes respectivos</i>	58
<i>Figura 6.8 Equipo utilizado para las pruebas del AD620 en serie</i>	59
<i>Figura 6.9 Gráfica de línea ajustada para la calibración del sonar más amplificador</i>	60
<i>Figura 6.10 Onda lineal obtenida con circuito en serie y filtro pasa bajo resistencia de 1 KΩ y un capacitor electrolítico de 10 μf</i>	61
<i>Figura 6.11 Grafica de línea ajustada porcentaje de ruido Vs distancia</i>	62
<i>Figura 6.12 Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro. En Creo Parametric 2.0.</i>	63
<i>Figura 6.13 Evaluación con los sensores y circuito AD620 como filtro</i>	64
<i>Figura 6.14 Evaluación con los sensores y circuito dos AD620 en serie con filtro pasa bajo</i>	64
<i>Figura 6.15 Resultados de las gráficas obtenidas en campos donde se determinó la fuerza de resistencia a la penetración del suelo</i>	65
<i>Figura 6.16 Resultados de las gráficas obtenidas en campos donde se determinó la profundidad a distancia de 0-40 cm</i>	65

<i>Figura 6.17 Mapa 2D de fuerzas de resistencia a la penetración Julio 2013</i>	<i>68</i>
<i>Figura 6.18 Mapa 3D de fuerzas de resistencia a la penetración Julio 2013</i>	<i>68</i>
<i>Figura 6.19 Mapa 2D de fuerza resistencia a la penetración Diciembre 2013</i>	<i>69</i>
<i>Figura 6.20 Mapa 3D de fuerza resistencia a la penetración Diciembre 2013</i>	<i>69</i>
<i>Figura 6.21 Resultado en MPa por cada punto muestreado Julio 2013.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 6.22 Resultado en MPa por cada punto muestreado Diciembre 2013</i>	<i>70</i>
<i>Figura 6.23 Mapa de ArcView Julio 2013</i>	<i>71</i>
<i>Figura 6.24 Mapa de ArcView Diciembre 2013.....</i>	<i>71</i>

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 4.1 Clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc.</i>	10
<i>Cuadro 4.2 Modificaciones de algunas propiedades físicas causadas por la compactación.</i>	15
<i>CUADRO 4.3 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (adaptado de USDA, 1998).</i>	37
<i>CUADRO 5.1 Datos que se utilizaron en la calibración del sensor en la escala del acondicionador de señales DBK-43.</i>	43
<i>CUADRO 5.2 Tabla de pesos conocidos para aplicar en la calibración de sensor de fuerza.</i>	44
<i>CUADRO 6.1 Resultado del montaje de las galgas extensiométricas</i>	54
<i>CUADRO 6.2 Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 KN, aplicando diferentes pesos.</i>	56
<i>CUADRO 6.3 Análisis de varianza para el sensor de fuerza</i>	57
<i>CUADRO 6.4 Análisis de varianza para el sonar más amplificador AD620 con una ganancia de 10 veces el voltaje de entrada</i>	60
<i>CUADRO 6.5 Tabla de calibraciones de distancias Vs volts.</i>	59
<i>Cuadro 6.6 Resultado de porcentaje de ruido para la salida de la señal en los 2 circuitos AD620an en serie.</i>	62
<i>Cuadro 6.7 Resultados de campo para la resistencia a la penetración y profundidades.</i>	66
<i>Cuadro 6.8 resultados de campo para generación de mapas de diagnóstico.</i>	67

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en “El Departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN” y forma parte del proyecto titulado: “Desarrollo de equipos, sensores e instrumentos para agricultura de precisión y labranza de conservación” que dentro de sus objetivos destaca, el desarrollo de equipo para la generación de mapas de las variables geo-referenciadas. Los objetivos que se consideraron en esta tesis fueron. La evaluación de un penetrómetro bajo condiciones de campo en tiempo real para la generación de mapas de diagnóstico a profundidades de 0 a 0.40 m; evaluación de dos amplificadores de instrumentación AD620 en serie. Configuración de filtros que permitan reducir los niveles de ruido por debajo de 1%. Se calibraron los sensores de resistencia y profundidad de penetración. El sensor (RP) mostró una alta sensibilidad en la medición de fuerzas de resistencia a la penetración de 13.15 m VN^{-1} , con un coeficiente de correlación de 99.6%. El sensor de profundidad mostro durante su calibración una sensibilidad de 258.5 V mm^{-1} y un coeficiente de correlación de 100% con porcentaje de ruido menores al 1%. La evaluación en campo de los sensores se realizó en el rancho experimental Navidad de la UAAAN ubicado en San Rafael, Galeana, Nuevo León. Realizando un total de 30 puntos. La información fue mapeada empleando sistemas de información geográfica (GIS), con niveles de interpolación óptimos. En el mapeo de las pruebas de campo, se detectaron capas compactadas en profundidades mayores a los 30 cm en un porcentaje de... de la superficie del terreno en evaluación, se requiere generar mapas de profundidades de localización de capas compactas mayores a 2.0 MPa.

Palabras clave: *sensores, penetrómetro, y mapas de diagnóstico de capas compacta*

I. INTRODUCCIÓN

Mucha importancia reviste las labores de preparación de un suelo junto con el conocimiento del historial del potrero, dado que una labor bien ejecutada y oportuna, entregan un beneficio para el establecimiento del cultivo. Contrariamente, una labor apresurada, repetitiva en el tiempo o mal ejecutado proporciona un ambiente negativo, tanto para el cultivo como para el suelo. El criterio para realizar estas actividades depende de factores como: tipo de suelo (arenoso, limoso o arcilloso), humedad del suelo, grado de compactación del suelo, pendiente del terreno y época de laboreo (INTA, 2012).

A nivel nacional existe una alta demanda en la producción de alimentos de los cuales aproximadamente diez millones de hectáreas pertenecen a cultivos básico (maíz, trigo, frijol), mismos granos en el que nuestro país presenta una producción deficitaria (FAO, 2009). Normalmente el problema que existe en la preparación de suelo es que se realiza un tratamiento homogéneo (labranza tradicional) lo cual repercute en la cosecha de cultivos dado a que estos no son del todo aprovechables causando poco rentabilidad en producción. Una de las actividades muy importante es la labranza del suelo pero está considerada la más costosa que consume demasiada energía o combustible.

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola es un tema de gran importancia en el mundo, pues contribuye al éxito económico de los mismos, no obstante, si se plantean cambios tecnológicos apropiados como el diagnóstico de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas es posible reducir el uso de esta energía fósil (FAO, 2009).

La agricultura de precisión (AP) es una herramienta para contrarrestar estos efectos y corregir algunas causas es mediante el manejo óptimo en el manejo de la aplicación de insumo en la agricultura.

El desarrollo tecnológico actual posee un ritmo elevado de progreso, las necesidades de humanizar el trabajo en el campo, que por sus características obligan a la introducción de tecnología más eficiente. La agricultura de precisión (AP) o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos; así como, una disminución sustantiva en la contaminación.

Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de sitio para determinar los factores limitantes de la producción; así como, su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos. Se requiere para lo anterior contar con sistemas que se integren entre otros por geo-posicionador diferencial con aplicación en la agricultura (AgDGPS), sensores de ambientes, sistemas de información geográfica (SIG), así como equipos de dosificación variables de insumos (Dávila, 2010).

II. OBJETIVOS

Evaluación de un penetrómetro bajo condiciones de tiempo real de las capas compactas del suelo.

2.1 Objetivos específicos

- a) Evaluación de dos amplificadores AD620 de instrumentación en serie con configuración de filtros que permitan reducir los niveles de ruido en la detección de la profundidad de las capas compactas.
- b) Evaluación en campo del penetrómetro en la interacción fuerza-profundidad
- c) Generación de mapas de diagnósticos de capas compactas.

III. HIPÓTESIS

Es posible generar dispositivos electrónicos para el monitoreo estático en tiempo real de parámetros físicos de suelos con alta confiabilidad.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Labranza convencional VS Agricultura de precisión

4.1.1 Labranza convencional

En este sistema el suelo se voltea y se obtiene una cama de siembra suelta y desmenuzada en los primeros centímetros de profundidad. Si bien es cierto que preparar una cama mullida para la siembra es su principal virtud, su desventaja es que provoca compactación y erosión al suelo, pérdida de agua y tiene un alto costo de energía y maquinaria. También favorece el desarrollo de maleza, forma piso de arado, rompe la estabilidad de los agregados del suelo, dando lugar a encostramientos, compactación y pérdida de materia orgánica, ya que los residuos de cosecha se utilizan como alimento animal (Jiménez *et al.*, 2004).

La intensificación de la agricultura con prácticas tradicionales de labranza, que incluyen inversión del suelo, tiene como efecto la disminución de la materia orgánica del suelo. La cero labranza, con residuos sobre la superficie del suelo, sube el contenido de materia orgánica de éste afectando positivamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas y por lo tanto, su productividad. La labranza tradicional con inversión de la capa superficial del suelo, ayuda al control de malezas y formación de una cama de semillas, sin embargo, expone el suelo a la erosión hídrica y eólica y a la oxidación acelerada (quema) de su materia orgánica. El balance de carbono del suelo en condiciones de labranza tradicional resulta negativo. La productividad del suelo aumenta o disminuye de acuerdo a su contenido de carbono orgánico (Acevedo y Martínez, 2002).

4.1.2 Agricultura de precisión (AP)

La reducción del uso de energía en los sistemas de producción agrícola es un tema de gran importancia en el mundo, pues contribuye al éxito económico de los mismos,

no obstante, si se plantean cambios tecnológicos apropiados como el diagnóstico de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas es posible reducir el uso de esta energía fósil. Una forma de contrarrestar estos efectos y corregir algunas de sus causas es mediante el uso de la agricultura de precisión (AP) la cual representa una alternativa de optimización mediante el uso de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos en tiempo real (Salas, 2013).

La agricultura de precisión o manejo de sitio específico es la utilización de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos geo-referenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos; así como, una disminución sustantiva en la contaminación (López, 2012).

La agricultura de precisión consiste en un conjunto de tecnologías altamente desarrolladas, que comprenden aspectos tan disímiles como sistemas satelitales y maquinaria agrícola, los cuales están integrados por diferentes sistemas como son: sistemas de información geográfica (SIG); sistema de posicionamiento global (GPS); computadoras, sensores y controladores así como maquinaria especializada. El manejo de sitio específico, comienza por los mapas de rendimientos geo-posicionados, así como por los mapas de prescripción, para correlacionar la variabilidad de rendimiento con la variabilidad del suelo tanto en nutrientes, topografía, como en aspectos fisicoquímicos del mismo, con la finalidad de realizar, así como elaborar mapas de prescripción correspondientes para la aplicación de dosis variables de insumos (Jiménez, 2011).

Siempre ante una innovación tecnológica hay resistencia al cambio, principalmente en los sectores con menor preparación intelectual, como es el caso de los agricultores. La agricultura de precisión tiene una desventaja aún mayor en este sentido y es que no surgió como una necesidad de los pequeños agricultores, sino que fueron las transnacionales productoras de maquinaria agrícola quienes impusieron las nuevas tecnologías en el mercado. Otro factor que puede provocar

este rechazo es que los agricultores que trabajan en pequeñas parcelas de tierra no necesitan de la tecnología de precisión, si es que cuenta con medios mecanizados, pues con su experiencia, y de su propia mano son capaces de aplicar un tratamiento diferenciado a cada zona del campo, según sus características y comportamiento observado (Quevedo *et al.*, 2006).

La agricultura es el sector productivo que paradójicamente tiene una enorme importancia en el mundo actual y sin embargo es el menos atendido en cualquier lugar del mundo. La introducción de nuevas tecnologías en el sector agrícola debe traer consigo programas para la superación y capacitación de sus trabajadores, preparándolos de forma consciente para enfrentar los nuevos cambios (Quevedo *et al.*, 2006).

La agricultura de precisión se concibió desde EE.UU., como un círculo que retroalimenta año a año y donde el único objetivo culminaba con la realización de dosis variable de insumo. O sea, que se incorporó la idea de utilizar la tecnología de información para adecuar el manejo de suelo y cultivos a la variabilidad natural y/o inducida presente dentro del lote. Dentro de esta tecnología se cuenta con herramientas claves dentro del sistema, como lo son GPS y la electrónica, medios para recopilar datos en tiempo real sobre lo sucede o sucedió en un cultivo.

Existen dos definiciones que hay que tener en cuenta para comprender el informe:

Gestión sitio-específico de cultivos- Consiste en realizar la gestión correcta, en el lugar indicado y en el momento oportuno.

Agricultura de precisión- Consiste en automatizar la gestión sitio-específico de cultivos usando las TICs (Tecnologías de la información y la comunicación) (García y Flego, 2014).



Figura 4.1 Ciclo completo de la agricultura de precisión (García y Flego, 2014)

La agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas no solo posibilitan una gestión agronómica más eficaz, sino que además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos, ver figura (4.1) (García y Flego, 2014).

Las tecnologías que la AP pone al alcance de la producción e investigación permitirían hacer un uso más eficiente de los recursos desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental. Entre las tecnologías disponibles según García (2002) se pueden mencionar:

- Mapas de rendimiento geo-referenciados
- Mapas de malezas geo-referenciados
- Mapas de suelo geo-referenciados
- Imágenes satelitales y fotografías aéreas
- Sensores de suelos y cultivos en tiempo real
- Utilización de dosis variables de agroquímicos, fertilizantes y semillas

- Evaluación de ensayos a campo considerando la variabilidad “real” de los lotes.

Las tecnologías de AP ofrecen una oportunidad excelente para conocer los procesos y mecanismos y para evaluar distintos manejos fijos y/o variables a través de su uso en ensayos de campo. Por ejemplo, la figura (4.2) muestra el mapa de rendimiento de un ensayo de fertilización de la red de la asociación de productores en siembra directa (AAPRESID), donde se pueden observar distintas respuestas en rendimiento obtenidas con los tratamientos evaluados en distintos sectores del lote. La evaluación específica de esos sectores permite asociar la respuesta en rendimiento a determinadas propiedades del suelo y otros factores de producción (García 2002).

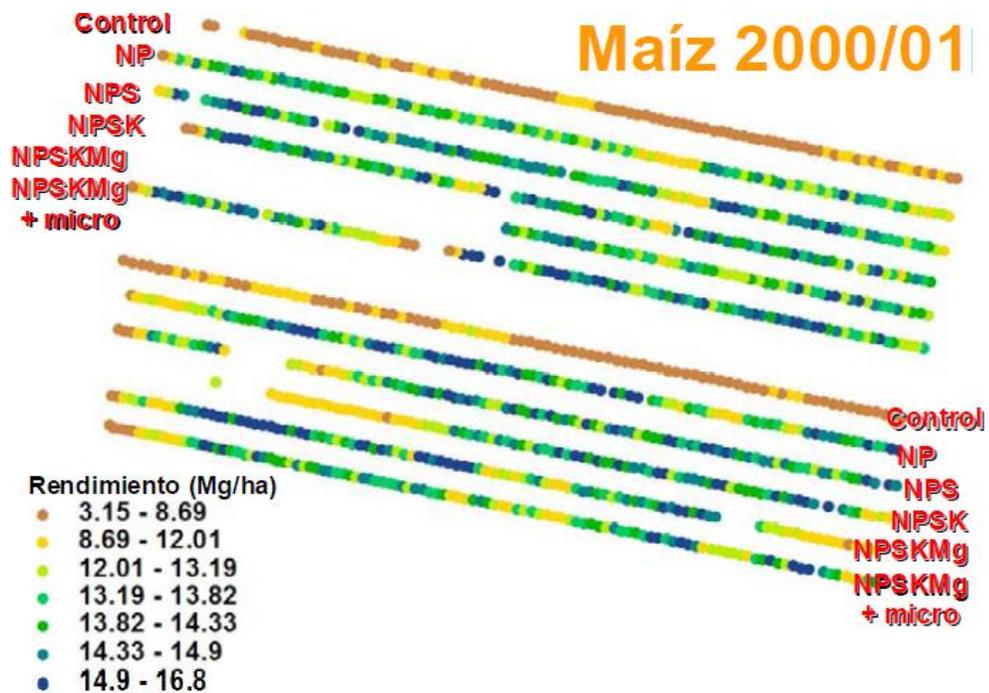


Figura 4.2 Mapa de rendimientos del ensayo la Lucía (Monte Buey, Córdoba) de la red de ensayos de AAPRESID (García 2002)

4.2 Mecánica de suelos

El suelo constituye un recurso esencial para el desarrollo económico-social y es el sostén físico y químico de todos los ecosistemas terrestres (Gonzales *et al.*, 2009).

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

Para determinar el tipo granulométrico o clase textural de un suelo, se recurre a varios métodos. Se utilizan cada vez más los diagramas triangulares, siendo el triángulo de referencia un triángulo rectángulo o un triángulo equilátero. Se usa actualmente, de un modo casi unánime, un triángulo equilátero. Cada uno de sus lados a un eje graduado de 10 en 10, de 0 a 100, sobre el cual se transporta la cantidad del elemento que representa; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo, el tercero a la arena, ver figura (4.3) (Rucks *et al.*, 2004).

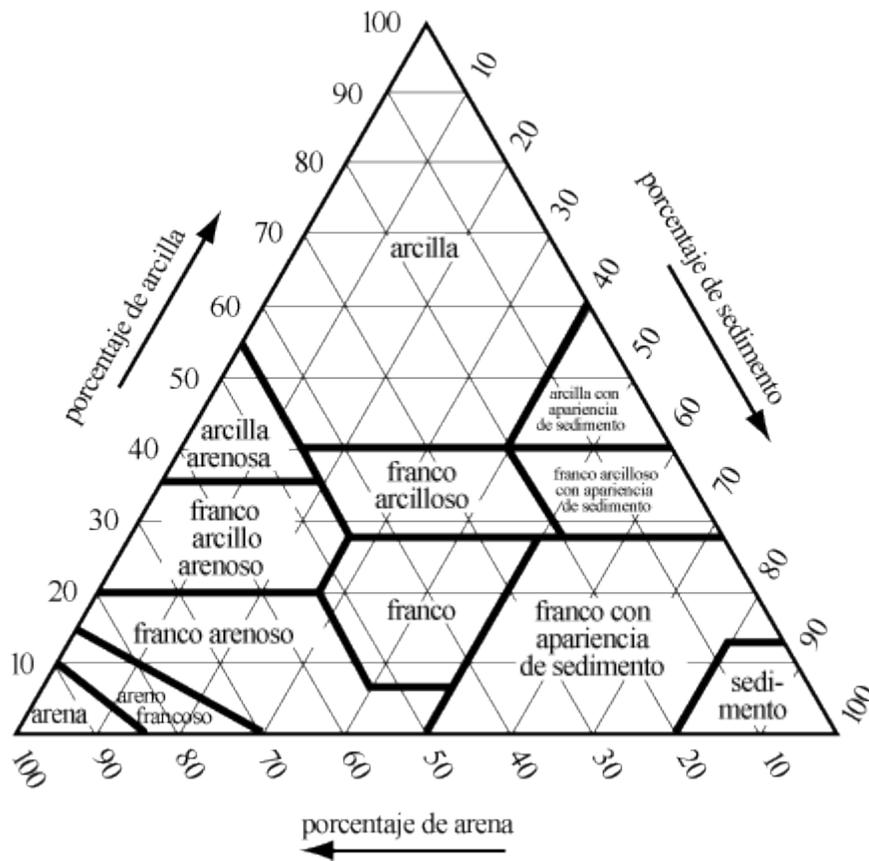


Figura 4.3 El interior del triángulo está dividido en casillas, cada una de ellas representa una clase textural de suelo caracterizado por las proporciones de uno o de dos elementos dominantes; suelos arenosos, limosos, arcillosos, arcillo arenosos, etc. (Rucks et al., 2004).

Se utiliza el triángulo de la siguiente manera: cuando se dispone del análisis granulométrico de un suelo, su tenor en arcilla, en limo y en arena, determina un punto que se sitúa en el triángulo, en el interior de una casilla, y que permite identificarlo y darle un nombre asimilándolo a la clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc. Ver cuadro (4.1) (Rucks et al., 2004). La utilización de un triángulo, llamado de texturas no conduce más que a una primera aproximación en la interpretación del análisis de un suelo. En conclusión, tales triángulos, permiten, en principio, situar un suelo en un conjunto caracterizado por propiedades texturales; su empleo contribuya a fijar las ideas y normalizar en alguna medida la interpretación de los resultados del análisis granulométrico. (Rucks et al., 2004).

Cuadro 4.1 Clase textural representada por esa casilla por ejemplo, franco, arcillo arenoso, etc. (Rucks *et al.*, 2004).

Términos generales		Clases texturales
SUELO ARENOSO	Suelo de textura gruesa	Arenosos Arenosos-Francos
	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco-Arenosos Franco-Arenosos finos Franco-Arenosos muy finos
	Suelo de textura media	Franco Franco-Limoso Limoso
		Suelos de textura moderadamente fina
SUELO ARCILLOSOS	Suelos de textura fina	Arcillo-Arenoso Arcillo-Limoso Arcilloso

Dada la complejidad del sistema suelo muchos métodos (físicos, físico-químicos, químicos, biológicos) son utilizados para la evaluación de su comportamiento y propiedades. Desde su mismo surgimiento la ciencia del suelo ha utilizado los métodos físicos de investigación, muchos de los cuales fundamentan las técnicas tradicionales (Cabrera *et al.*, 2008).

Las fuerzas que se oponen al trabajo de los aperos en el suelo son:

Cohesión o resistencia que ofrecen las partículas a su separación. La cohesión entre las partículas del suelo se debe a la atracción eléctrica entre ellas, a medida que las

partículas se humedecen, el agua en forma de película tiende a separarlas, reduciéndose su valor.

Adherencia o resistencia que oponen las partículas a deslizar entre si y sobre los aperos. La adherencia del suelo a los aperos se da por fenómenos de tensión superficial. Hasta cierto nivel de humedad el suelo se adhiere más a los útiles de trabajo, aumentando su resistencia al laboreo, la cual crece hasta un valor de humedad tal que el suelo deja de ser un medio sólido.

Ambas fuerzas varían en función de la humedad del suelo. La suma de la cohesión y de la adherencia es la resistencia que opone un suelo para su labranza y tiene que ser vencida por los aperos de laboreo.

En la figura (4.4) se representan en un diagrama la variación de ambas fuerzas en función de la humedad, se obtiene un esquema como el que se representa a continuación:

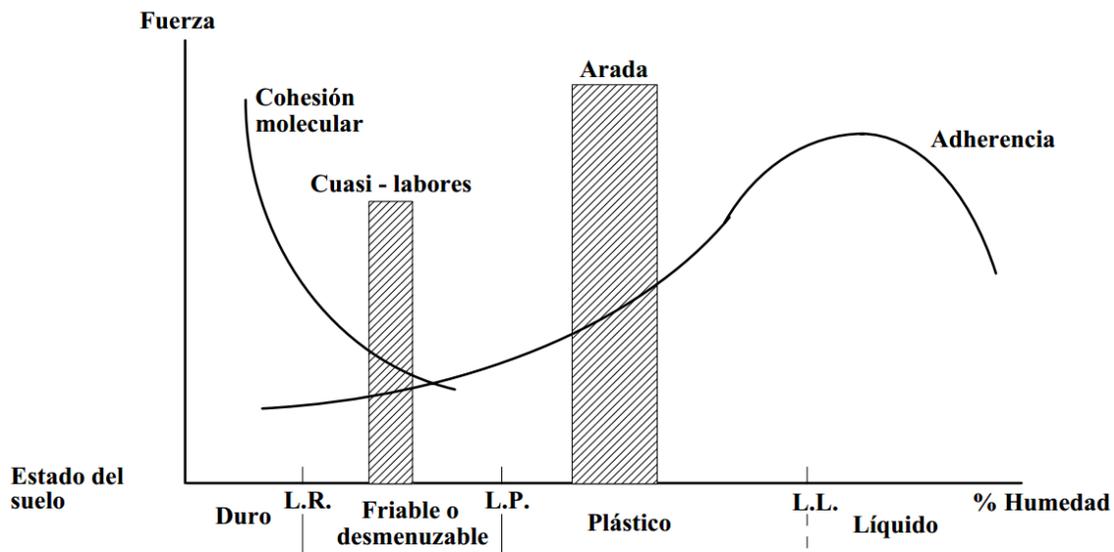


Figura 4.4 Variación de las fuerzas resistentes del suelo en función de la humedad (Universidad de Castilla-la Mancha 2004)

En el diagrama anterior se presentan puntos de interés agronómico como son:

Límite de retracción (L.R).

Límite de plasticidad (L.P).

Límite líquido (L.L).

Estos límites marcan cuatro estados del suelo:

Duro.

Fiable o desmenuzable.

Plástico.

Líquido.

Para realizar racionalmente las labores el conocimiento de este diagrama en un determinado tipo de suelo es de gran interés pues permite predecir su comportamiento (Universidad de Castilla-la Mancha, 2004).

Es importante que la descripción del suelo sea hecha exhaustivamente; esto sirve como base para la clasificación del suelo y la evaluación del sitio, así como para realizar interpretaciones sobre la génesis y funciones medioambientales del suelo.

Los suelos son afectados por las actividades humanas, como la industrial, la municipal y la agrícola, que a menudo resulta en la degradación del suelo y pérdida o reducción de sus funciones.

El color del suelo refleja la composición así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (FAO 2009).

Según las propiedades físicas y químicas de los suelos la densidad que hace máxima la producción, varía entre límites que van de 0.9 a 1.4 g/cm³. (Universidad de Castilla- la Mancha 2004).

4.2.1 Compactación de suelo

La compactación puede producirse en suelos naturales sometidos a una carga de herbívoros superior a la admitida por el suelo, lo que en la mayor parte de los casos está causado por la modificación de la fauna preexistente con una disminución importante de los depredadores naturales de los herbívoros, generalmente introducidos por el hombre (Casanova, 1991).

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. Estas fuerzas externas, en la actividad agrícola, tienen su origen principalmente en: Implementos de labranza del suelo, cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre, pisoteo de animales (Casanova, 1991).

Los tractores de ruedas provocan mayor compactación provocando, presión sobre el suelo, peso sobre los sistemas de rodaje, número de pases, velocidad de desplazamiento, patinaje y tránsito durante el tiempo que el suelo permanece a una humedad cercana a la humedad crítica de compactación (Gonzales *et al.*, 2009).

La compactación origina una escasa porosidad que resulta negativa para la producción. Hay que aclarar que la compactación a la que se hace referencia es diferente de la que habitualmente realizan los rulos sobre suelos con bajo contenido de humedad, y es importante señalar que cuando el suelo tiene un contenido de humedad elevado los trenes de rodadura de los vehículos agrícolas degradan totalmente la estructura del suelo, produciendo una sobre compactación, pues se sabe que si se coloca una placa cargada sobre el suelo forma por grandes terrones, estos actúan de estructura resistente y transmiten la carga a las capas profundas del suelo. Si el suelo está formado por pequeños terrones y tierra fina, la carga que actúa sobre la placa se reparte por todo el suelo según esferas una gran superficie sobre la que se hace presión. Como se observa en la figura (4.5). (Universidad de Castilla-la Mancha 2004).

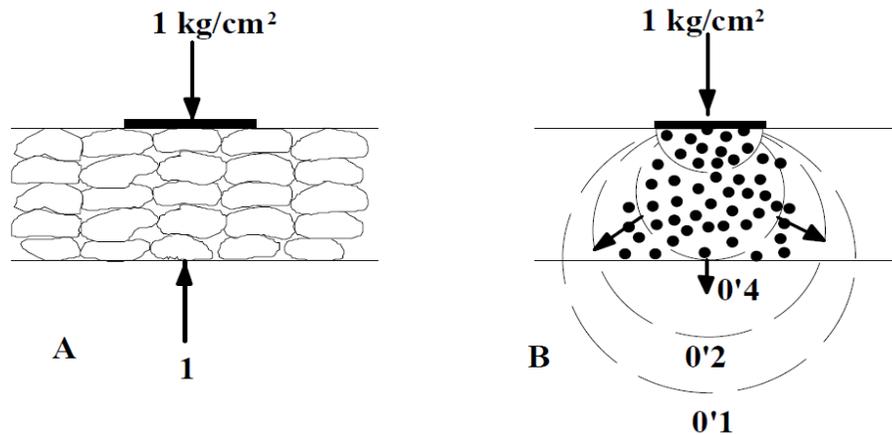


Figura 4.5 Estado de tensiones en el suelo por efecto de una carga vertical (Universidad de Castilla-la Mancha 2004)

Existió una marcada influencia negativa de los grados de compactación provocados por los tratamientos de laboreo intensivo, comparado con el testigo, con respecto a la porosidad estructural, la colonización radical y los rendimientos de frijol y maíz. En el cuadro (4.2), se observa las modificaciones de algunas variables físicas analizadas. La porosidad estructural o interagregados se redujo progresivamente en la zona susceptible a compactarse del vario 25% en el testigo hasta 12% como valor extremo en el tratamiento de 20 pases de gradas (Alfonso *et al.*, 2000).

Cuadro 4.2 Modificaciones de algunas propiedades físicas causadas por la compactación (Alfonso *et al.*, 2000)

No de pases de de grada	Capa	Porosidad (%)*			Velocidad de filtración piso de labor (mm/h)		Densidad (g/cm ³)	
		P.G.	P.T.	P.E.	Surco	Calle	Surco	Calle
1	Suelta	67	40	27	-	-	1,02	1,08
	> 20 cm	65	40	25	325	215	1,05	1,12
5	Suelta	66	40	26	-	-	1,03	1,10
	Compacta	64	46	18	125	98	1,16	1,22
10	Suelta	65	39	26	-	-	1,03	1,10
	Compacta	63	47	16	85	53	1,18	1,25
15	Suelta	65	40	25	-	-	1,03	1,10
	Compacta	60	47	13	70	45	1,25	1,32
20	Suelta	65	40	25	-	-	1,06	1,12
	Compacta	60	48	12	62	40	1,34	1,45

*P.G.= Porosidad Global; P.T.= Porosidad Textual; P.E.= Porosidad Estructural (PE= PG – PT).

4.2.2 Resistencia a la penetración empleando AP

La dureza del suelo se expresa en kg cm^2 o en kPa, se mide con la ayuda de aparatos llamados penetrómetros o durómetros. Han sido creados una serie de aparatos de diferentes principios de trabajo y formas de ser accionados, tales como mecánicos, dinámicos, hidráulicos, electrónicos, de sondas de neutrones, unos para ser operados por el hombre y otros montados sobre tractores con una sola unidad y en ocasiones con varias unidades para aumentar la productividad del trabajo y obtener una mayor información (precisión) de la dureza del suelo al cual se le quiere determinar debido a las grandes variaciones que presenta en sus diferentes lugares por tratarse de un cuerpo no homogéneo tanto en su extensión como en su profundidad (Padrón 2005).

La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. La penetrabilidad del suelo permite conocer la facilidad con que un objeto puede ser introducido en él, es decir, la resistencia mecánica que ofrece el suelo a la expansión lateral y al corte que produce dicho objeto. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que es la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las cuales a su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, y de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo.

Aún que los valores obtenidos no reflejan más que un índice, que a su vez depende de la forma del elemento que se ha introducido en el suelo (placas, semiesferas, conos, etc.), siempre se puede encontrar una relación entre la resistencia a la

penetración y a la que opone al suelo a una acción diferente producida bien por un neumático arrastrado o motriz, o una determinada herramienta de trabajo (Salas 2013).

Cuando las raíces se encuentran en un suelo demasiado denso, no pueden penetrar y cambian la dirección de crecimiento o detienen su crecimiento. Esto ocurre frecuentemente en ambientes descritos anteriormente, donde las raíces de plantas sembradas sujetas a suelos compactados, tienden a crecer solamente en los primeros 10-20 cm de profundidad esto aumenta el área superficial del sistema radical por volumen de suelo a diferentes profundidades (Liu y Waldron, 1988).

Una de las mayores ventajas que presenta la utilización del penetrómetro como equipo de medición de la resistencia del suelo, es la versatilidad para hacer en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas, esta característica le permite ser una herramienta de diagnóstico inicial sobre las condiciones físicas del suelo.

La evaluación en campo del penetrómetro muestra la profundidad y los puntos donde se localizan las áreas compactadas del suelo evaluado, dando una mayor confiabilidad al agricultor (Jiménez, 2011).

En la figura (4.6), se muestran los resultados obtenidos y mapeados en la evaluación en campo, muestran en tiempo real tanto la demanda de fuerza para la resistencia a la penetración del suelo como la profundidad donde se localizan las áreas compactadas (Salas, 2013).

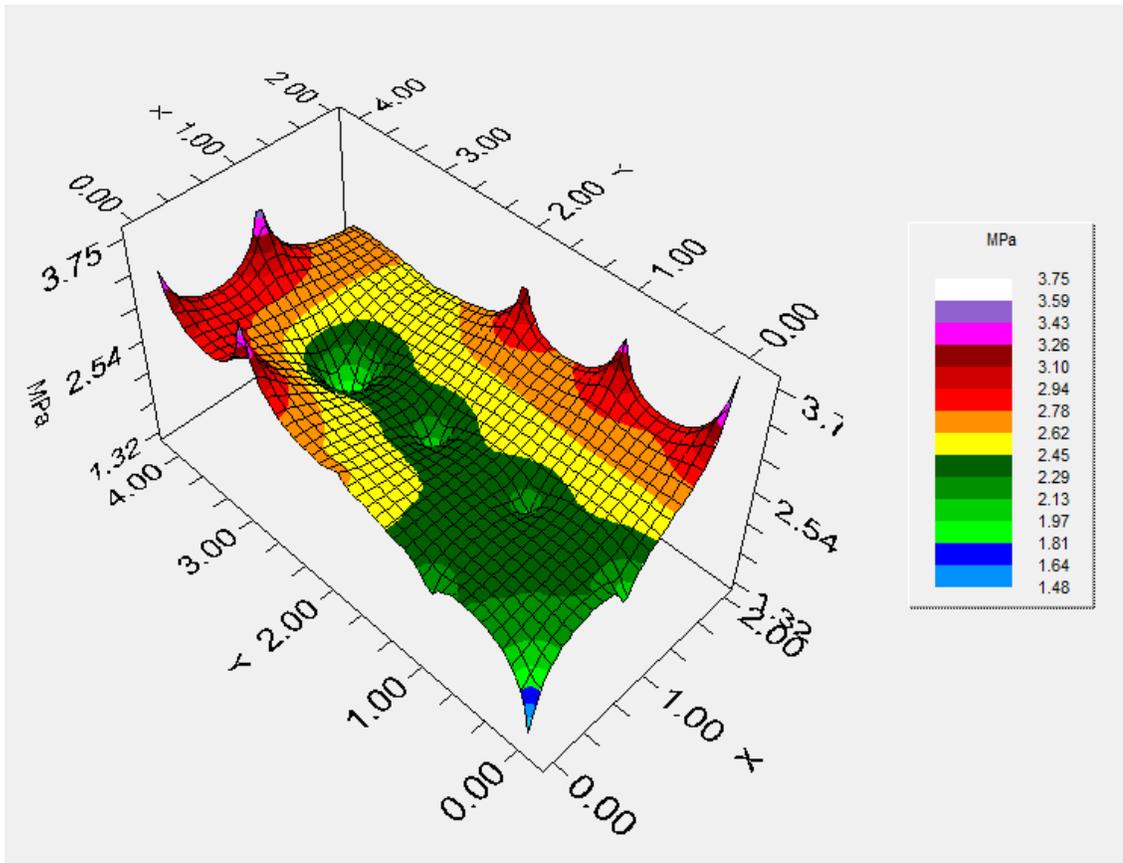


Figura 4.6 Mapa de resistencia a la penetración en 3D (Salas, 2013)

4.2.3 Resistencia al esfuerzo cortante del suelo

La determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, es uno de los puntos fundamentales de la mecánica de suelos, ya que es imprescindible para la estabilidad de los suelos en las obras civiles (Gutiérrez, 2012).

En la mecánica de suelos, el elemento que genera el corte es la estructura que transmite una carga determinada; y el elemento resistente a ser cortado, corresponde al suelo de cimentación. La comparación entre ambos, evalúa características de resistencia al corte o resistencia cortante. Una estructura de mayor carga genera deformación en el terreno de cimentación. Este último tolerará las cargas y sus incrementos hasta que sus características de resistencia lo permitan.

La carga transmitida al terreno dividido entre el área de contacto, es igual al esfuerzo transmitido. Si este esfuerzo genera el corte en el terreno, entonces se está evaluando la resistencia al esfuerzo cortante (Gutiérrez, 2006).

Toda obra de ingeniería exige seguridad, funcionalidad y economía. Cuando se habla de seguridad en el caso específico de los suelos, se busca que el sistema que forman la cimentación y el suelo no genere un mecanismo de falla que ponga en peligro la estabilidad de la obra. Para llevar a cabo el análisis de la estabilidad de una estructura, desde el punto de vista de la ingeniería geotécnica, es necesario determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos involucrados en el mecanismo potencial de falla. Sin embargo, dicha determinación implica grandes retos para el ingeniero de mecánica de suelos, en virtud de las variables involucradas en el problema, tales como: Tipo de suelo, grado de compacidad o consistencia, grado de saturación y anisotropía, entre otras (Gutiérrez, 2012).

4.3 Diseño de transductores

4.3.1 Sensor octagonal de anillo extendido

Campos *et al.*, (1992) desarrollaron una metodología sencilla para diseño de anillos octagonales teniendo en mente su aplicación en la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo, y demostró que existe un efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, cosa que cabe señalar que Godwin (2007) no menciona el efecto de la longitud de los platos (en función del largo total del anillo extendido) sobre la sensibilidad del transductor y su efecto sobre la localización de los nudos de deformación.

Esto se derivó en realizar una determinación experimental de las dimensiones apropiadas del plato así como su efecto en la nueva localización de los nudos de

deformación para la fuerza horizontal (F_x), corrigiendo así, la localización del nudo de deformación producido por la componente horizontal localizándose $a^\theta = 391/4^\circ$ y se encontró las sensibilidades para cada nudo de deformación.

Uno de los transductores más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido, que tiene las ventajas sobre otros comúnmente empleados en la evaluación de equipos de labranza cuando la precisión de la localización de las galgas extensiométricas ha sido realizada (Campos, 1993).

Consideraciones adicionales para el diseño del anillo extendido fueron dadas por Hoag (1977). Estos tienen el objetivo de mejorar la sensibilidad del anillo por medio de aumentar al máximo la relación $[\varepsilon/S\{x, y\}]$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio.

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión-proporción del desplazamiento, sugirió Hoag (1977) que la relación (tr^2) debe aumentarse al máximo. Para los requerimientos específicos esperados de cualquier fuerza máxima o momento, la deformación máxima en el anillo puede ser seleccionando el material del anillo apropiado junto con un máximo conveniente a la deformación aceptable.

4.3.2 Galgas extensiométricas

Una galga extensiométrica es un sensor basado en efecto piezo-resistivo. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica.

Las galgas extensiométricas son un ejemplo de transductores pasivos que convierten un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Una galga extensiométrica es un dispositivo delgado como una oblea, que se puede unir a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados (Cooper, 1991)

Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambre resistentes de diámetros muy pequeños como constantes (marca registrada). Constante, es una aleación de níquel-cobre que contiene 60% de cobre y 40% de níquel o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia de las galgas extensiométricas tiene una lámina delgada o un alambre con una longitud a medida de que el material sufre tensiones o compresiones. Este cambio en la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de Wheatstone adaptado especialmente.

La sensibilidad de una galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamado factor de galga k que se define como la unidad de cambio de la resistencia por la unidad de cambio de longitud, donde dicho valor viene proporcionando en el empaque de la galga.

Para la configuración de las galgas la forma del elemento sensor (galga) se selecciona de acuerdo con la tensión mecánica por medir; uni-axial, bi-axial o multidireccional. Para aplicaciones uni-axiales a menudo se utilizan elementos sensores largos y para maximizar la tensión del material sensor en la dirección de interés. Los lazos finales son pocos y cortos, de modo que la sensibilidad a tensiones transversales sea baja. La longitud de la galga se elige según el campo de tensión por investigar, ver figura (4.7).

Para la mayoría de las mediciones de tensión, una galga de 6 mm. De longitud ofrece una buena operación y la instalación es fácil.

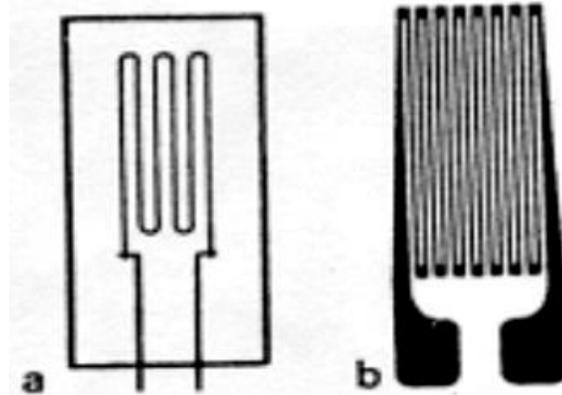


Figura 4.7 Galga extensiométrica uni-axial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991)

Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en dirección correcta. Sin embargo, para simplificar esta tarea y obtener mayor exactitud, se dispone galgas de múltiples elementos o rosetas.

Las rosetas de dos elementos suelen utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un circuito puente de Wheatstone para proporcionar una salida máxima. En análisis de esfuerzos, los elementos axial y transversal pueden tener diferentes resistencias que se pueden seleccionar para que la salida combinada sea proporcional al esfuerzo. Las rosetas de tres elementos frecuentemente se utilizan para determinar la dirección y magnitud de las tensiones principales que resultan de cargas estructurales complejas.

Una roseta de deformación es un arreglo de tres galgas extensiométricas utilizado para medir el estado de deformaciones de un material en el plano, lo cual implica

medir la deformación normal en $x(\varepsilon_x)$, la deformación normal en $y(\varepsilon_y)$, y la deformación cortante en el plano (γ_{xy}) . Debido a que una galga sólo puede medir la deformación normal, a veces resulta más conveniente utilizar una roseta de deformación. Aunque pueden crearse infinidad de combinaciones para el arreglo de galgas, existen dos que son las más utilizadas: la roseta rectangular y la roseta delta. Para nombrar a cada una de las galgas se usan las primeras letras del abecedario, comenzando por la roseta horizontal y siguiendo el sentido opuesto de las manecillas del reloj.

Los tipos más comunes tienen desplazamiento angular de 45° o 60° entre los elementos sensores. Las rosetas de 60° se usan cuando la dirección de la tensión principal se desconoce. Las rosetas de 45° proporcionan una resolución angular mayor y normalmente se utilizan cuando se conocen las direcciones de las tensiones principales, ver figuras (4.8) y (4.9).

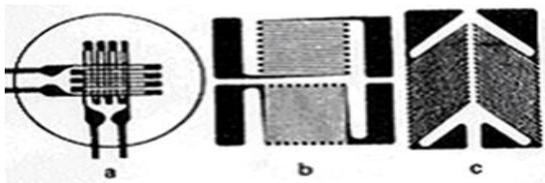


Figura 4.8 (A) Galgas uniaxial

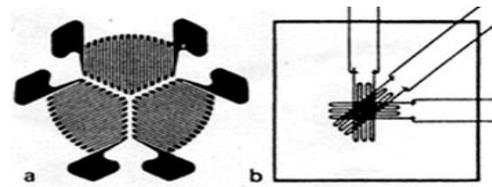


Figura 4.9 (B) Roseta de dos elementos, laminillas apiladas a 90° C

Roseta de dos elementos, a) laminillas apiladas a 90° C; b) laminillas plana a 90° C; laminilla plana delgada a 90° C. (Cooper, 1991).

Otro tipo son las galgas extensiométricas soldadas que consiste en un marco estacionario y una armadura que está colocada en el centro del marco. La armadura solo se puede mover en una dirección. El desplazamiento está limitado por cuatro filamentos de alambre sensible a la tensión, devanado entre aisladores rígidos montados en el marco y en la armadura. Los filamentos son de igual longitud y tienen un arreglo (Mojica, 2000).

Cuando se aplica una fuerza externa a la galga extensiométrica, la armadura se mueve en dirección indicada. El cambio de resistencia de los filamentos es proporcional al cambio de longitud, y estos se pueden medir con un puente de Wheatstone.

4.3.3 Puente de Wheatstone

Las medidas de precisión de los valores de componentes se han hecho por muchos años utilizando diferentes tipos de puentes. El más simple tiene el propósito de medir la resistencia. El circuito puente forma la parte principal en algunas mediciones y como interface de transductores. En la figura (4.10), el puente tiene cuatro ramas resistivas, junto con una frecuencia de (batería) y un detector de cero, generalmente un galvanómetro u otro medidor sensible a la corriente. La corriente a través del galvanómetro depende de la diferencia de potencial entre los puntos c y d. Se dice que el puente está balanceado (o en equilibrio) cuando la diferencia de potencial a través del galvanómetro es cero volts, de forma que no hay paso de corriente a través de él. Esta condición se cumple cuando el voltaje del punto c al punto a, es igual que el voltaje del punto d al punto a; o bien, tomando como referencia la otra terminal de la batería, cuando el voltaje del punto c al b es igual que el voltaje del punto d al punto b. por tanto, el puente está en equilibrio (Cooper, 1991).

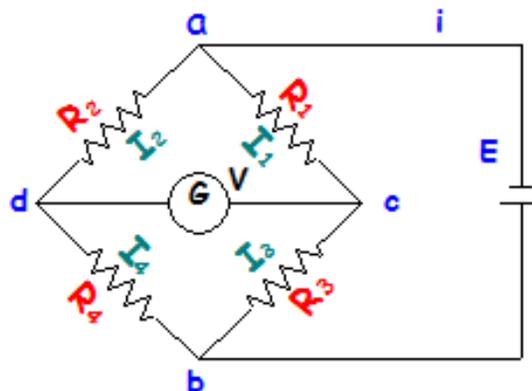


Figura 4.10 Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios Mega Ohm (Cooper, 1991)

4.4 Adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan para medir y registrar señales obtenidas básicamente de dos maneras: a) aquellas que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas, que pueden incluir voltaje de corriente directa (cd) y corriente alterna (ca), frecuencia o resistencia; suele hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad, b). Señales que se originan a partir de transductores, como galgas extensiométricas y termopares.

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos clases principales: analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan en forma analógica la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión ver figura (4.11). Los sistemas digitales manejan la información en forma digital. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referencial a la magnitud o naturaleza de la cantidad (Pallas 1993)

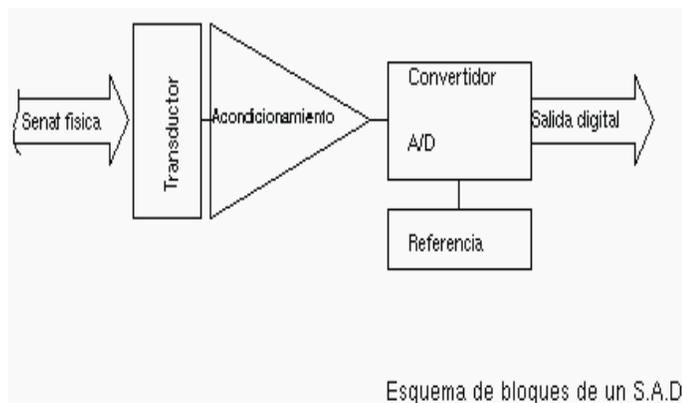


FIGURA 4.11 Sistema de adquisición de datos analógicos (Pallas, 1993)

Un sistema de adquisición de datos analógico consta de algunos o todos los elementos siguientes:

1. **Transductores.** Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.

2. **Acondicionador de señales.** Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
3. **Instrumentos de registro de datos.** Para obtener un registro permanente de los datos de entrada.
4. **Los sistemas de adquisición de datos** se utilizan en un gran número de aplicaciones (en constante aumento), en una variedad de áreas industriales y científicas, como la industria biomédica, aeroespacial y telemetría. El tipo de sistema de adquisición de datos, analógica o digital, depende del uso de los datos registrados.

En general, los sistemas de datos analógicos se utilizan cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se puede tolerar poca exactitud. Los sistemas digitales se aplican cuando el proceso físico que en estudio varía poco (ancho de banda angosta) y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal.

Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal para medición y registro de voltajes, corriente directa de parámetros de entrada, los comparan con respecto a condiciones o límites preestablecidos y llevan a cabo cálculos y toman decisiones sobre la señal de entrada. Los sistemas digitales en general son más complejos que los analógicos, tanto en términos de volumen y complejidad de los datos de entrada que pueden manejar (Pallas, 1993).

4.4.1 DaqBook200/2000

El DaqBook200/2000 (figura 4.12) es un dispositivo de adquisición de datos donde podemos observar las diferentes entradas analógicas de medida, entradas de frecuencia, y entradas digitales. El DaqBook200/2000 está equipado con una función

de señal con una capacidad, que puede ser ampliado y mejorado con más de 40 canales.



Copyright © 1999-2010 Artisan Scientific

FIGURA 4.12 Dispositivo de adquisición de datos DAQ BOOK200 (Measurement Computing, 2014)

La serie DaqBook200/2000 incluye un orden interfaz interno ethernet (red de área local) de 10/100 BaseT capas de la transferencia de los datos adquiridos de nuevo a la PC en la lectura total de 200/s de medición tipo del DaqBook. Múltiples DaqBook se pueden conectar a un pc a través de un concentrador o conmutador ethernet, capaz de ser sincronizada y la transferencia de datos continua a toda velocidad en el pc (Measurement Computing, 2014).

4.4.2 Amplificador DBK 43-A

Visión general La DBK43A y DBK43B condicionará señales de la mayoría de los transductores puente de circuito que tienen una salida de señal de menos de 50 mV. Calibradores de tensión y celdas de carga son los tipos más comunes. Vamos a utilizar los términos: módulo (s), módulo (s) de calibre, y el módulo (s) de bandas extensiométricas para referirse a ambas unidades, excepto cuando una característica o función es exclusiva de un módulo específico.

Entrada de señal conectores-DBK43A utiliza un conector mini-din 6 para cada canal. El DBK43A tiene un interruptor cal/norm. En DBK43A-sellado de tiempo y evento Marcado resultado lecturas erróneas en el momento de la estampación o el marcado.

Por medio puente y deformación de cuarto de puente galgas, los módulos tienen capacidad BCRs suministrado por el usuario (resistencias del puente de terminación) que completan el circuito de puente. El circuito de puente debe ser completo para el módulo medidor de deformación para operar correctamente.

Cada canal del módulo medidor de deformación ofrece un seleccionable de 3 polos, filtro de paso bajo con una facilidad de ajuste de frecuencia de corte. Terminales de detección remota se proporcionan para hacer conexiones Kelvin 6 hilos. Hasta dos módulos se pueden conectar a cada uno de los canales 16 de base analógica para un máximo de 256 señales de entrada como se muestra en la figura (4.13).

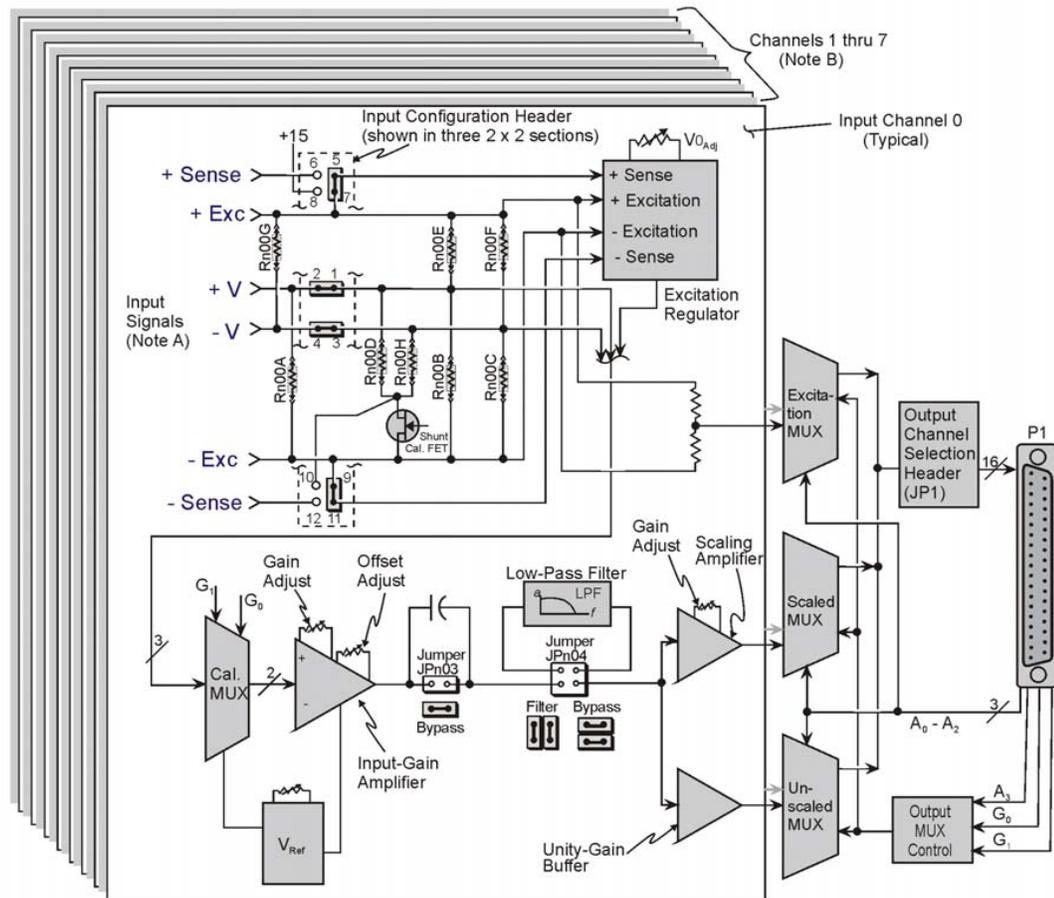


Figura 4.13 DBK43A y DBK43B Diagrama de bloques A) DBK43A utiliza DIN-6 conectores Mini para entradas de señal. DBK43B utiliza bloques de terminales de tornillo extraíbles. B) Canales 0 a 7 corresponden a los canales de placa de circuito 100 a 800, como se discutió en la sección de configuración de hardware (Iotech, 2014)

Ambos módulos de bandas extensiométrica proporcionan un rango de ganancia de amplificador de $100 \times$ a $1250 \times$ para su uso con sensores de tensión que tiene $0,4-10$ sensibilidades mV V^{-1} . La mayoría de los medidores de deformación se especifican para un valor final de peso, fuerza, tensión, presión o flexión con una salida de mV V^{-1} de excitación. Por ejemplo, un medidor de deformación con una calificación de escala de 1,000 libras de tensión podría salida 2 mV V^{-1} de excitación a plena carga. Con una excitación de 10 VDC, 1000 libras de carga se producirá una salida de 20 mV.

El módulo de 0 a 5 VDC desplazamiento y el permiso de salida escalado anulación de gran reposo cargas (inactivos o inmóviles) y la ampliación de la gama dinámica para obtener la máxima resolución. Típicamente, la salida de reposo no es cero. Antes de una fuerza que se aplica, un medidor de deformación puede ser montada en un estado de desviación parcial resultante en una salida. En el caso de un medidor de tensión, esta salida puede ser debido al peso de un gancho o recipiente vacío.

Los módulos incluyen una fuente de voltaje de excitación interna. El regulador de excitación en todo el rango es ajustable desde 1.5 hasta 10.5 VDC con un límite de corriente de 50mA (Iotech, 2014).

4.5 Sensores de medición de distancia

Los sensores de distancia y transductores de distancia, están pensados para realizar la medida de distancia lineal o desplazamiento lineal de una forma automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física, en este caso la variación física es la distancia.

Los rangos de medida disponibles son muy diversos, según el tipo de sensor de distancia empleado. Así pues hay modelos que tienen rangos de unas pocas micras y otros modelos que pueden llegar a medir cientos de metros. En función del rango requerido, el formato del sensor varía, siendo más o menos voluminoso, con mayor o menor protección IP, etc., (Sensing, 2014).

Podemos decir que los sensores de proximidad son de una gran ayuda al mundo de la automatización pues su gama de aplicaciones es bastante grande y en aumento. El sensor de proximidad más usado en la robótica es el sensor infrarrojo, perteneciente a la familia de los sensores fotoeléctricos. Es la más usada debido a su

bajo costo, a su fácil uso, su fácil implementación y a su amplia gama de aplicaciones de automatización (Robótica 2010-2014).

4.5.1 Sonar LV-MaxSonar-EZ1

Es especial para aplicaciones robóticas y de control industrial ya que posee muy buenas características de funcionamiento y robustez en cuanto a mediciones se refiere. El sensor proporciona lecturas muy precisas a partir de 0 a 645cm con una resolución de 1cm. Este sensor puede ser alimentado con voltajes entre 3,3 y 5 VDC ver figura (4.14).

La información puede ser recogida a través de uno de estos tres métodos - analógico, serie o PWM - los cuales están activos al mismo tiempo. La salida analógica produce una tensión proporcional a la distancia medida, con una sensibilidad de $(VCC/1024) V Cm^{-1}$. La interfaz serie es simple y con formato a RS-232, con voltajes que van desde 0 a VCC y el terminal de configuración 9600-8-N-1. Por último, el PWM genera una representación de ancho de pulso con un factor de escala de $58us cm^{-1}$ (MaxBotix, 2014).

Características:

1. Sensor de ultrasonido de 42 kHz
2. Funciona a partir de 2.5 – 5.5 V
3. Bajo consumo de corriente 2 mA
4. Tasa de lectura de 20 Hz
5. Salida serie RS232- 9600 bps
6. Salida analógica- $10 mV pulg^{-1}$
7. Salida PWM- $47 us pulg^{-1}$



Figura 4.14 sonar LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix 2014)

4.6 Filtros de señal

Es un circuito electrónico que puede ser usado para: Modificar, cambiar la forma, o manipular el espectro de frecuencia de una señal eléctrica de acuerdo con algunos requerimientos previamente definidos.

Los filtros electrónicos son circuitos capaces de discriminar frecuencias. Esto quiere decir que actúan de modo distinto para señales oscilantes a diferentes frecuencias; un filtro se puede utilizar para amplificar señales, eliminar o aislar frecuencias específicas. Con los filtros se pueden eliminar señales contaminadas con ruidos dentro de los circuitos electrónicos o componentes que puedan interferir, así mismo se puede limitar el ancho de banda de las señales antes del muestreo (Jesitotr *et al.*, 2005).

En ocasiones, las señales de interés están mezcladas con otras señales y no es posible distinguirlas o separarlas por medio de análisis basados en técnicas temporales. La separación de señales atendiendo a su distribución frecuencial es una técnica muy común en procesamiento de señal. La técnica consiste en cancelar o atenuar unas zonas frecuenciales determinadas donde la señal deseada no existe y dejar pasar aquellas frecuencias en que la señal deseada tiene su contenido frecuencial. Esta técnica es utilizada en aplicaciones tan diversas como:

Mejora de calidad de señales ruidosas: El análisis frecuencial de señales contaminadas con ruido permite disminuir el ruido que esté fuera de la banda de interés (Moreno y Bonafonte, 2009).

4.6.1 Clasificación de filtros

Existen diferentes tipos de circuitos que se clasifican por su comportamiento a la salida del mismo, ante una señal a la entrada, o por sus elementos constitutivos. Dentro de la clasificación por su respuesta a distintas frecuencias en la entrada de estos circuitos (Jesiotr *et al.*, 2005).

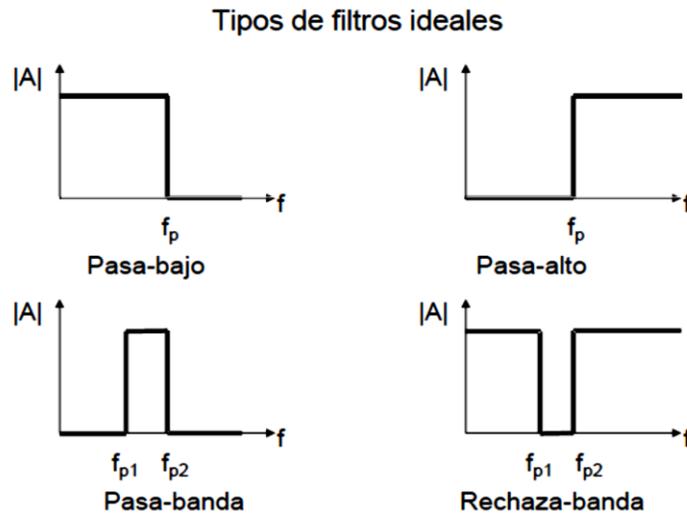


Figura 4.15 Tipos de respuesta a filtros (Jesiotr. *et al.*, 2005)

Los tipos de filtros según ver figura (4.15) (Jesiotr *et al.*, 2005) son:

Filtro pasa bajos: Es aquel que permite el paso de frecuencias bajas, desde frecuencia 0 o continua hasta una frecuencia determinada. Presentan ceros a alta frecuencia y polos a bajas frecuencia.

Filtro pasa altos: Es el que permite el paso de frecuencias desde una frecuencia de corte determinada hacia arriba, sin que exista un límite superior especificado. Presentan ceros a bajas frecuencias y polos a altas frecuencias.

Filtro pasa banda: Son aquellos que permiten el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte superior y otra inferior.

Filtro elimina banda: Es el que dificulta el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte superior y otra inferior.

Filtro multibanda: Es el que presenta varios rangos de frecuencias en los cuales hay un comportamiento diferente.

Filtro variable: Es aquel que puede cambiar sus márgenes de frecuencia. En cuanto a la clasificación de los filtros de acuerdo a sus componentes constitutivos se encuentran:

Filtro pasivo: Conformado por elementos pasivos tales como resistencias, bobinas y capacitores.

Filtro activo: Conformado por elementos tanto pasivos como activos (transistores, amplificadores operacionales, etc.) que pueden presentar una ganancia diferente para las distintas frecuencias en la señal de entrada.

Moreno y Bonafonte (2009) definen los filtros ideales como:

Un filtro con $h(t)$ real es ideal si:

$|H(f)| = 1$ En la banda de paso

$|H(f)| = 0$ En la banda atenuada

$\phi H(f) = -2\pi\alpha f$ En la banda de paso

Y los más comunes para trabajar son los de la siguiente figura (4.16):

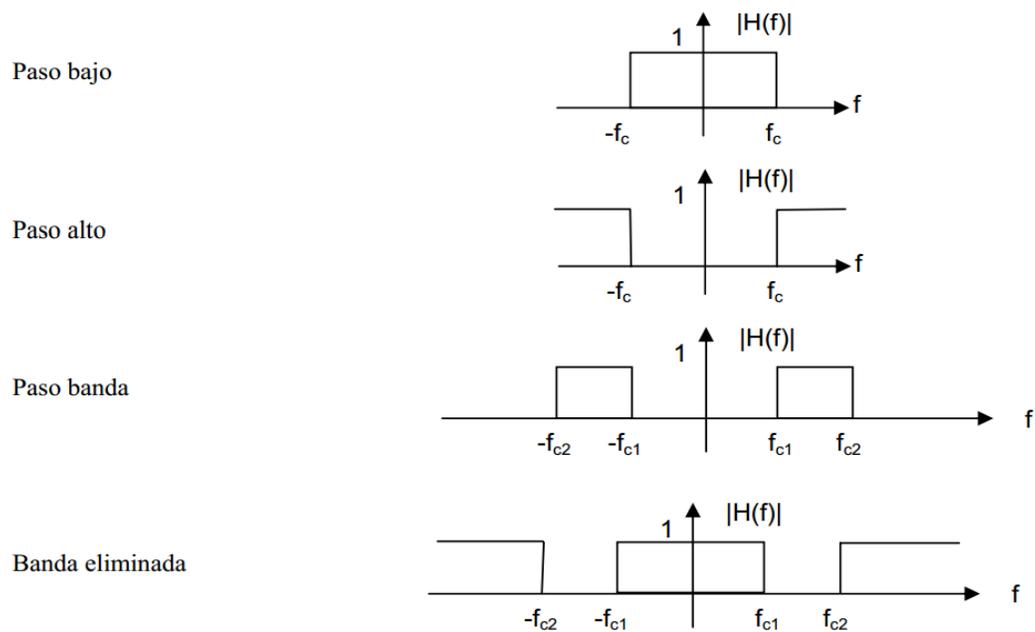


Figura 4.16 Filtros ideales (Moreno y Bonafonte, 2009)

4.7 Amplificadores operacionales

El amplificador operacional es comúnmente conocido como OPAMP (operational amplifiers), se trata de una pieza fundamental en el diseño de circuitos integrados analógicos y en ocasiones en aplicaciones digitales, su función es obtener la diferencia entre dos señales en forma de voltaje y amplificarla sea cual sea su naturaleza (Coughlin, *et al.*, 1993).

Los amplificadores operacionales son circuitos integrados con un nivel de componentes y estructura interna complicada por lo que los vamos a tomar en cuenta solo por fuera como cajas negras. Y su simbología se muestra en la siguiente figura (4.17).

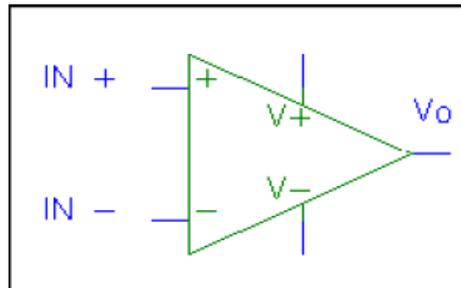


Figura 4.17 Diagrama del amplificador operacional (Escudero *et al.*, 2014)

Tienen dos entradas la (-) que se denomina “inversora” y la (+) que se denomina “no inversora” y una salida V_o . Se alimentan a través de dos terminales uno con tensión positiva $+V$ y otro con tensión negativa $-V$. Adicionalmente pueden tener otros terminales específicos para compensación de frecuencia, corrección de derivas de corriente continua etc., (Escudero *et al.*, 2014).

4.8 Variabilidad en suelo

La caracterización de los patrones espaciales de variabilidad es de creciente interés para determinar los niveles de precisión con los cuales pueden predecirse los atributos de suelo a diferentes escalas. La asociación espacial entre estos atributos y rendimiento de cultivos es necesaria en la aplicación de insumos en forma variable o tecnología manejo sitio-específico (MSE). Esta tecnología se fundamenta en la capacidad de reconocer la heterogeneidad dentro del lote de producción y adecuar el uso de insumos para cada unidad reconocida (Khosla *et al.*, 2002).

Tres tipos de variabilidades han sido identificados. El primer tipo es la variabilidad espacial, la cual puede ser vista como los cambios a través del lote. La segunda

variabilidad es la temporal que se refiere a cuando los parámetros cambian a través del tiempo y El tercer tipo es la variabilidad predictiva.

En el cuadro (4.3), se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP (agricultura de precisión), las tecnologías involucradas y las actividades realizadas.

CUADRO 4.3 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Khosla *et al.*, 2002)

ETAPA	TECNOLOGÍA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
Recolección e ingreso De datos.	Sistemas de posicionamiento global (GPS). Sistemas de información geográfica (SIG). Instrumentos topográficos. Sensores remotos. Sensores directos.	Muestreo de suelos Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. Monitoreo de rendimientos. Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. Sensoria-miento remoto de suelos y cultivos. Digitalización de mapas.
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	Programas SIG. Sistemas expertos Programas estadísticos.	Análisis de dependencia espacial. Confección de mapas de evaluación prescripción.
Aplicación diferencial de insumos.	Tecnología de dosis variables. Pulverización asistida por GPS. Programa computacional	Aplicación variable de nutrientes y de plaguicidas. Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.

4.8.1 Mapas de diagnóstico de suelo

El mapa de rendimiento produce información detallada de la productividad del campo y brinda parámetro para diagnosticar y corregir las causas de bajos rendimientos en

algunas áreas del campo y/o estudiar las causas por las cuales el rendimiento es más alto en algunas zonas. El sistema guarda registros de:

- Campo
- Variedades
- Descargas
- Tiempos

Un monitor de rendimiento es un sistema que recoge la información procedente de distintos sensores y gracias a un software calcula el rendimiento de un cultivo en el tiempo y en el espacio, basándose en la información de localización de cada parcela proporcionada por el sistema de localización por satélite GPS. El resultado se representa en un mapa gráfico (García y Flegon 2014).

Las cartas de uso del suelo precisas y actualizadas a nivel estatal por una parte son un elemento primordial para la planeación del desarrollo agrícola, pecuario y forestal; por otra parte contribuyen a la toma de decisiones.

Mediante la integración de orto fotos digitales, mapa base, herramientas SIG y recorridos de campo es posible identificar y cuantificar las áreas con uso agrícola; sin embargo, la precisión y confiabilidad de sus resultados forman parte de un proceso gradual que se ve sujeto a la calidad de los insumos, herramientas y metodologías empleadas (Paredes *et al.*, 2011).

En los estudios sobre la cartografía del uso del suelo agrícola es importante tomar en cuenta que existe gran diferencia entre los términos cobertura del suelo y uso del suelo. Cobertura se refiere a los objetos que se encuentran sobre zonas específicas y su distribución, mientras que uso del suelo se refiere a las actividades sociales y económicas que se llevan a cabo dentro del territorio, con presencia de una cobertura específica de suelo (Francois *et al.*, 2008).

El trabajar con imágenes de escalas mayores nos lleva a considerar aspectos que tienen que ver con la resolución vectorial de los datos, estos corresponden a la resolución espacial de las orto fotos, (el tamaño promedio de los vectores, representa los rasgos de tipo línea y área). Es decir, se deben aprovechar por una parte el nivel de acercamiento, que permiten las orto fotos para digitalizar los datos con mayor nivel de detalle, por otra parte representar los datos en escalas mayores para hacer posible colocar información vectorial sobre las orto fotos y garantice su consistencia geométrica (INEGI 2004).

La agricultura de precisión (AP) la cual representa una alternativa de optimización mediante el uso de herramientas que permiten la obtención y análisis de datos georeferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de insumos en tiempo real. Para la aplicación de esta tecnología se requiere de una fase de diagnóstico previo de rendimiento, combinado con muestreo de ambientes a nivel de sitio para determinar los factores limitantes de la producción; así como, su localización precisa para poder de ahí realizar las prescripciones en tiempo real y sitio específico de insumos.

Conforme a los resultados obtenidos en la prueba de campo se generó un mapa de diagnóstico y se hizo una interpolación en ArcView 3.2 donde se muestran los puntos de muestreo y los MPa que se registraron en cada punto de prueba, ver figura (4.18) (Salas, 2013).



Figura 4.18 Mapa ArcView 3.2 interpolación (Salas, 2013)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño del sensor de resistencia a la penetración

Se diseñara un sensor de resistencia a la penetración con una capacidad de trabajo de 10 kN a una altura máxima de la barra de acoplamiento del carro porta- sensores de 0.80 m, este sensor se integró por un transductor de fuerzas tipo anillo y una herramienta de penetración tipo cono con una área superficial de 0.0010532530 m². El tamaño de la puntas y la velocidad con que se introducen en el suelo han sido normalizadas por la ASAE, (1998).

Las consideraciones de diseño del sensor de anillo para medir la resistencia a la penetración se empleó el método desarrollado por Campos (1993) el cual considera las siguientes variables:

F = Fuerza (N)

r = Radio (m)

b = Ancho (m)

t = Espesor (m)

K = Constante

Ultimo esfuerzo del acero a ser empleado (Nm^{-2})

Para el diseño del ring se empleó la siguiente ecuación de esfuerzo flexionante.

$$\sigma = \frac{6Fr}{bt^2} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Dónde:

- σ = Esfuerzo flexionante
- F = Fuerza (N)
- r = Radio del ring (m)
- b = Ancho del ring (m)

- t = Espesor (m)

La ecuación empleada para determinar la deformación del ring de acuerdo a las dimensiones anteriores; así como, su factor de seguridad es la siguiente:

$$L_{90^\circ} = 1.09 \frac{Fr}{Ebt^2} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Dónde:

- L_{90° = Fuerza (y)
- F = Fuerza (N)
- r = Radio del ring (m)
- b = Ancho del ring (m)
- t = Espesor (m)
- E = Módulo de elasticidad

$$\sigma_l = 1.09 \frac{Fr}{bt^2} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

Dónde:

- σ_l = Esfuerzo calculado
- F = Fuerza (N)
- r = Radio del ring (m)
- b = Ancho del ring (m)
- t = Espesor (m)

$$Fs = \frac{\sigma_p}{\sigma_l} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

- Fs = Factor de seguridad
- σ_p = Esfuerzo ultimo
- σ_l = Esfuerzo calculado

Ecuación empleada para determinar el área del cono de la punta del vástago del penetrómetro.

$$A = \pi \times r \times g \quad \text{Ecuación 5.5}$$

- A = Área del cono
- r = Radio del ring (m)
- g = Generatriz del cono

$$g = \sqrt{h^2 + r^2} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Dónde:

- g = Generatriz del cono
- h = Altura (m)
- r = Radio del ring (m)

5.2 Montaje de galgas extensiométricas

El tipo de galgas extensiométricas montadas en el anillo del ring fueron de 350Ω , de la empresa Kyowa, empleando el procedimiento para su montaje el descrito por Sakurai (1996). Para el monitoreo de fuerzas se empleó el diseño del ring descrito por Cook y Rabinowicz (1963), con una capacidad de 10 kN de fuerza.

Se empleó un arreglo del puente de Wheatstone completo para realizar la medición en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir cargas estáticas y dinámicas. Las configuraciones de las galgas se muestran a continuación en el puente de Wheatstone figura (3.1).

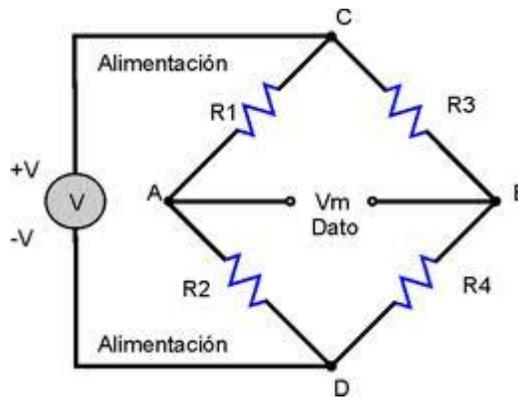


Figura 3.1 Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone. (Cook y Ravinovich, 1963)

5.3 Calibración del sensor de resistencia a la penetración

Para realizar las pruebas en campo se requiere calibrar el equipo, esto es determinar la relación voltaje-fuerza para el sensor que a continuación se describe:

Se instaló el equipo de sistema de adquisición de datos en laboratorio activando el programa DaqView 9.1.27. Se calibro el acondicionador de señales DBK-43A con los valores mostrados en el cuadro (5.1)

CUADRO 5.1 Datos que se utilizaron en la calibración del sensor en la escala del acondicionador de señales DBK-43

Excitación	9.5 volts
Input Gain	4.5 volts
Scaling Gain	4.5 volts

Se colocó el sensor de fuerza con una capacidad de 10 kN en un tri-pié como se muestra en la figura (5.2). Para la calibración del sensor en laboratorio, se registraron 5 corridas agregando los pesos mostrados en el Cuadro (5.2). Estos pesos se colocaron al centro de la canasta, las corridas se registraron agregando y quitando los pesos en cada repetición. Para la realización de las pruebas se hace un registro

en el DaqBook/2000 con un total de 6000 datos a 20 Hz con la siguiente secuencia ver cuadro (3.2).

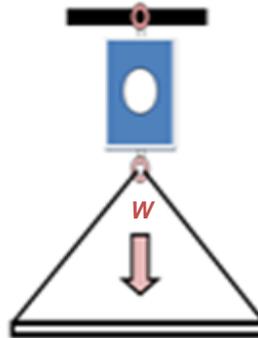


Figura 5.2 Diagrama de calibración del sensor de resistencia a la penetración

CUADRO 5.2 Tabla de pesos conocidos para aplicar en la calibración de sensor de fuerza.

Datos	Kg	Newtons
W1	45	441.45
W 2	45	441.45
W 3	45	441.45
W 4	35	343.35
W 5	35	343.35
W 6	30	294.3
Total	235	2305.35

A los primeros 500 datos que registra el DaqBook/2000 se le aplica un peso de 45 kg, a los 1000 datos de registro se le agrega un segundo peso de 45 kg, a los 1500 datos se le agrega un tercer peso de 45 kg, a los 2000 datos se le agrega un cuarto peso de 35 kg, a los 2500 datos se le agrega un quinto peso de 35 kg, a los 3000 datos se le agrega un sexto peso de 30 kg, se dejaron correr 500 datos sin agregar peso, a partir de los 4000 datos se quitaran los seis pesos cada 500 datos para terminar en 7000 datos sin peso.

Posteriormente los datos obtenidos se graficarán en el programa estadístico Minitab16 empleando la facilidad de regresión, con los valores de mV Vs Newton. Para la obtención de la ecuación de calibración.

5.4 Calibración del sensor LV-MaxSonar-EZ1

Este sensor utiliza el sonido para medir la distancia a objetos cercanos, y luego reporta la información a través de una de las tres salidas del sensor. El LV-MaxSonar-EZ proporciona una gama de objetos de 0 pulgadas hasta 254 pulgadas (6.45 metros) y proporciona información sobre el rango del sonar de 6 pulgadas a 254 pulgadas con resolución de 1 pulgada. Sensor informará la reflexión detectable más cercana de un objeto tal como se define por el patrón del haz del sensor, figura (5.3)

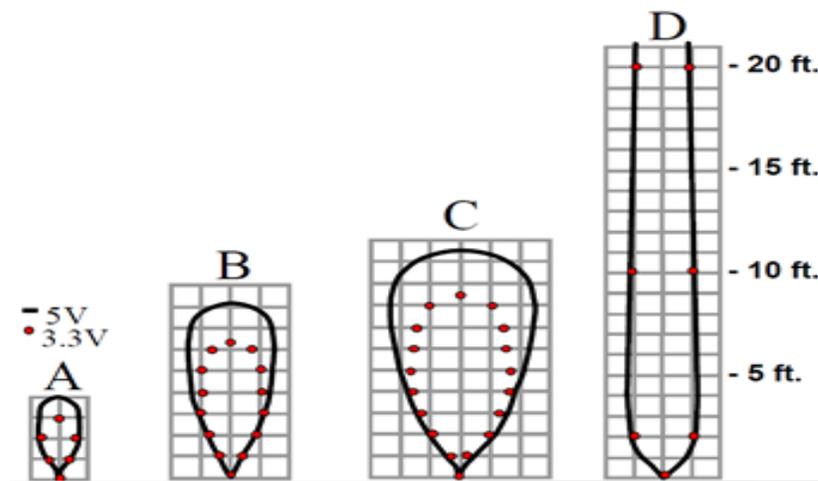


Figura 3.3 Las características aproximadas del haz del LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix, 2014)

Las características del sensor es de tipo ultrasónico de 42 kHz, funciona a partir de 2.5 a 5.5 V, tiene un bajo consumo de corriente 2 mA, la tasa de lectura es de 20 Hz,

tiene una salida analógica de 10 mV Pulg^{-1} (1pulg= 25.4mm), es un módulo pequeño y de peso ligero.

Para las pruebas que se realizaron en el laboratorio se hizo uso de un sensor para medir distancias por ultrasonido. Se empleará una mesa de trabajo, un sensor del tipo LV-MazSonar-EZ1, una lámina reflectora de 30 x 30cm, una computadora personal que contenga DaqView 9.1.27, un DaqBook/2000, dos amplificadores en serie de señal DBK43A, un regulador de voltaje de $\pm 5V$ y un multímetro.

Antes de comenzar las pruebas se acondicionara el sensor, se conectara 3 de las 7 entradas con las que cuenta el sensor que serán GND, 5 Volts y AN como se muestra en la figura (5.4).

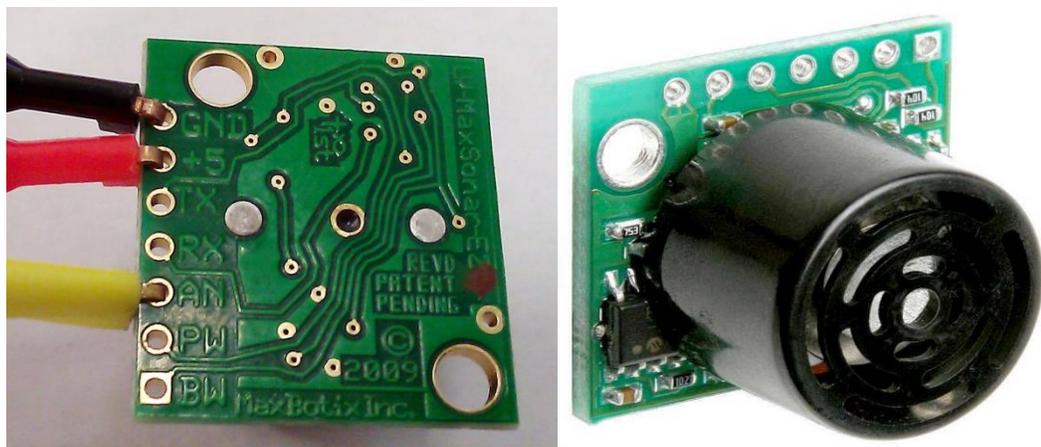


Figura 5.4 Conexiones del sensor LV-MaxSonar-EZ1 (MaxBotix, 2014)

El sensor será montado en una base de lámina para las pruebas en laboratorio, para que la señal se proyecte hacia adelante, sobre una mesa de trabajo se trazaran medidas de 0.0 a 0.50 m, se conectara el sensor a la computadora donde se registraran los datos en el DaqView 9.1.27.

La metodología para la calibración después de conectar correctamente el sonar se colocará un objeto reflector frente al sensor colocado a una distancia inicial de 0.20m, (figura 5.5). Las medidas de referencia de inicio serán a partir de la información proporcionada en la hoja de datos que se encuentra en el anexo 9.2 Los

datos se registraran en el DaqView 9.1.27, a 20 Hz y 105000 datos en total, a cada 500 datos se correrá manualmente el objeto reflector a cada 0.05 m así hasta llegar a 0.40 m, los datos se registraran de ida y de regreso con un total de 5 corridas esto para obtener una ecuación de calibración.



Figura 5.5 Calibración en laboratorio del sonar

5.5 Evaluación de los amplificadores AD620 en serie con configuración con filtro.

Después de evaluar un sensor de profundidad con un amplificador con referencias de Salas (2013) se evaluará y diseñará un circuito en el programa Ares Proteus V 8.0 profesional para los amplificadores de instrumentación AD620 en serie con configuración de filtro, con ayuda de un filtro paso bajo, el cual se montará en el sensor de resistencia a la penetración siguiendo el diagrama que se muestra en la figura (5.6)

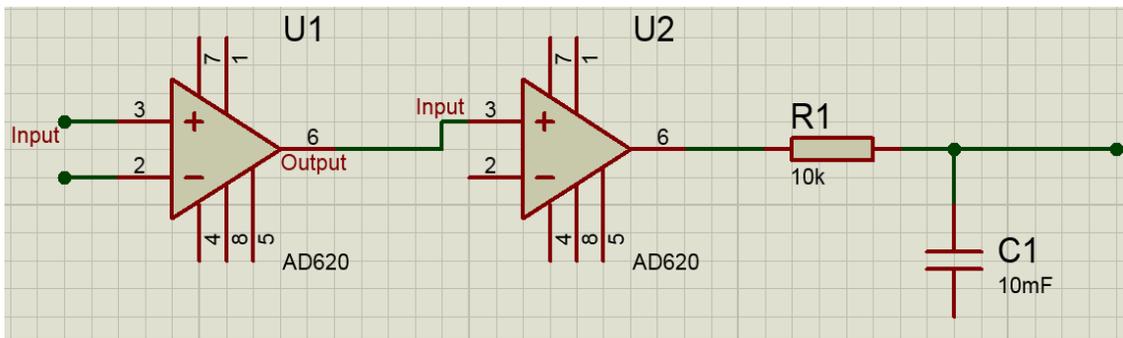


Figura 5.6 Diagrama de conexión de los amplificadores AD620 en serie con configuración de filtro y filtro paso bajo

El cálculo de las resistencias de los filtros con las siguientes formulas:

$$RC = \frac{1}{2\pi f} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

Donde $f \geq$ al ancho de banda del AD620; $C \leq 150pf$

- R = Resistencias
- C = Capacitor
- f = Frecuencia

Posteriormente de armado el circuito se realizaron pruebas de laboratorio para demostrar que el amplificador funciona correctamente y que su función cumple con las necesidades de la investigación.

Para las pruebas de calibración de los amplificadores como filtro en serie se usarán diferentes tipos de resistencias para encontrar los más adecuados para el segundo amplificador y que nos arroje la mejor linealidad.

Se usaron además un osciloscopio para la calibración del circuito y para la medición de los componentes, los datos fueron grabados en la computadora de escritorio por medio del DaqBook/2000 y del programa DaqView 9.1.27.

5.5.1 Evaluación del porcentaje de ruido del LV-MaxSonarEZ1, amplificadores en serie AD620 como filtro.

Una vez realizadas las pruebas de calibración de los amplificadores en serie como filtro, se procederá a realizar en cálculo del valor del porcentaje de ruido para las señales del sensor de profundidad conformado por LV-MaxSonarEZ1 y AD620AN en serie. Esto para verificar la nitidez de la señal que se enviará al daqbook2000, y para tener datos de campo más confiables con porcentajes de ruido menores al 1%.

5.6 Evaluación de los sensores en campo

Una vez que se tienen calibrados los sensores se realizaron las mediciones en campo de las capas compactas y distancia de penetración de la misma. Para esto se colocaron los sensores en un carro-portasensores diseñado en el Departamento de Maquinaria Agrícola de la UAAAN por López (2012) y Gutiérrez (2012). La prueba se realizará en una parcela ubicada en el rancho experimental Humberto Treviño Siller de la UAAAN ubicado en San Rafael, Galeana Nuevo León con las coordenadas Latitud 25.035324°, Longitud -100.626652° y Altitud 1849 msnm; como lo muestra la figura (5.7).



Figura 5.7 Vista aérea del rancho Humberto Treviño Siller

Para la toma de datos de campo se utilizó un tractor de la marca Massey Ferguson 2670 turbo, el cuál esta acondicionado para recibir los componentes tales como una computadora, el sistema de adquisición de datos DaqBook/2000, un DBK43A, una batería extra en serie para el alimentador de voltaje de C.D a C.A., un penetrómetro, un sensor de fuerza, un sensor de distancia (LV-MaxSonar-EZ1), circuito de amplificadores AD620 para la disminución de ruido y diversos compartimientos para el equipo a utilizar figura (5.8).



Figura 5.8 Equipo utilizado para la prueba de campo

Para la prueba en campo se hace una cuadrícula donde se marcaron 30 puntos de forma sistemática dentro de terreno muestreado de 1 ha. Como se muestra la figura (5.9). Y se realizaron dos muestreo uno para el mes de julio y el otro para diciembre 2013. Esto para verificar las señales del sensor.

Una vez trazado el terreno de prueba se procedió a muestrear los 30 puntos iniciando con el 1 hasta 30, se posiciono el carro porta-sensores en el centro del primer punto, se corre el programa DaqView 1.9.27 a 20 Hz y 3000 datos, a los primeros 500 datos se bajó el penetrómetro accionado hidráulicamente a una profundidad de 0.0 a 0.40m o hasta que el carro porta-sensores se levantara, este procedimiento fue el mismo para el total de los puntos a muestrear para posteriormente analizar los datos.

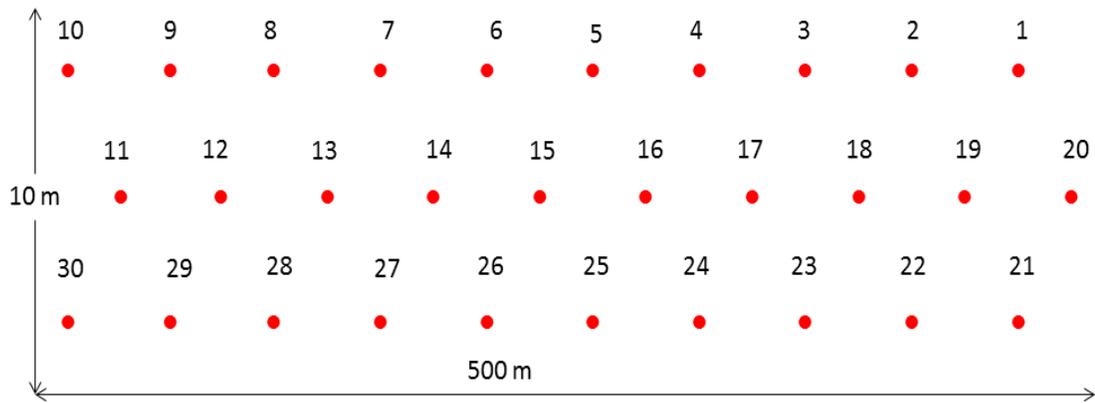


Figura 5.9 Puntos en el terreno de evaluación para diferentes fechas

Después de obtener los datos en campo se procesó la información para obtener resultados con mediciones de MPa para las capas compactas. Donde se utilizaron las formulas siguientes:

$$P = \frac{F}{A} \text{ Ecuación 5.8}$$

Dónde:

P= Presión

F= Fuerza obtenida del sensor

A= Área del cono.

Donde el cálculo del área del cono del penetrómetro es:

$$A_T = \pi * radio * (genetriz + radio) \text{ Ecuación 5.9}$$

$$Genetriz = \sqrt{(altura)^2 + (radio)^2} \text{ Ecuación 5.10}$$

5.7 Generación de mapas de diagnóstico de capas compactas

Para la realización de los mapas se utilizaron los software GS+ versión 9.0 (geostatistics) y el ArcView 3.2, donde después de obtener los datos de campo conforme a los puntos tomados figura (3.9), se procedió a la captura de los datos en MPa, siguiendo con la elaboración de los mapas para cada programa mostradas en los anexos (9.3) y (9.4).

VI. RESULTADOS

6.1 *Resultados del diseño del sensor de resistencia a la penetración*

En la figura (6.1), se muestran las características del diseño del ring. Con una capacidad de 10 kN y un esfuerzo máximo del acero 1045 de 565 MPa.

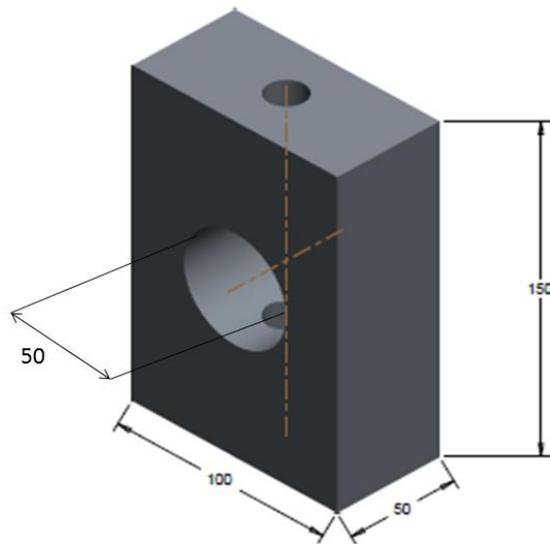


Figura 6.1. Dimensiones en 3D del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 kN, en Creo Parametric 2.0

6.2 *Resultados de montaje de galgas extensiométricas*

En el cuadro (6.1), se muestra el cableado y los arreglos de las galgas en puente de Wheatstone figura (6.2) para medir la fuerza de resistencia a la penetración producida por la localización de la fuerza.

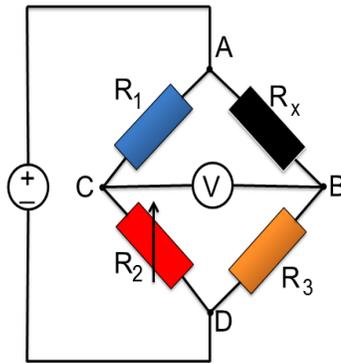


Figura 6.2 Diagrama de conexiones de las galgas en el ring

CUADRO 6.1 Resultado del montaje de las galgas extensiométricas

COLOR DE CABLE	TERMINALES	VALOR(Ω)
Negro + Azul	Voltaje	350
Rojo + Naranja	Tierra	
Negro +Naranja	S1	350
Azul + Rojo	S1	

En la figura (6.3), se muestran las características de las galgas extensiométricas montadas en el elemento (sensor). Es importante mencionar, que se requiere seguir el procedimiento descrito por Sakurai (1996) para el montaje de las galgas, así como su verificación de aislamiento, debiendo este ser superior a los 50 M Ω

La etiqueta muestra las especificaciones de las galgas extensiométricas KYOWA. El modelo es KFG-5-350-C1-11, diseñado para acero (STEEL). Incluye datos como el factor de galga (2.11 ± 1.0%), la expansión térmica adoptable (11.7 PPM/°C) y la resistencia de galga (349.4 ± 0.6 Ω).

KYOWA		MADE IN JAPAN
STRAIN GAGES		
TYPE	KFG-5-350-C1-11	
TEMPERATURE COMPENSATION FOR	STEEL	
GAGE LENGTH	5	mm
GAGE RESISTANCE (24°C, 50%RH)	349.4 ± 0.6	Ω
LOT No.	Y1963	
	100A	D11
GAGE FACTOR (24°C, 50%RH)	2.11	± 1.0 %
ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7	PPM/°C
TRANSVERSE SENSITIVITY (24°C, 50%RH)	0.35	%
TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR	-	%/°C
APPLICABLE GAGE CEMENT	CC-33A, PC-6	QUANTITY 10

Figura 6.3 Especificaciones de galgas extensiométricas de 350 Ω empleadas en el elemento (sensor), en arreglos de puente de Wheatstone

6.3 Resultados de la calibración del sensor de resistencia a la penetración

En la figura (6.4), se muestra los materiales utilizados para la calibración de sensor donde se siguió la metodología descrita en el capítulo (5.3)



Figura 6.4. Materiales utilizados en la calibración del sensor de fuerza

En la figura (6.5), se muestra un ejemplo de la gráfica de los datos obtenidos en la calibración bajo condiciones de laboratorio del sensor ring, para las fuerzas aplicadas en Newton en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos del puente de Wheatstone mostrado en la figura (6.2).

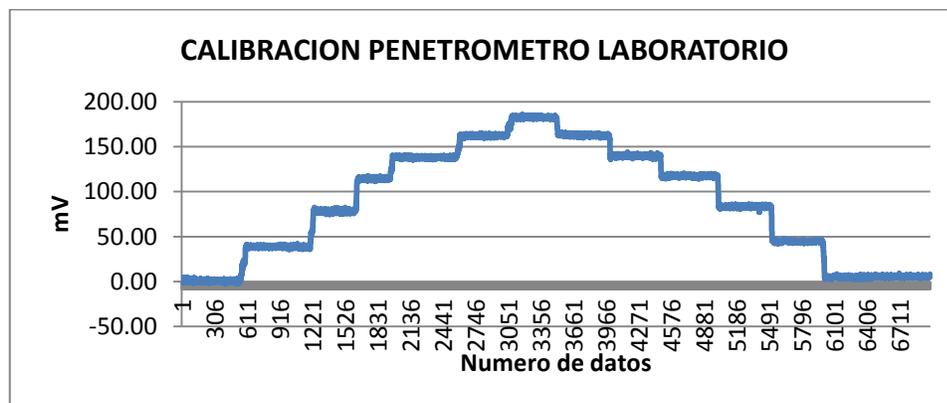


Figura 6.5 Gráfica de calibración del sensor de fuerza

Se realizaron 5 repeticiones en las pruebas de calibración del sensor y se obtuvieron los siguientes promedios en mili volts obtenidos a la aplicación de la fuerza (N) como se aprecia en el cuadro (6.2).

CUADRO 6.2 Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 kN, aplicando diferentes pesos

PESOS ACUMULADOS (N)	1	2	3	4	5	\bar{X}	δ^2	δ	C.V
441.45	34.27	36.94	38.64	37.68	35.76	36.658	2.89	1.7	4.64
882.9	73.61	73.69	75.66	80	71.8	74.95	9.83	3.13	4.18
1324.35	109.98	107.34	112.37	108.7	106.74	109.03	5.07	2.25	2.06
1667.7	133.48	131.12	133.48	131.87	132.42	132.47	1.06	1.03	0.78
2011.5	157.83	154.28	158.36	153.8	153.2	155.49	5.82	2.41	1.55
2305.35	178.1	175.64	175.38	172.89	169.85	174.37	9.79	3.13	1.79

\bar{X} = promedio de pesos, δ^2 = varianza, δ = desviación estándar, C.V = coeficiente de variación

En la figura (6.6) se observa la línea de regresión que se obtuvo mediante los datos de calibración, bajo condiciones de laboratorio empleando el programa estadístico de Minitab 16, en él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-.Sq) de 99.6% y obteniendo una ecuación de calibración de 13.15 mV N⁻¹ entre las cargas aplicadas (N) y los valores obtenidos en (mV). Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo.

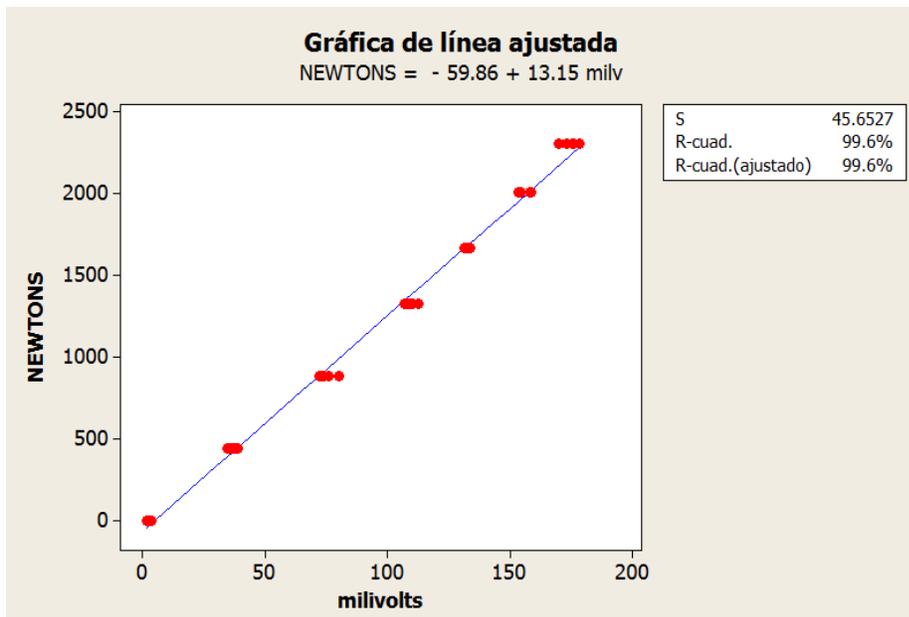


Figura 6.6 Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 kN

En el cuadro (6.3) se muestra el análisis de varianza para regresión de calibración del sensor de resistencia a la penetración donde se aprecia que los resultados son altamente significativos al cambio de fuerza.

CUADRO 6.3 Análisis de varianza para la gráfica de calibración del sensor de fuerza

Fuente	G.L.	S.C.	M.C.	F	P
Regresión	1	35899863	35899863	17225.01	0.000
Error	63	131303	2084		
Total	64	36031166			

GL-Grados de libertad, SC- Suma de Cuadrados, CM- Cuadrado Medio, F-Factor, P-Probabilidad

6.4 Resultados de las pruebas para evaluación de amplificadores AD620 en serie.

Con referencias a Salas (2013) de las pruebas de amplificador AD620 y recomendaciones de colocar dos amplificadores en serie con configuración de filtro se realizó el diseño del circuito electrónico para las pruebas de funcionamiento de los

amplificadores en serie, sonar y filtro pasa bajo, el cual se muestra en la figura (6.7), el circuito fue elaborado en el programa Ares Proteus V 8.0 profesional.

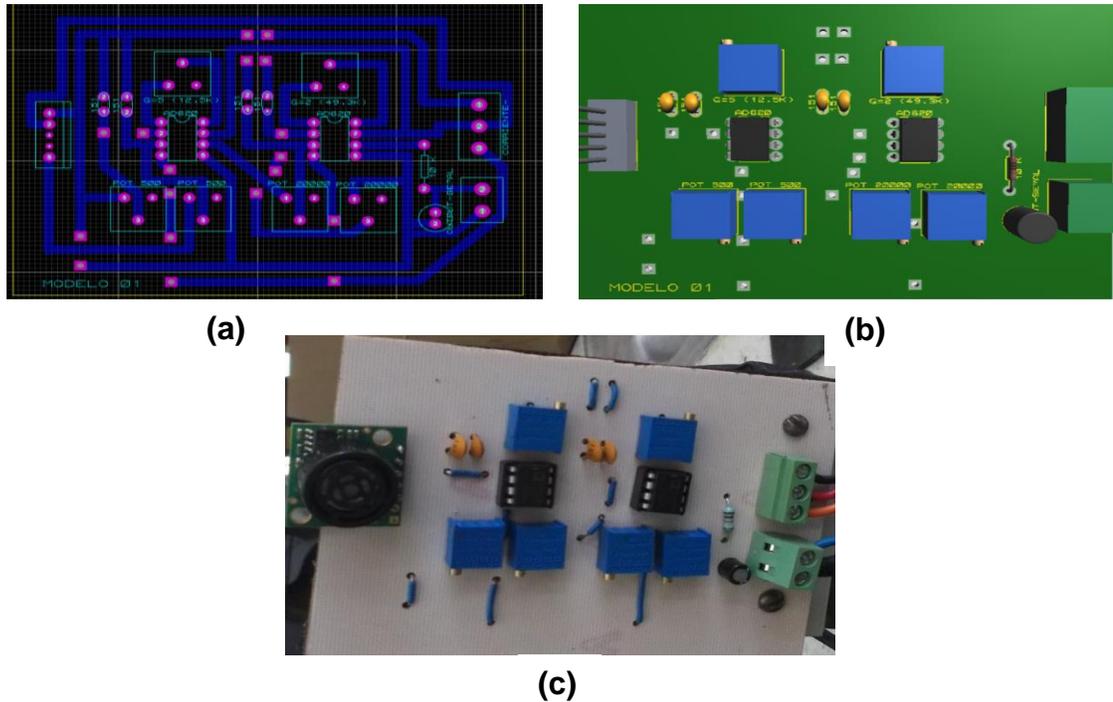


Figura 6.7 (a) Creación del circuito (b) Diagrama en 3D (c) Diagrama real de los amplificadores AD620 en serie, sonar y filtro pasa bajo con los componentes respectivos

Para esta prueba se montó el amplificador en el circuito diseñado y siguiendo la hoja de datos del AD620, como se muestra en anexo (9.1) y posteriormente se realizó la prueba para demostrar que la ganancia ajustada de los amplificadores funciona correctamente. En la figura (6.8) se muestra el armado del amplificador y los instrumentos utilizados para las pruebas realizadas.



Figura 6.8 Equipo utilizado para las pruebas del AD620 en serie

Se realizaron 5 repeticiones en las pruebas de calibración del sensor y se obtuvieron los siguientes promedios en Volts como se aprecia en el cuadro (6.4).

CUADRO 6.4 Tabla de calibraciones de distancias Vs volts.

DISTANCIA (mm)	VOLTAJE (V)
0	0.00000
50	0.19508
100	0.38748
150	0.58352
200	0.77876
250	0.96564
300	1.16170
350	1.35788
400	1.55362
450	1.74210
500	1.93270

La línea de regresión que se obtuvo mediante los datos de calibración, bajo condiciones de laboratorio empleando el programa estadístico de Minitab 16, en él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R^2) del 100% y obteniendo una ecuación de calibración de 285.5 V mm^{-1} entre las distancias aplicadas (mm) y los valores obtenidos en (V). Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo ver figura (6.9).

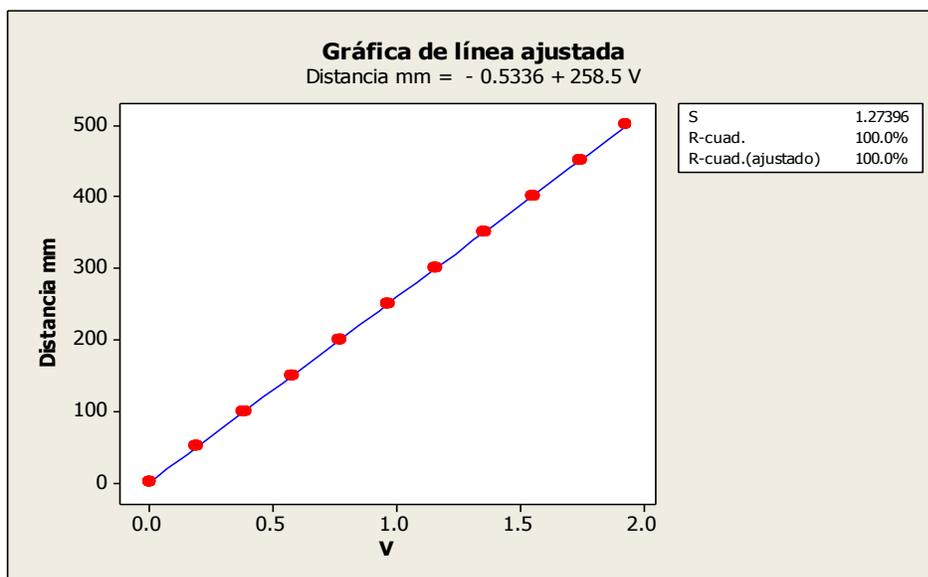


Figura 6.9 Gráfica de línea ajustada para la calibración del sonar más amplificador

En el cuadro (6.5) se muestra el análisis de varianza de la regresión de calibración del sensor de profundidad integrado por amplificadores AD620 en serie con el LV-MaxSonar-EZ1.

CUADRO 6.5 Análisis de varianza para el sonar más amplificador AD620 con una ganancia de 10 veces el voltaje de entrada

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	F	P
Regresión	1	24216.8	24216.8	265503.07	0.000
Error	103	9.4	0.1		
Total	104	24226.2			

GL- Grados de libertad, SC.- Suma de cuadrados, CM.- Cuadrado medio, F.- factor F, P.-Probabilidad

6.4.1 Resultados de la evaluación de las pruebas para porcentaje de ruido del sonar y filtro.

Las pruebas del porcentajes de ruido del circuito AD620 en serie, en el primer amplificador se utilizó una ganancia de 5 y en el segundo una ganancia de 2 veces el voltaje de entrada, esto para tener una ganancia total de 10 Vin que es el voltaje que puede registrar el equipo daqbook 2000. La calibración para la ganancia se realizó

por medio de un divisor de potencia con una resistencia fija y una variable, además se utilizó un filtro pasa bajo con resistencia de 1 kΩ y capacitor electrolítico 10 μf, un osciloscopio para la lectura de datos y posteriormente se grabaron en la computadora por medio del DaqBook/2000 y el software DaqView 9.1.27. En la figura (6.10) se muestra gráficamente la salida lineal del voltaje.

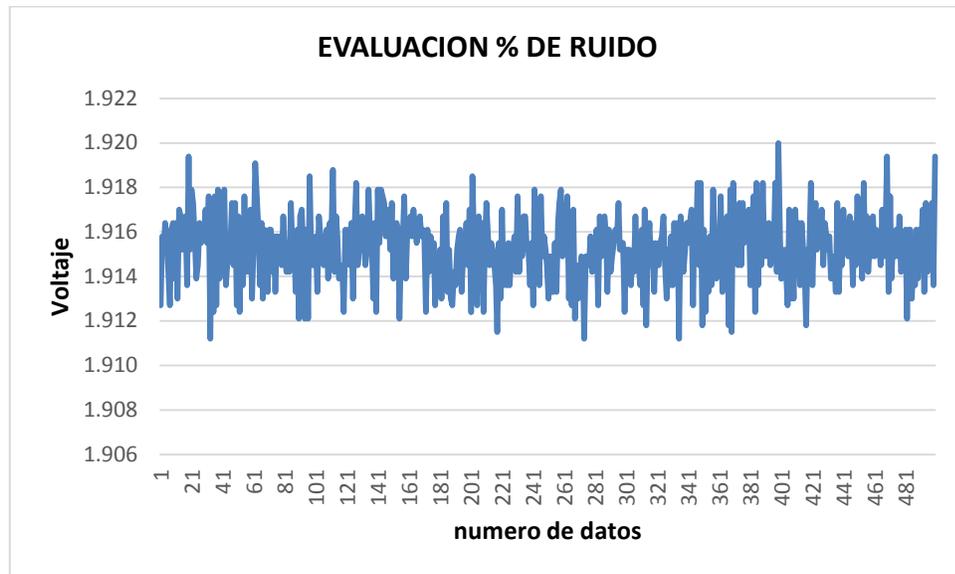


Figura 6.10 Onda lineal obtenida con circuito en serie y filtro pasa bajo resistencia de 1 KΩ y un capacitor electrolítico de 10 μf

Después de obtener las evaluaciones de los amplificadores AD620 en serie y con el filtro pasa bajo se realizaron los cálculos del porcentaje de ruido para cada señal. La fórmula para calcular el porcentaje de ruido se muestra en la ecuación (6.1)

La ecuación empleada para calcular el porcentaje de ruido se utilizó valores mínimos, valores máximos y medias.

$$\% \text{ Ruido} = \frac{\text{ValorMáximo} - \text{ValorMínimo}}{\text{Media}} \times 100 \quad \text{Ecuación 6.1}$$

En el cuadro (6.6) se aprecian el porcentaje de ruido obtenido durante las pruebas a diferentes distancia para la señal sensor de profundidad amplificador AD620-LV-MaxSonar-EZ1 y se aprecia como disminuye el nivel de ruido con forme se

incrementa la distancia con respecto a la posición de cero de referencia (0.2 m). En la figura (6.11) se muestra la gráfica de línea ajustada en Minitab 16 donde se aprecia mejor la distribución la disminución de porcentaje de ruido al aumentar la distancia de referencia.

Cuadro 6.6 Resultado de porcentaje de ruido para la salida de la señal en los 2 circuitos AD620an en serie

Distancia	r1	r2	r3	r4	r5	\bar{X}	δ^2	δ	C.V
0	1.5	1.25	1.13	1.3	1.17	1.27	0.021	0.1447	11.4
10	0.81	0.75	1.07	0.67	0.89	0.838	0.0233	0.1527	18.22
20	0.76	0.6	0.6	0.64	0.72	0.664	0.0053	0.0727	10.94
30	0.46	0.43	0.46	0.62	0.46	0.486	0.0058	0.076	15.64
40	0.34	0.37	0.44	0.42	0.46	0.406	0.0025	0.0498	12.27
50	0.42	0.43	0.43	0.45	0.42	0.43	0.00015	0.01225	2.85
60	0.41	0.36	0.33	0.33	0.43	0.372	0.0021	0.046	12.38

\bar{X} = promedio de pesos, δ^2 = varianza, δ = desviación estándar, C.V = coeficiente de variación

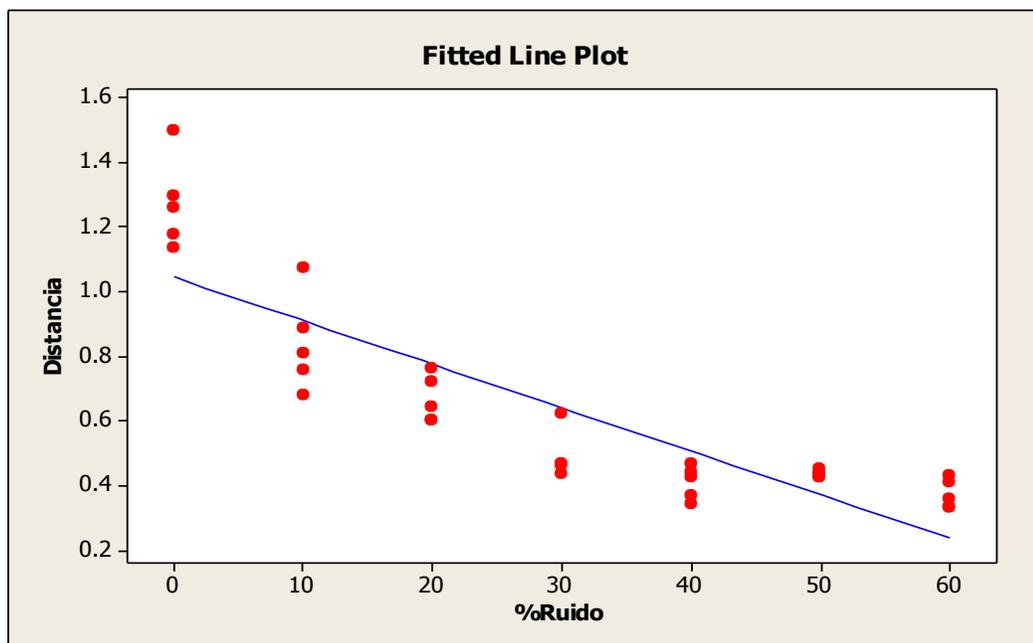


Figura 6.11 Grafica de línea ajustada porcentaje de ruido Vs distancia

6.4.1 Resultados de la evaluación de sensores en campo

En la figura (6.12), se muestra el carro porta-sensores utilizado y la herramienta del sensor de resistencia a la penetración con capacidad de 10 kN.

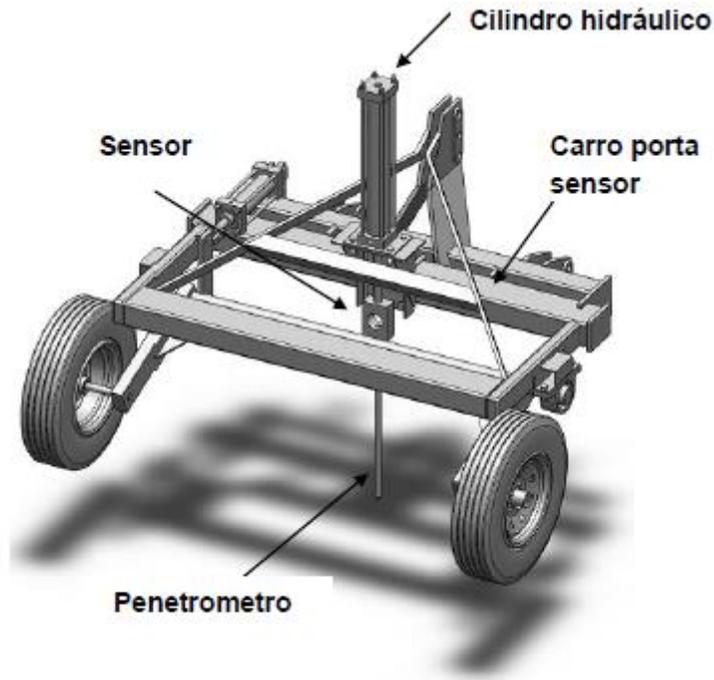


Figura 6.12 Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro. En Creo Parametric 2.0.

La evaluación en campo se realizó en dos etapas empleando dos diferentes circuitos para el sensor de medición de profundidades la primera se llevó acabo de acuerdo a la recomendación de Salas (2013) empleando un amplificador AD620 con configuración de filtro, la segunda con dos amplificadores AD620 en serie y un filtro pasa bajo.

En la figura (6.13) y (6.14), se muestran la colocación de los sensores para la evaluación en campo para determinar la resistencia a la penetración en un rango de 0.0 a 0.40 m.



Figura 6.13 Evaluación con los sensores y circuito AD620 como filtro



Figura 6.14 Evaluación con los sensores y circuito dos AD620 en serie con filtro pasa bajo

En las figuras (6.15) y (6.16), se aprecian los valores obtenidos bajo condiciones de campo de la fuerza en mV de la resistencia del suelo y la distancia de penetración obtenida por el sensor penetrómetro y sonar respectivamente. En el sección (a) de las curvas de respuesta se muestra cuando la sonda aún no ha penetrado el suelo y

la señal del sonar de color rojo está estable junto con la señal del penetrómetro de color azul. En la sección (b) de las gráficas se muestra cuando la sonda ya está penetrando el suelo y envía las señales del sonar junto con la del penetrómetro, comenzando a registrar el esfuerzo a la que está siendo penetrado el suelo. En la sección (c) se muestran las señales del sonar y del penetrómetro cuando dejan de penetrar en el suelo, debido a dos factores uno es que se levantó el carro-porta-sensores por haber encontrado capas compactas o bien porque se alcanzó la distancia de 0.40 m de profundidad.

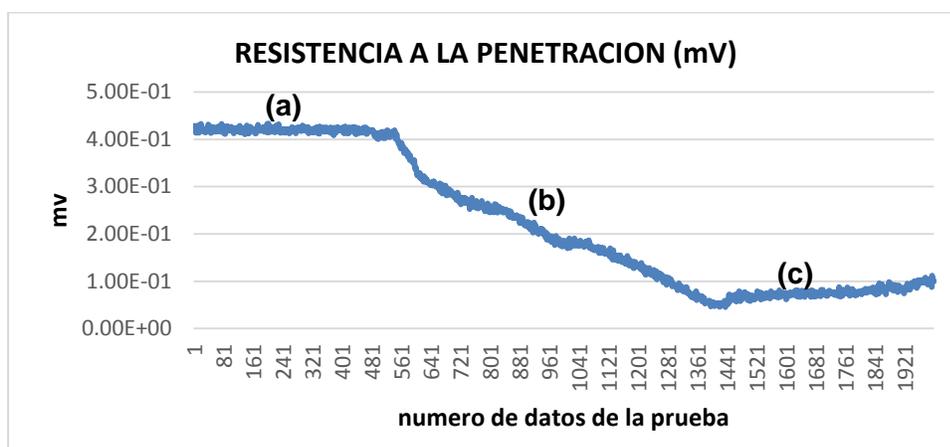


Figura 6.15 Resultados de las gráficas obtenidas en campos donde se determinó la fuerza de resistencia a la penetración del suelo

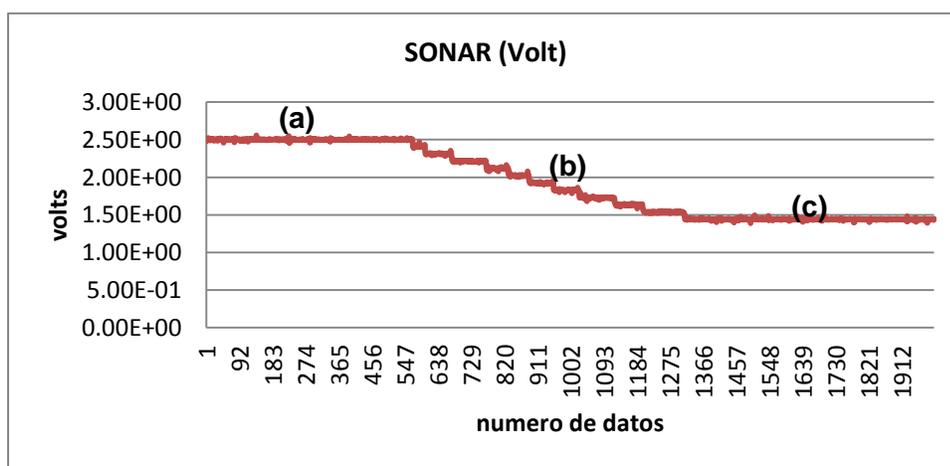


Figura 6.16 Resultados de las gráficas obtenidas en campos donde se determinó la profundidad a distancia de 0-40 cm

En el cuadro (6.7) se observa los valores en MPa y la profundidad máxima que se obtuvo para cada punto de muestreo en campo. El cálculo completo de los datos se muestra en el anexo (9.5) y (9.6), donde se hace el cálculo analítico de los valores necesario para la obtención de los MPa.

Cuadro 9.7 Resultados de campo para la resistencia a la penetración y profundidades.

Resultados de campo				
Rancho navidad julio 2013			Rancho navidad diciembre 2013	
Prueba	R.P. (MPa)	Prof. (cm)	R.P. (MPa)	Prof. (cm)
1	2.66	32.78	2.26	37.32
2	1.46	30.75	2.00	37.43
3	4.83	28.64	3.36	38.04
4	4.49	30.12	3.61	35.64
5	2.18	28.01	2.31	37.61
6	4.86	28.78	2.37	37.43
7	2.76	31.13	2.46	38.02
8	3.48	27.97	2.29	37.51
9	1.62	28.26	2.18	39.99
10	1.95	33.62	4.28	27.45
11	2.71	31.94	2.38	40.19
12	3.54	30.39	2.57	40.11
13	3.84	4.61	4.07	30.03
14	3.74	28.11	2.29	43.70
15	5.80	21.33	2.94	40.20
16	5.42	24.59	2.98	38.32
17	3.15	26.83	1.78	42.74
18	4.55	25.36	2.51	37.60
19	2.88	32.49	1.94	37.52
20	0.71	30.17	3.34	42.36
21	1.82	28.10	2.64	39.82
22	2.67	30.68	1.54	40.10
23	1.57	29.08	1.20	34.73
24	2.50	30.24	1.83	42.73
25	3.09	28.68	1.84	38.13
26	3.06	28.32	0.88	37.36
27	2.50	30.24	2.04	35.36
28	3.78	30.54	2.29	35.43
29	3.05	28.58	1.87	32.25

30	1.49	27.16	3.05	37.74
----	------	-------	------	-------

6.5 Resultados de la generación de mapas de diagnóstico de resistencia a la penetración.

6.5.1 Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con GS+ versión 9

En el cuadro (6.8) se muestran los resultados de campo en MPa los cuales se utilizaron para la generación de los mapas.

Cuadro 6.8 Resultados de campo para generación de mapas de diagnóstico.

Datos para generación de mapas						
Rancho navidad julio 2013			Rancho navidad diciembre 2013			
X	Y	R.P. (MPa)	X	Y	R.P. (MPa)	
-100.62065	25.03575	2.66	-100.62067	25.03575	2.26	
-100.62161	25.03538	1.46	-100.62164	25.03558	2.00	
-100.62260	25.03544	4.83	-100.62262	25.03543	3.36	
-100.62358	25.03528	4.49	-100.62359	25.03526	3.61	
-100.62455	25.03512	2.18	-100.62456	25.03510	2.31	
-100.62500	25.03499	4.86	-100.62455	25.03506	2.37	
-100.62400	25.03516	2.76	-100.62358	25.03522	2.46	
-100.62307	25.03532	3.48	-100.62261	25.03538	2.29	
-100.62210	25.03547	1.62	-100.62164	25.03554	2.18	
-100.62112	25.03564	1.95	-100.62066	25.03570	4.28	
-100.62063	25.03567	2.71	-100.62066	25.03566	2.38	
-100.62160	25.03551	3.54	-100.62163	25.03549	2.57	
-100.62258	25.03535	3.84	-100.62260	25.03534	4.07	
-100.62356	25.03519	3.74	-100.62358	25.03518	2.29	
-100.62453	25.035024	5.80	-100.62454	25.03500	2.94	
-100.62500	25.034899	5.42	-100.62454	25.03496	2.98	
-100.62400	25.035060	3.15	-100.62357	25.03513	1.78	
-100.62306	25.035219	4.55	-100.62259	25.03529	2.51	
-100.62208	25.035379	2.88	-100.62161	25.03545	1.94	
-100.62111	25.035539	0.71	-100.62064	25.03561	3.34	
-100.62062	25.035577	1.82	-100.62063	25.03557	2.64	
-100.62159	25.035459	2.67	-100.6216	25.03541	1.54	

-100.62257	25.035261	1.57	-100.62258	25.03525	1.20
-100.62354	25.035100	2.50	-100.62356	25.03509	1.83
-100.62452	25.034943	3.09	-100.62453	25.03492	1.84
-100.62500	25.034832	3.06	-100.62452	25.03489	0.88
-100.62400	25.034979	2.50	-100.62355	25.03505	2.04
-100.62300	25.035150	3.78	-100.62258	25.03521	2.29
-100.62207	25.035299	3.05	-100.62160	25.03537	1.87
-100.62109	25.035468	1.49	-100.62063	25.03552	3.05

En las figuras (6.17) y (6.18) se muestra la generación del mapa de diagnóstico óptimo generado en el software GS+ versión 9, donde al realizar la interpolación se obtuvo en X=100 y en Y= 22 puntos, y se aprecia que el valor mínimo de resistencia a la penetración fue de 1.34 MPa, y el valor máximo de resistencia a la penetración fue de 4.78 MPa a una profundidad de entre 0.20 y 0.40 m.

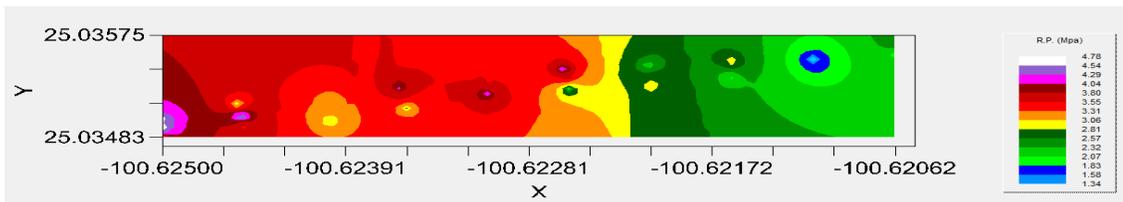


Figura 6.17 Mapa 2D de fuerzas de resistencia a la penetración Julio 2013

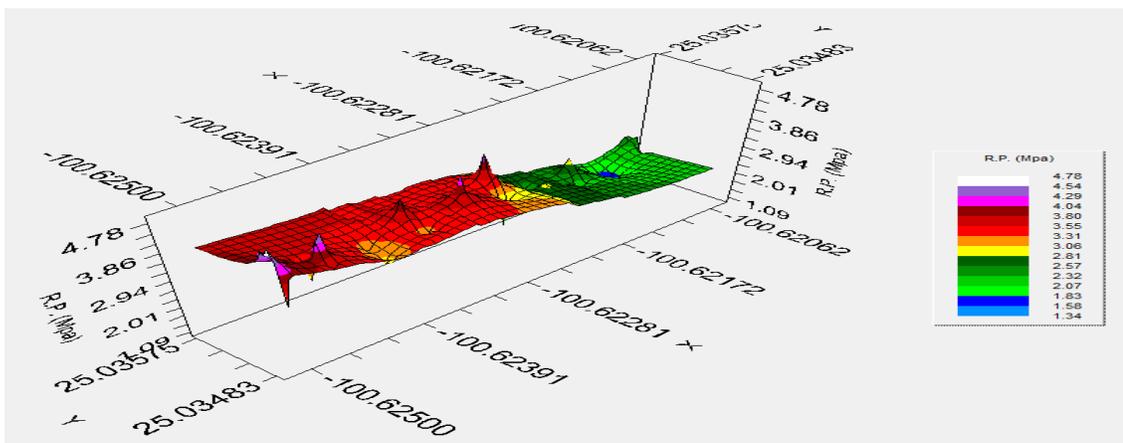


Figura 6.18 Mapa 3D de fuerzas de resistencia a la penetración Julio 2013

En las figuras (6.19) y (6.20) se muestra la generación del mapa óptimo generado en el software Gs+ versión 9, donde al realizar la interpolación se obtuvo en X=100 y en Y= 22 puntos, y se aprecia que el valor mínimo de resistencia a la penetración fue de 1.08 Mpa, y el valor máximo de resistencia a la penetración fue de 3.39 MPa a una profundidad de entre 0.20 y 0.40 m.

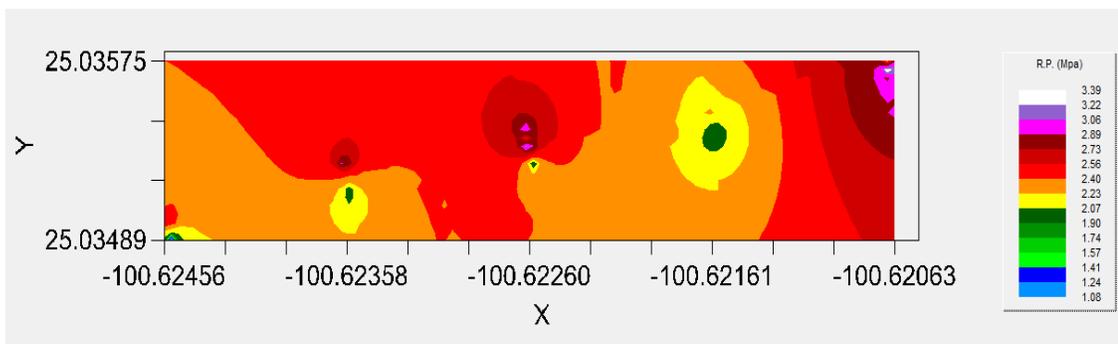


Figura 6.19 Mapa 2D de fuerza resistencia a la penetración Diciembre 2013

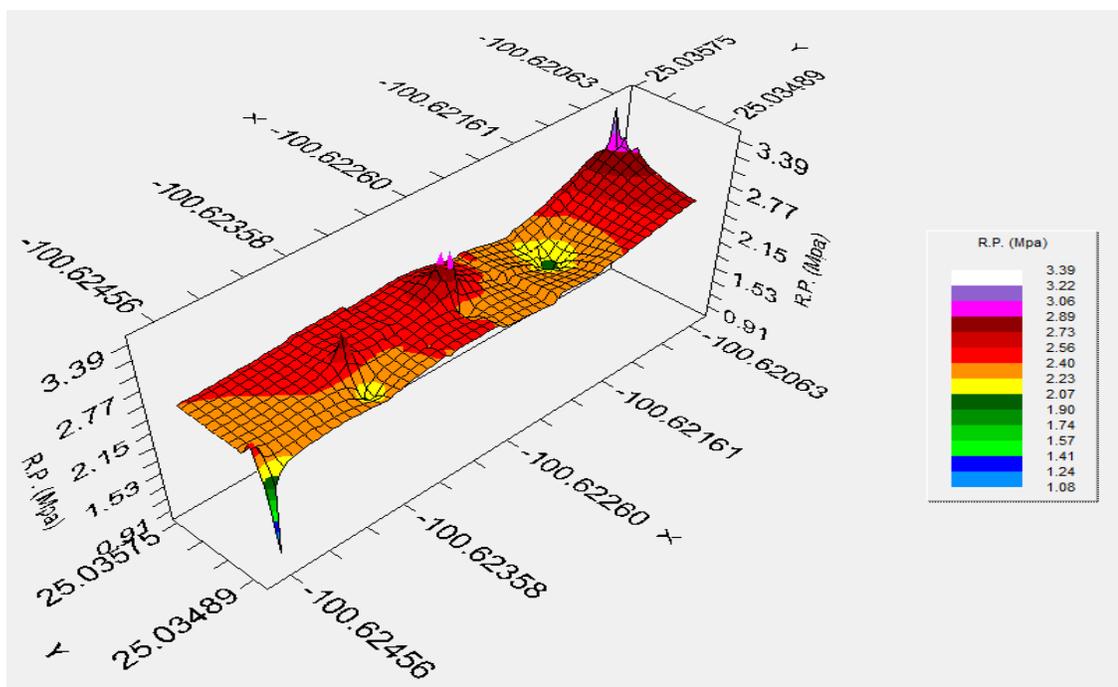


Figura 6.20 Mapa 3D de fuerza resistencia a la penetración Diciembre 2013

Los esfuerzos máximas de compactación fueron del orden de 4.78 y 3.39 MPa a una profundidad de 0.40 m respectivamente de cada mapa. De lo anterior se pone de manifiesto la importancia y la determinación de la demanda de energía y la localización de áreas compactadas para determinar los requerimientos mínimos de energía necesaria para el laboreo de los suelos.

6.5.2 Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con ArcView

ArcView es una herramienta que nos permite visualizar, explorar, consultar y analizar datos de información geográfica. Conforme a los resultados obtenidos en la prueba de campo se generaron los mapas de diagnóstico y se hizo una interpolación en ArcView donde se muestran los puntos de las pruebas y los MPa que se registraron en cada punto. Ver figura (6.21) y (6.22).

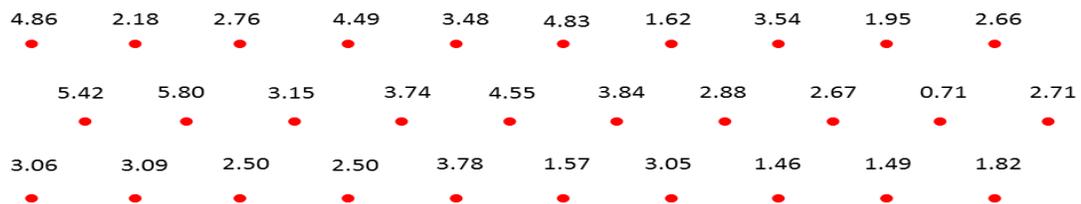


Figura 6.21 Resultado en MPa por cada punto muestreado Julio 2013

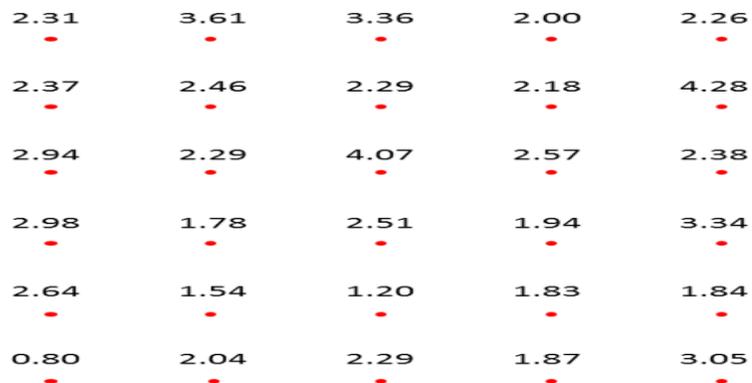


Figura 6.22 Resultado en MPa por cada punto muestreado Diciembre 2013

Se generó un mapa en ArcView como se muestra en la figura (6.23) y (6.24) en la cual se puede observar los 30 puntos muestreados con sus valores en MPa. Los valores mínimos obtenidos fueron de (0.53426, 0.66055) MPa y los valores máximos de (4.37414, 3.22242) MPa, respectivamente para cada fecha.



Figura 6.23 Mapa de ArcView Julio 2013



Figura 6.24 Mapa de ArcView Diciembre 2013

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. Se evaluó un sensor integrado por un ring y una herramienta de penetración tipo cono con una capacidad de 10,000 N con una alta linealidad en su respuesta de penetración (fuerza). Mostrando una sensibilidad de 13.15 mV N^{-1} y alta confiabilidad con coeficientes de correlación de más del 99.6%
2. Se acondicionaron dos amplificadores de instrumentación AD620 en serie con configuración de filtro y un filtro pasa bajo para la señal del sensor de distancia para medir profundidades desde 0.0 - 0.40 m. Mostrando una constante de 258.5 V mm^{-1} con un coeficiente de correlación de 100% para los amplificadores a una ganancia de 10.
3. El porcentaje de ruido con el arreglo de dos AD620 en serie y filtro pasa bajo fueron menores al 1% en la salida del circuito, dando una alta confiabilidad para la medición de profundidad a la penetración.
4. Los resultados obtenidos permiten la generación de mapas de diagnóstico mostrando la resistencia la penetración como la profundidad de capas compactadas del suelo.

7.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos existe una alta confiabilidad de los datos para medir la resistencia a la penetración.

1. Se requiere colocar una lámina reflectora en conjunto con el penetrómetro para la medición de profundidad de penetración.
2. Se requiere realizar mapas de localización de capas compactas, buscando dentro de terreno de muestreo la profundidad de los valores de resistencia a la penetración superior a 2 MPa ya que estos impiden el crecimiento radicular y el rendimiento de los cultivos.
3. Se requiere realizar el interfaz para el registro de una variable externa en el controlador FMX a través de los puertos de entrada.

VIII. LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, E., MARTÍNEZ E.** 2003. Sistema de labranza y productividad del suelo. Ciencias Agronómicas. N°8. pp 13-25. Universidad de Chile, facultad de agronomía. Santiago, Chile.
- ALFONSO, C. A., MONEDERO M., HERNÁNDEZ S., SOMOZA V., SÁNCHEZ L.** 2000. Efecto de la compactación del suelo en la producción de frijol. Agronomía Mesoamericana. La Habana, Cuba.
- ASAE.** 1998. Soil Cone Penetrometer. Equipment committee ASAE cultural practices. 2 p.
- CABRERA, M. S., PANEQUE R P., PÉREZ O C., PLÁ R E.** 2008. Métodos de estudio del estado físico de los suelos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 17. Universidad Agraria de La Habana, Cuba.
- Campos, M. S. G.** 1993. Development of minimum maize plants for Mexican agriculture. Unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
- CAMPOS, M. S. G., BRIAN W., CADENA Z. M.** 1992. Consideraciones para el Diseño de Transductores Octagonales y su aplicación en la Evaluación de Implementos de Labranza. Memoria del II Congreso Nacional. Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola. Irapuato, Gto. México.
- Casanova, E. O.** 1991. Introducción a la Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV. C.D.C.H.T. Litopar, C.A.

- COOK, N.H., RABINOWICZ E.** 1963. Physical measurement and analysis, N. Y. Addison Wesley, Pp 160-164.
- COOPER, D. W., HELFRICK D. A.** 1991. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Me-dición, P. 101.
- COUGHLIN, R. F., DRISCOLL F. F.** 1993. Amplificadores operacionales y circuitos integrados, primera edición, Prentice-Hall, México D.F
- Dávila R.** 2010. La agricultura de precisión, la innovación en el campo, journalmex, México, México.
- EDWARD, E., SIMMONS., ARHUT C. R.** 1938. La galga extensiométrica hace una lectura directa de deformaciones longitudinales en cierto punto del material que se está analizando.
- FAO.** 2009. Guía para la descripción del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- FRANCOIS, J. M., VELÁZQUEZ A., COUTURIER S.** 2008. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM. Morelia, Michoacán, México. 117 p.
- GARCÍA, F. O.** 2002. Beneficios potenciales del uso de las herramientas de la agricultura de precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. Taller internacional de agricultura de precisión del cono sur de américa. Córdoba, Argentina.

- GODWIN, R. J., M J., O´DOGHERTY.** 2007. Integrated soil tillage prediction models. Journal of Terramechanics. N° 44. Pp 3-14.
- GONZÁLEZ, C. O., IGLESIAS C. C. E., HERRERA S. M.** 2009. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 18, P 2. Universidad Agraria de La Habana Cuba.
- GUTIÉRREZ, L. W.** 2006. Resistencia al esfuerzo cortante. Taller básico de mecánica de suelos. Laboratorio de mecánica de suelos, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- GUTIÉRREZ, M. J.** 2012. Sensores de diagnóstico aplicados a la labranza para agricultura de precisión. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 93 p.
- HOAG, D. L., FRIDLEY R. B., HUTCHINSON J. R.** 1977. Effects de l'Amortissement Proportionel, non Proportionel et non Lineaire sur la Response Dynamique des Branches d'Arbre. Transactions of ASAE. Vol.13. N°6 Pp 879-884.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI).** 2004. Especificaciones para la extracción de datos geográficos digitales. Dirección General de Geografía. Aguascalientes, México. Pp7-80.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA).** 2012. Preparación de suelo. Informativo. N° 61. Chile. 4 p.
- JESIOTR, V., BERNATENE E., WINOGRAD E.** 2005. Filtros pasivos y activos Laboratorio de electrónica, Departamento de Física, FCEyN, UBA.

- JIMÉNEZ, G. C., MACIEL P. L., PEÑA R. A., CASTILLO R. A.** 2004. Principios y fundamentos de labranza de conservación: Guía para su implementación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Aguascalientes México.
- JIMÉNEZ, M. M.** 2011. Equipo para la generación de mapas de resistencia a la penetración y esfuerzo a la falla del suelo. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 82 p.
- KHOSLA, R., FLEMING K., DELGADO J. A., VSHAVER T. M., WESTFALL D. G.** 2002. Use of site specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. J. Soil Water Conserv. N°57. Pp 513-518.
- LIU, I. W., WALDRON L. J.** 1988. Root growth in coarse-textured soil under controlled confining pressure and matrix potential. Annl. Mtg. SSSA.
- LÓPEZ, L. J. A.** 2012, Evaluación de un sensor de permisividad eléctrica para agricultura de precisión. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 89 p.
- MOJICA, L. E. D.** 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.
- MORENO, A., BONAFONTE A.** 2009. Señales y sistemas I (Filtros). Departamento de teoría de la señal y comunicaciones, Universidad Politécnica de Catalunya.

- PADRÓN, P. J.** 2005. Penetrómetro hidráulico para medir la resistencia a la penetración del suelo, 1^{ra} parte. Cuba.
- PALLÁS, R. A.** 1993. Adquisición y distribución de señales. Ed. Marcombo, S. A. Edición. Gran via de les corts catalán, Barcelona, España. Pp 1-25.
- PAREDES, M. R., MANDUJANO B A., GÁMEZ V. J. A., GARCÍA N. H.** 2011. Actualización del mapa de uso del suelo agrícola en el estado de Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias México. Vol. 2, N° 1, Pp 85-96.
- QUEVEDO, H. I., RODRÍGUEZ L. Y., HERNÁNDEZ A. P., FREIRE R. E.** 2006. La aplicación de la Agricultura de Precisión: su impacto social. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Universidad agraria de la Habana, La Habana Cuba. Vol. 15, N° 003. Pp 42-44.
- RUCKS, L., GARCIA F., KAPLAN A., PONCE L. J., HILL M.** 2004. Propiedades Físicas del suelo. Facultad de Agronomía, Departamento Suelos y Aguas; Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- 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).
- SALAS S. R.** 2013. Evaluación en campo y generación de mapas de sensores de resistencia a la penetración, energía y resistencia a la falla. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 83 p.

TAYLOR, H.M., GARDNER H.R. 1963. Penetration of cotton seeding taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. Journal of soil. Science, Oxford, 96: 153-156.

PAGINAS WEB CONSULTADAS

ESCUADERO, J. L., PARADA M., SIMÓN F. Amplificadores Operacionales. [En línea] [Fecha de consulta: 12 de Abril 2014]. <http://www.dte.us.es/ing_inf/ins_elec/temario/Tema%201.%20Amplificadores%20Operacionales.pdf>

GARCÍA, E., FLEGO F. Agricultura de Precisión. Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria. [En línea] [Fecha de consulta: 15 de Abril 2014]. <<http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>>

IOTECH. Manual DBK43A and DBK43B. [En línea] [Fecha de consulta: 09 de Abril 2014]. <http://www.mccdaq.com/PDFs/manuals/dbk43a_dbk43b.pdf>

MAXBOTIX. DataSheet LV-MaxSonar-EZ1. [En línea] [Fecha de consulta: 15 de Febrero 2014]. <http://www.maxbotix.com/documents/HRUSB-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf>

MEASUREMENT COMPUTING. Manual DaqBook/2000. [En línea] [Fecha de consulta: 09 de Abril 2014]. <http://www.mccdaq.com/pdfs/manuals/daqbook2000_daquem2000.pdf>

ROBOTICA2010. Sensores para medir distancia. [En línea] [Fecha de consulta: 10 de abril 2014]. <<http://robotica2010.wikispaces.com/4+Sensores+para+medir+distancia>>

SENSING, S. L. Sensores de distancia. [En línea] [Fecha de consulta: 05 de Abril 2014]. <http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/>

UNIVERSIDAD DE CASTILLA – LA MANCHA. Manejo del suelo. [En línea] [Fecha de consulta: 15 de Abril 2014]. <<http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/tfcaps1/pdf/TEMA3.pdf>>

IX. ANEXOS

Anexo 9.1 Hoja de datos de amplificador AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs

Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

1.0 nA max, Input Bias Current

100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

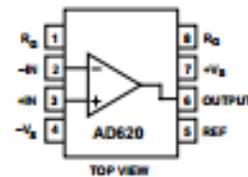
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 μ A/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

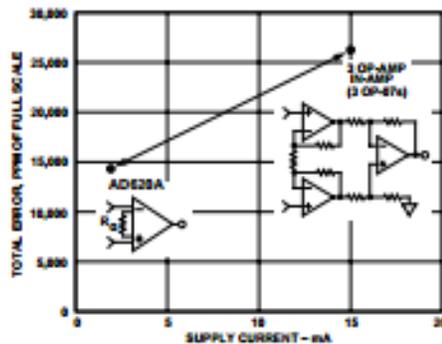


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

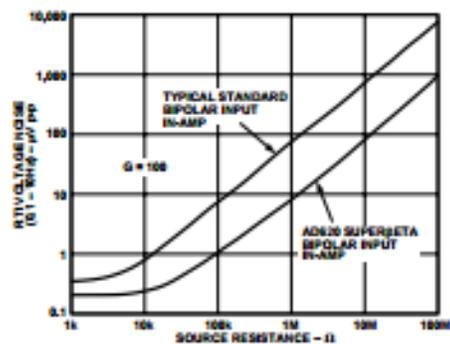


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 3106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/325-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/325-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

Precision V-I Converter

The AD620, along with another op amp and two resistors, makes a precision current source (Figure 37). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage V_X of the AD620 appears across R_1 , which converts it to a current. This current less only, the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

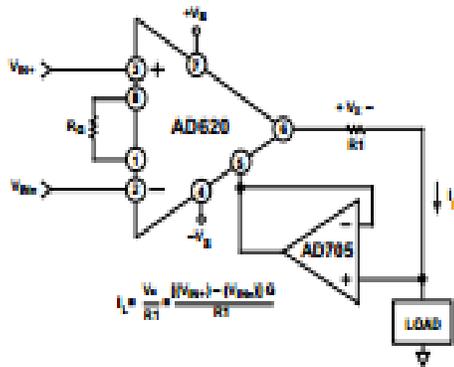


Figure 37. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA, ±3 V)

GAIN SELECTION

The AD620's gain is resistor programmed by R_G , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1%–1% resistors. Table II shows required values of R_G for various gains. Note that for $G = 1$, the R_G pins are unconnected ($R_G = \infty$). For any arbitrary gain R_G can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with R_G ; to minimize gain drift, R_G should have a low TC—less than 10 ppm/°C—for the best performance.

Table II. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.40 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003

INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by G when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains and the output errors dominate at low gains. The total V_{OS} for a given gain is calculated as:

$$\text{Total Error RTI} = \text{input error} + (\text{output error}/G)$$

$$\text{Total Error RTO} = (\text{input error} \times G) + \text{output error}$$

REFERENCE TERMINAL

The reference terminal potential defines the zero output voltage, and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

INPUT PROTECTION

The AD620 features 400 Ω of series thin film resistance at its inputs, and will safely withstand input overloads of up to ±15 V or ±60 mA for several hours. This is true for all gains, and power on and off, which is particularly important since the signal source and amplifier may be powered separately. For longer time periods, the current should not exceed 6 mA ($I_{OS} \leq V_{DS}/400 \Omega$). For input overloads beyond the supplies, clamping the inputs to the supplies (using a low leakage diode such as an FD333) will reduce the required resistance, yielding lower noise.

RF INTERFERENCE

All instrumentation amplifiers can rectify out of band signals, and when amplifying small signals, these rectified voltages act as small dc offset errors. The AD620 allows direct access to the input transistor bases and emitters enabling the user to apply some first order filtering to unwanted RF signals (Figure 38), where $RC \approx 1/(2 \pi f)$ and where f is the bandwidth of the AD620; $C \leq 150$ pF. Matching the extraneous capacitance at Pins 1 and 8 and Pins 2 and 3 helps to maintain high CMR.

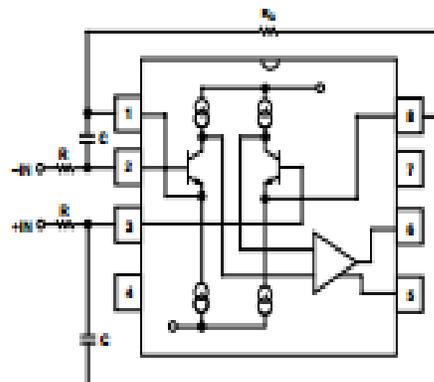


Figure 38. Circuit to Attenuate RF Interference

Anexo 9.2 Hoja de datos de LV-MaxSonar-EZ1

LV-MaxSonar®-EZ1™

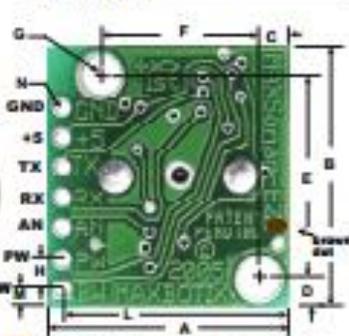
High Performance Sonar Range Finder

With 2.5V - 5.5V power the LV-MaxSonar®-EZ1™ provides very short to long-range detection and ranging, in an incredibly small package. The LV-MaxSonar®-EZ1™ detects objects from 0-inches to 254-inches (6.45-meters) and provides sonar range information from 6-inches out to 254-inches with 1-inch resolution. Objects from 0-inches to 6-inches range as 6-inches. The interface output formats included are pulse width output, analog voltage output, and serial digital output.




approximately actual size

MB1010



*Where not parts enhanced for low noise shielding

A	0.785"	19.9 mm	H	0.100"	2.54 mm
B	0.870"	22.1 mm	J	0.610"	15.5 mm
C	0.100"	2.54 mm	K	0.845"	18.4 mm
D	0.100"	2.54 mm	L	0.735"	18.7 mm
E	0.670"	17.0 mm	M	0.065"	1.7 mm
F	0.510"	12.8 mm	N	0.038" dia.	1.0 mm dia.
G	0.124" dia.	3.1 mm dia.	weight: 4.3 grams		

values are nominal

Features

- Continuously variable gain for beam control and side lobe suppression
- Object detection includes zero range objects
- 2.5V to 5.5V supply with 2mA typical current draw
- Readings can occur up to every 50mS, (20-Hz rate)
- Free run operation can continually measure and output range information
- Triggered operation provides the range reading as desired
- All interfaces are active simultaneously
- Serial, 0 to Vcc, 9600Baud, 81N
- Analog, (Vcc/512) / inch
- Pulse width, (147uS/inch)
- Learns ringdown pattern when commanded to start ranging
- Designed for protected indoor environments
- Sensor operates at 42KHz
- High output square wave sensor drive (double Vcc)

Benefits

- Very low cost sonar ranger
- Reliable and stable range data
- Sensor dead zone virtually gone
- Lowest power ranger
- Quality beam characteristics
- Mounting holes provided on the circuit board
- Very low power ranger, excellent for multiple sensor or battery based systems
- Can be triggered externally or internally
- Sensor reports the range reading directly, frees up user processor
- Fast measurement cycle
- User can choose any of the three sensor outputs

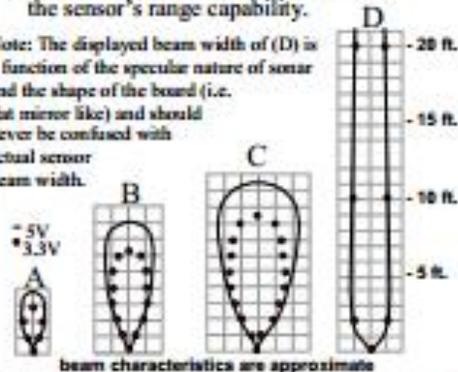
Beam Characteristics

People detection requires high sensitivity, yet a narrow beam angle requires low sensitivity. The LV-MaxSonar®-EZ1™ balances the detection of people with a narrow beam width.

Sample results for measured beam patterns are shown below on a 12-inch grid. The detection pattern is shown for;

- (A) 0.25-inch diameter dowel, note the narrow beam for close small objects,
- (B) 1-inch diameter dowel, note the long narrow detection pattern,
- (C) 3.25-inch diameter rod, note the long controlled detection pattern,
- (D) 11-inch wide board moved left to right with the board parallel to the front sensor face and the sensor stationary. This shows the sensor's range capability.

Note: The displayed beam width of (D) is a function of the specular nature of sonar and the shape of the board (i.e. flat mirror like) and should never be confused with actual sensor beam width.



MaxBotix® Inc.

MaxBotix, MaxSonar & EZ1 are trademarks of MaxBotix Inc.
LV-EZ1™ • Patent 7,679,996 • Copyright 2005 - 2012

Email: info@maxbotix.com
Web: www.maxbotix.com

PD1000L

LV-MaxSonar®-EZ1™ Pin Out

GND – Return for the DC power supply. GND (& Vcc) must be ripple and noise free for best operation.

+5V –Vcc – Operates on 2.5V - 5.5V. Recommended current capability of 3mA for 5V, and 2mA for 3V.

TX – When the *BW is open or held low, the TX output delivers asynchronous serial with an RS232 format, except voltages are 0-Vcc. The output is an ASCII capital “R”, followed by three ASCII character digits representing the range in inches up to a maximum of 255, followed by a carriage return (ASCII 13). The baud rate is 9600, 8 bits, no parity, with one stop bit. Although the voltage of 0-Vcc is outside the RS232 standard, most RS232 devices have sufficient margin to read 0-Vcc serial data. If standard voltage level RS232 is desired, invert, and connect an RS232 converter such as a MAX232.

● *Brown dot parts: When BW pin is held high the TX output sends a single pulse, suitable for low noise chaining (no serial data).

RX – This pin is internally pulled high. The EZ1™ will continually measure range and output if the RX pin is left unconnected or held high. If held low the EZ1™ will stop ranging. Bring high 20µs or more for range reading.

AN – Outputs analog voltage with a scaling factor of (Vcc/512) per inch. A supply of 5V yields ~9.8mV/in. and 3.3V yields ~6.4mV/in. The output is buffered and corresponds to the most recent range data.

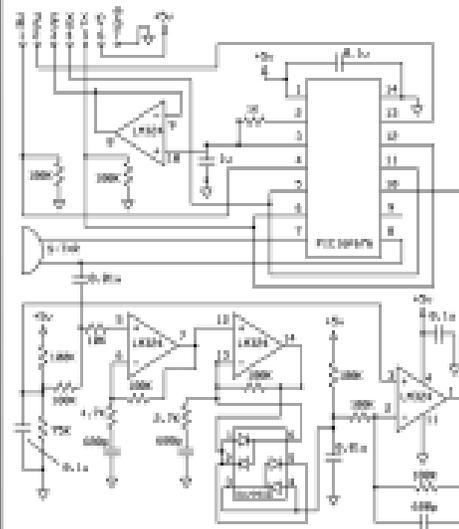
PW – This pin outputs a pulse width representation of range. To calculate distance use the scale factor of 147µs per inch.

BW – *Leave open or hold low for serial output on the TX output.

● *Brown dot parts: When BW pin is held high the TX output sends a pulse (instead of serial data), suitable for low noise chaining.

LV-MaxSonar®-EZ1™ Circuit

The LV-MaxSonar®-EZ1™ sensor functions using active components consisting of an LM324, a diode array, a PIC16F676, together with a variety of passive components.



LV-MaxSonar®-EZ1™ Timing Description

250mS after power-up, the LV-MaxSonar®-EZ1™ is ready to accept the RX command. If the RX pin is left open or held high, the sensor will first run a calibration cycle (49mS), and then it will take a range reading (49mS). After the power up delay, the first reading will take an additional ~100mS. Subsequent readings will take 49mS. The LV-MaxSonar®-EZ1™ checks the RX pin at the end of every cycle. Range data can be acquired once every 49mS.

Each 49mS period starts by the RX being high or open, after which the LV-MaxSonar®-EZ1™ sends thirteen 42KHz waves, after which the pulse width pin (PW) is set high. When a target is detected the PW pin is pulled low. The PW pin is high for up to 37.5mS if no target is detected. The remainder of the 49mS time (less 4.7mS) is spent adjusting the analog voltage to the correct level. When a long distance is measured immediately after a short distance reading, the analog voltage may not reach the exact level within one read cycle. During the last 4.7mS, the serial data is sent. The LV-MaxSonar®-EZ1™ timing is factory calibrated to one percent at five volts, and in use is better than two percent. In addition, operation at 3.3V typically causes the objects range, to be reported, one to two percent farther than actual.

LV-MaxSonar®-EZ1™ General Power-Up Instruction

Each time after the LV-MaxSonar®-EZ1™ is powered up, it will calibrate during its first read cycle. The sensor uses this stored information to range a close object. It is important that objects not be close to the sensor during this calibration cycle. The best sensitivity is obtained when it is clear for fourteen inches, but good results are common when clear for at least seven inches. If an object is too close during the calibration cycle, the sensor may then ignore objects at that distance.

The LV-MaxSonar®-EZ1™ does not use the calibration data to temperature compensate for range, but instead to compensate for the sensor ringdown pattern. If the temperature, humidity, or applied voltage changes during operation, the sensor may require recalibration to reacquire the ringdown pattern. Unless recalibrated, if the temperature increases, the sensor is more likely to have false close readings. If the temperature decreases, the sensor is more likely to have reduced up close sensitivity. To recalibrate the LV-MaxSonar®-EZ1™, cycle power, then command a read cycle.

Product / specifications subject to change without notice. For more info visit www.maxbotix.com

MaxBotix® Inc.

MaxBotix, MaxSonar & EZ1 are trademarks of MaxBotix Inc.
LV-EZ1™ - Patent 7,679,996 - Copyright 2005 - 2012

Page 2

Email: info@maxbotix.com
Web: www.maxbotix.com

PD00006

ANEXO 9.3 Secuencia para la generación de mapas en el software Gs+ versión 9 para resistencia a la penetración (MPa).

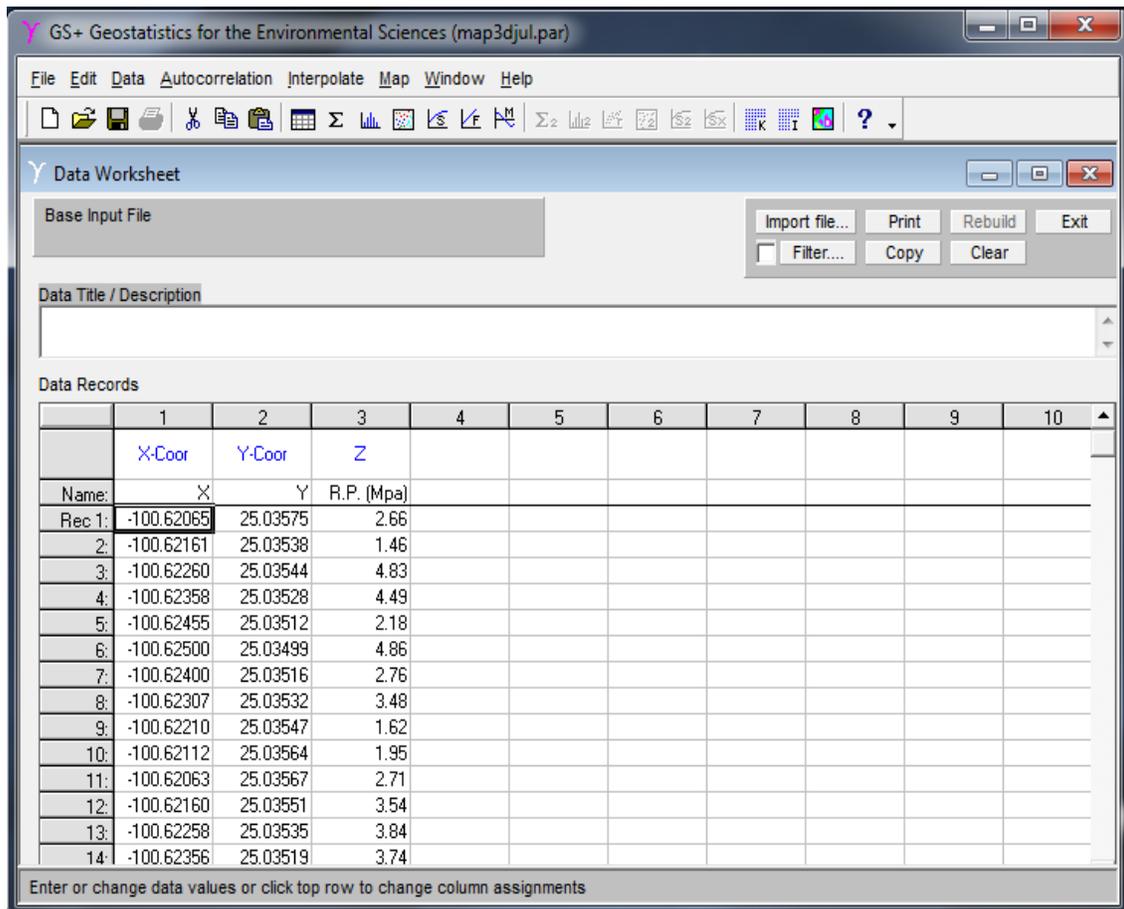
- Abrimos el software e iniciamos capturando los datos dentro de las celdas o también podemos copiar los datos desde EXCEL y pegamos en el programa en este caso son coordenadas geográficas.

Cuadro de coordenadas de puntos muestreados con resistencia la penetración (MPa) y profundidades (cm).

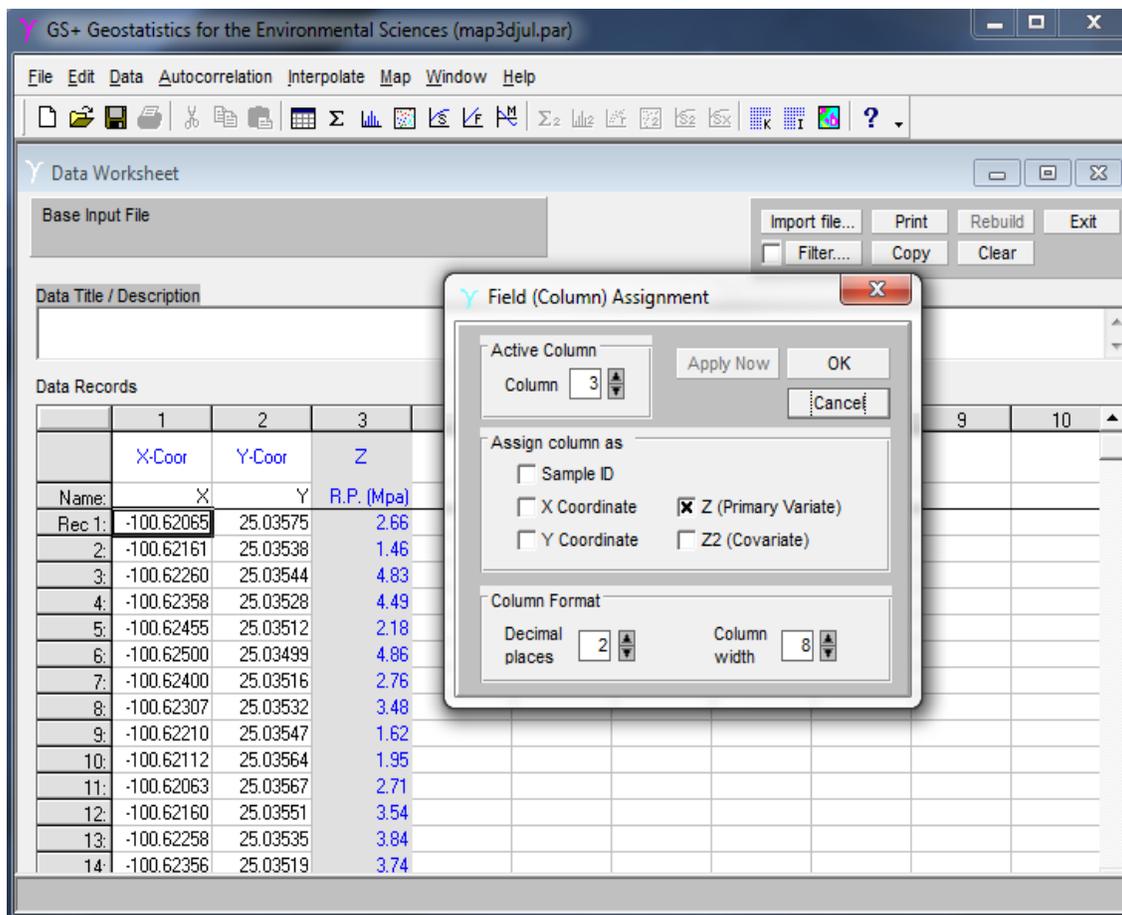
Datos para generación de mapas					
Rancho navidad julio 2013			Rancho navidad diciembre 2013		
X	Y	R.P. (MPa)	X	Y	R.P. (MPa)
-100.62065	25.03575	2.66	-100.62067	25.03575	2.26
-100.62161	25.03538	1.46	-100.62164	25.03558	2.00
-100.62260	25.03544	4.83	-100.62262	25.03543	3.36
-100.62358	25.03528	4.49	-100.62359	25.03526	3.61
-100.62455	25.03512	2.18	-100.62456	25.03510	2.31
-100.62500	25.03499	4.86	-100.62455	25.03506	2.37
-100.62400	25.03516	2.76	-100.62358	25.03522	2.46
-100.62307	25.03532	3.48	-100.62261	25.03538	2.29
-100.62210	25.03547	1.62	-100.62164	25.03554	2.18
-100.62112	25.03564	1.95	-100.62066	25.03570	4.28
-100.62063	25.03567	2.71	-100.62066	25.03566	2.38
-100.62160	25.03551	3.54	-100.62163	25.03549	2.57
-100.62258	25.03535	3.84	-100.62260	25.03534	4.07
-100.62356	25.03519	3.74	-100.62358	25.03518	2.29
-100.62453	25.035024	5.80	-100.62454	25.03500	2.94
-100.62500	25.034899	5.42	-100.62454	25.03496	2.98
-100.62400	25.035060	3.15	-100.62357	25.03513	1.78
-100.62306	25.035219	4.55	-100.62259	25.03529	2.51
-100.62208	25.035379	2.88	-100.62161	25.03545	1.94
-100.62111	25.035539	0.71	-100.62064	25.03561	3.34
-100.62062	25.035577	1.82	-100.62063	25.03557	2.64
-100.62159	25.035459	2.67	-100.6216	25.03541	1.54
-100.62257	25.035261	1.57	-100.62258	25.03525	1.20
-100.62354	25.035100	2.50	-100.62356	25.03509	1.83
-100.62452	25.034943	3.09	-100.62453	25.03492	1.84

-100.62500	25.034832	3.06	-100.62452	25.03489	0.88
-100.62400	25.034979	2.50	-100.62355	25.03505	2.04
-100.62300	25.035150	3.78	-100.62258	25.03521	2.29
-100.62207	25.035299	3.05	-100.62160	25.03537	1.87
-100.62109	25.035468	1.49	-100.62063	25.03552	3.05

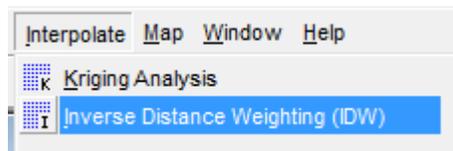
- Captura de los datos en Gs+ *versión 9*, en la celda X y Y se tienen que aumentar a cienmilésimas para las coordenadas.



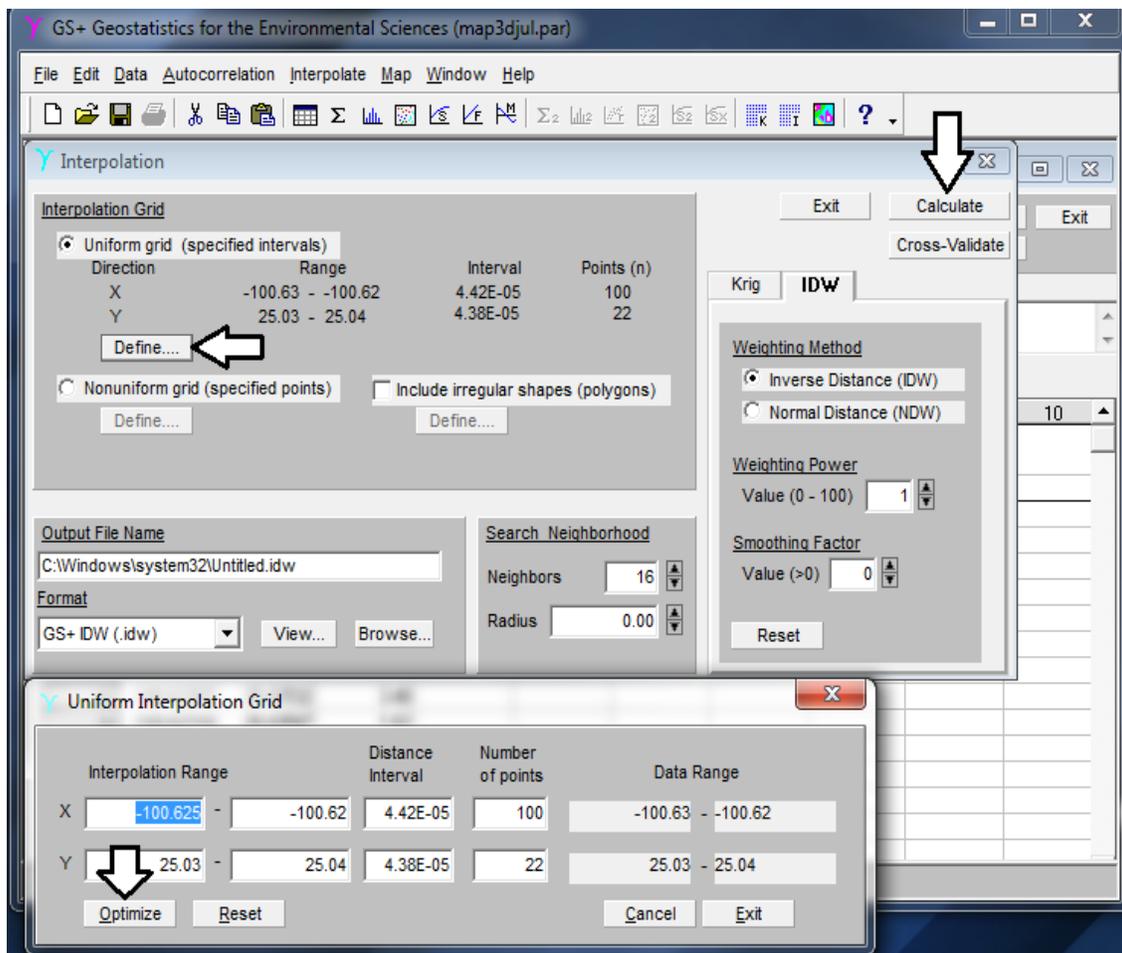
- Una vez capturados los datos en Gs+ doble clic en la celda, cambiando a modo “z (primary variate)” para seleccionar el calos de la Z que utilizaremos y cambiar el nombre de archivo.



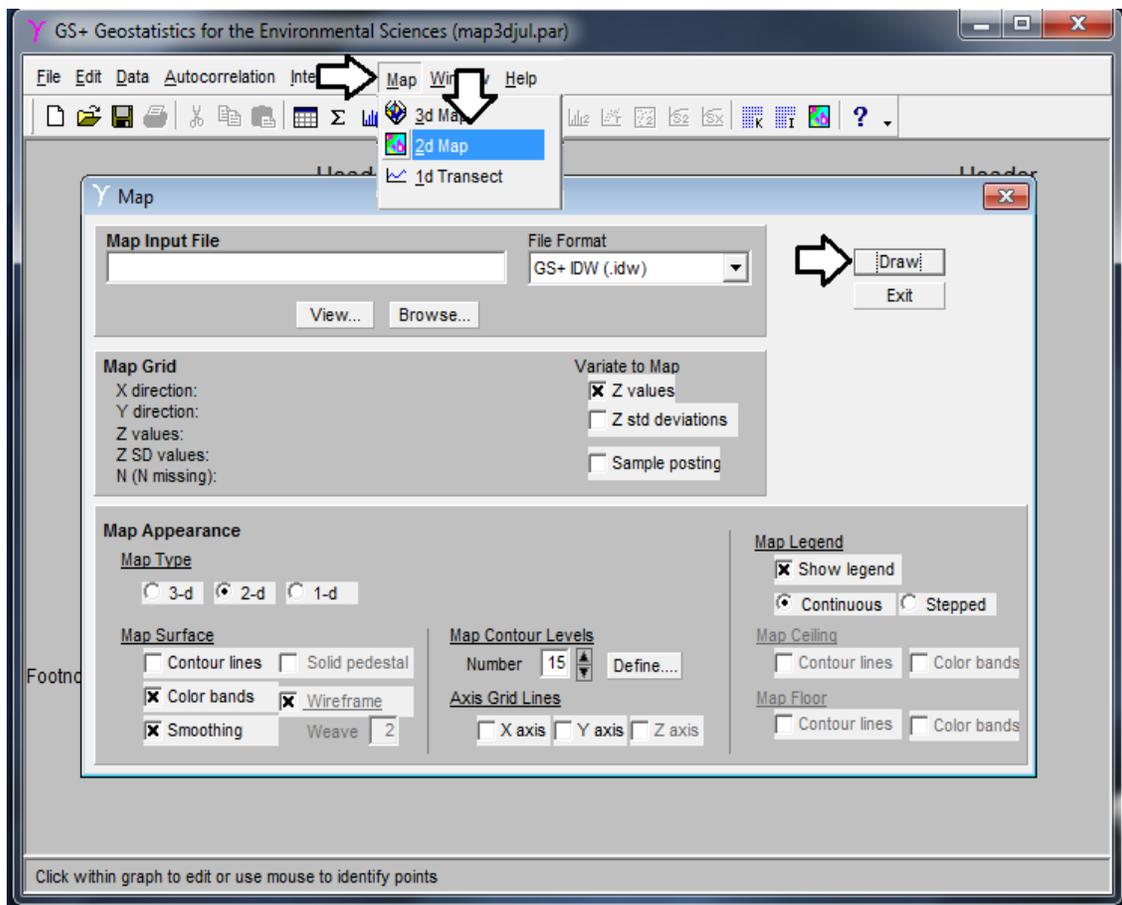
- Damos clic en interpólate y seleccionamos Inverse Distance Weighting (IDW).



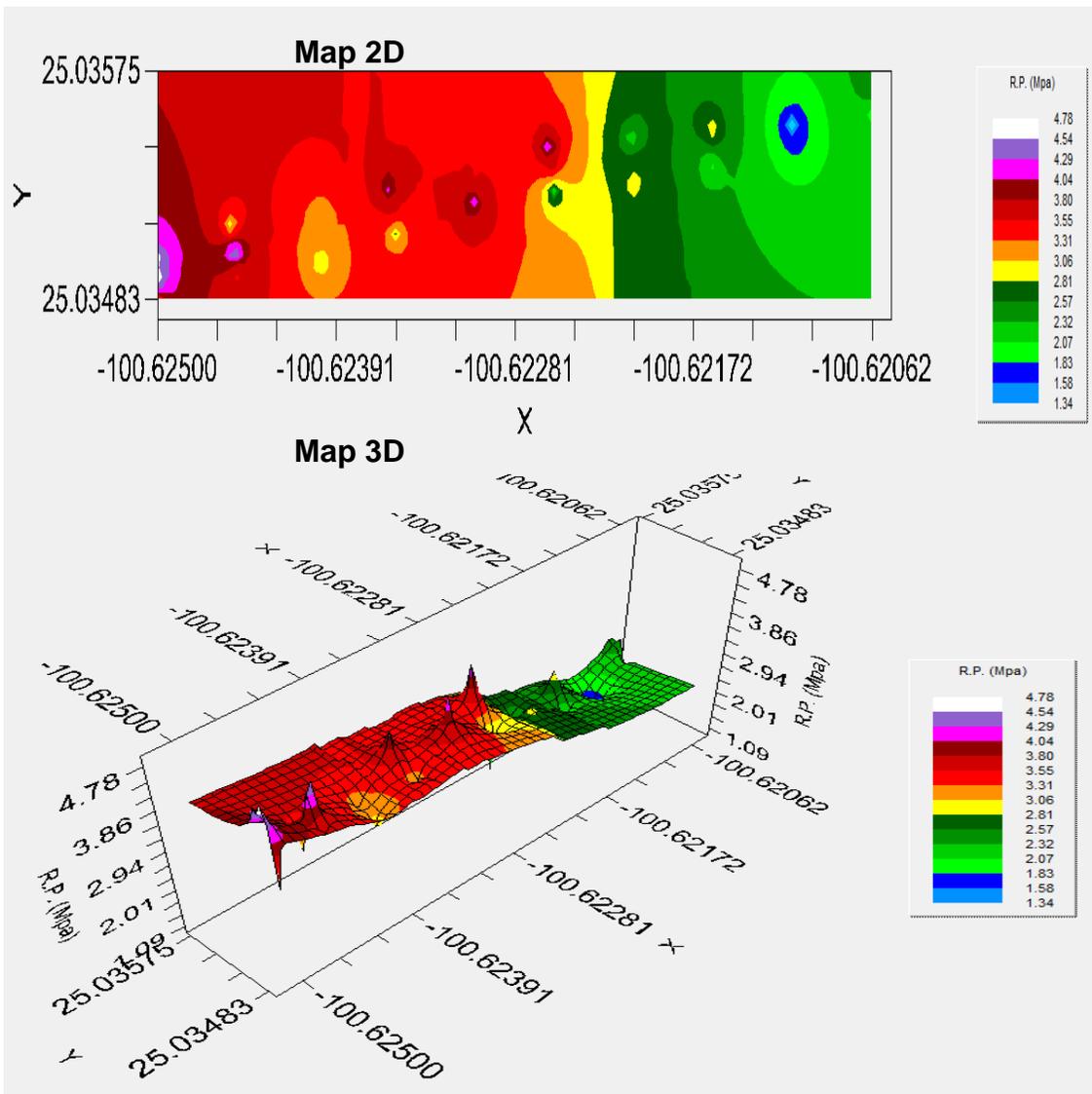
- Se desplaza la ventana de Interpolation, dar clic en **Calculate** y después **Define** desplazando otra ventana **Uniform Interpolation Grid** y seleccionar **optimize** para que no genere los puntos necesarios para el respectivo mapa.



- Seleccionamos en **Map + 2D Map**, nos genera una nueva ventana llamada Map y seleccionamos **Draw**.

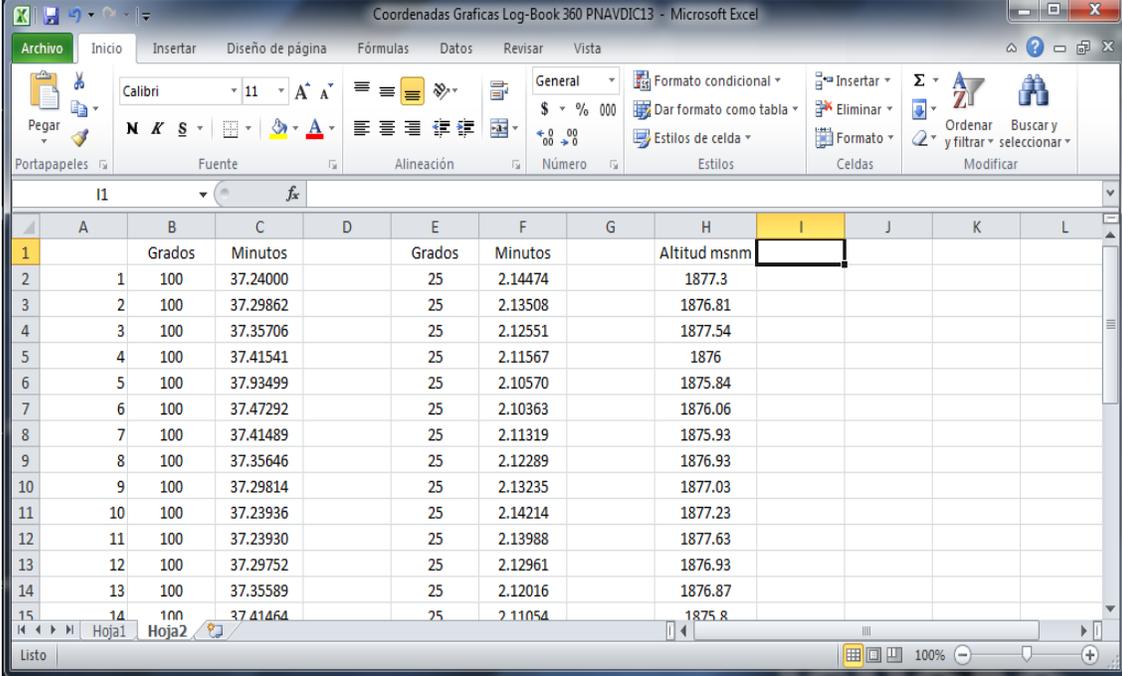


- Nos genera el mapa en 2D posteriormente se selecciona **Map+3D Map+Draw** y nos arroja el mapa 3D.



ANEXO 9.4 Generación de mapas en software ArcView 3.2 para resistencia a la penetración (MPa).

- Se procede a la captura de los datos obtenidos por el geoposicionador Ag GPS 132 Trimble. Insertamos una nueva columna en longitud (100°) y latitud (25°), para sumar los grados, minutos y convertirlos a grados decimales.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Coordenadas Graficas Log-Book 360 PNAVDIC13". The spreadsheet has columns labeled A through L and rows 1 through 15. The data is organized as follows:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Grados	Minutos		Grados	Minutos		Altitud msnm				
2	1	100	37.24000		25	2.14474		1877.3				
3	2	100	37.29862		25	2.13508		1876.81				
4	3	100	37.35706		25	2.12551		1877.54				
5	4	100	37.41541		25	2.11567		1876				
6	5	100	37.93499		25	2.10570		1875.84				
7	6	100	37.47292		25	2.10363		1876.06				
8	7	100	37.41489		25	2.11319		1875.93				
9	8	100	37.35646		25	2.12289		1876.93				
10	9	100	37.29814		25	2.13235		1877.03				
11	10	100	37.23936		25	2.14214		1877.23				
12	11	100	37.23930		25	2.13988		1877.63				
13	12	100	37.29752		25	2.12961		1876.93				
14	13	100	37.35589		25	2.12016		1876.87				
15	14	100	37.41464		25	2.11054		1875.8				

- En la nueva columna se coloca la formula = (Grados + (Minutos/60)) en el caso de longitud se multiplicara por -1 por situación geográfica.

Coordenadas Graficas Log-Book 360 PNAVDIC13 - Microsoft Excel

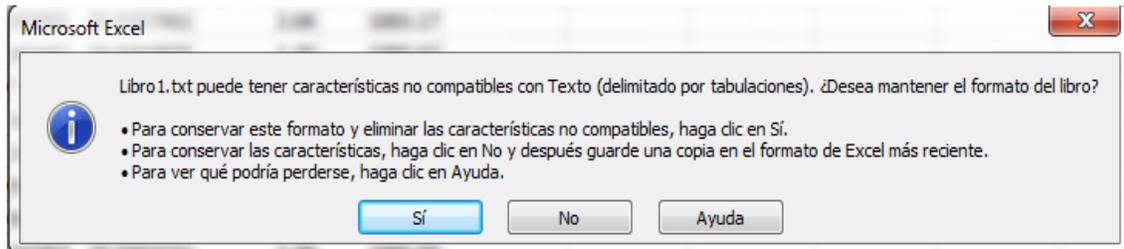
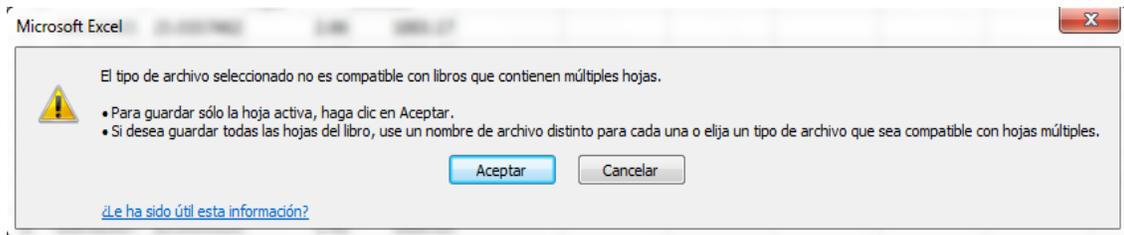
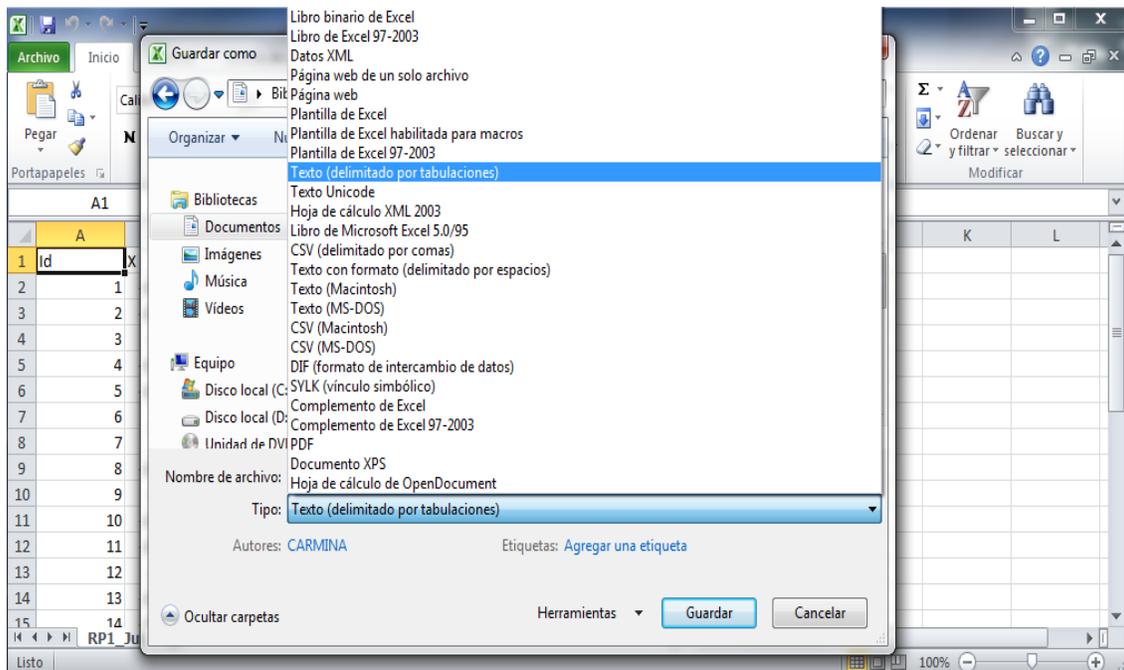
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Grados	Minutos		Grados	Minutos		Altitud msnm			
1											
2	1	100	37.24000	$=(B2+(C2/60))*-1$	25	2.14474	$=(E2+(F2/60))$				
3	2	100	37.29862		25	2.13508		1876.81			
4	3	100	37.35706		25	2.12551		1877.54			
5	4	100	37.41541		25	2.11567		1876			
6	5	100	37.93499		25	2.10570		1875.84			
7	6	100	37.47292		25	2.10363		1876.06			
8	7	100	37.41489		25	2.11319		1875.93			
9	8	100	37.35646		25	2.12289		1876.93			
10	9	100	37.29814		25	2.13235		1877.03			
11	10	100	37.23936		25	2.14214		1877.23			
12	11	100	37.23930		25	2.13988		1877.63			
13	12	100	37.29752		25	2.12961		1876.93			
14	13	100	37.35589		25	2.12016		1876.87			
15	14	100	37.41464		25	2.11054		1875.8			

En una nueva hoja de Excel se copian X, Y, Mpa y altitud.

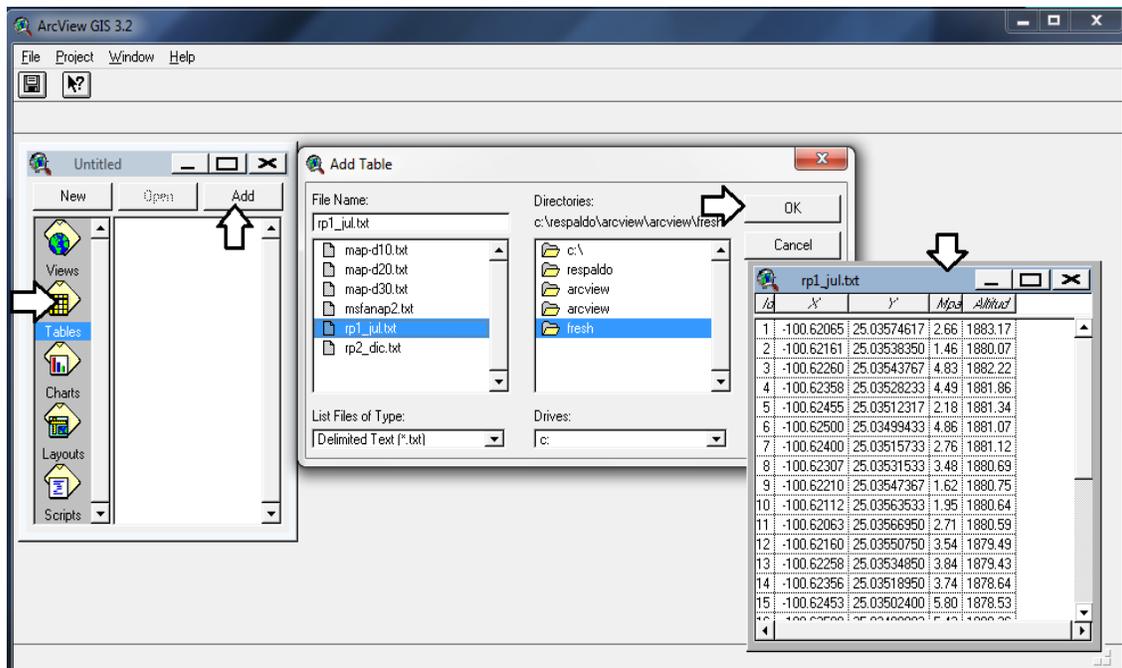
RP1_Jul - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Id	X	Y	Mpa	Altitud							
1	Id											
2	1	-100.62065	25.0357462	2.66	1883.17							
3	2	-100.62161	25.0353835	1.46	1880.07							
4	3	-100.6226	25.0354377	4.83	1882.22							
5	4	-100.62358	25.0352823	4.49	1881.86							
6	5	-100.62455	25.0351232	2.18	1881.34							
7	6	-100.625	25.0349943	4.86	1881.07							
8	7	-100.624	25.0351573	2.76	1881.12							
9	8	-100.62307	25.0353153	3.48	1880.69							
10	9	-100.6221	25.0354737	1.62	1880.75							
11	10	-100.62112	25.0356353	1.95	1880.64							
12	11	-100.62063	25.0356695	2.71	1880.59							
13	12	-100.6216	25.0355075	3.54	1879.49							
14	13	-100.62258	25.0353485	3.84	1879.43							
15	14	-100.62356	25.0351895	3.74	1878.64							

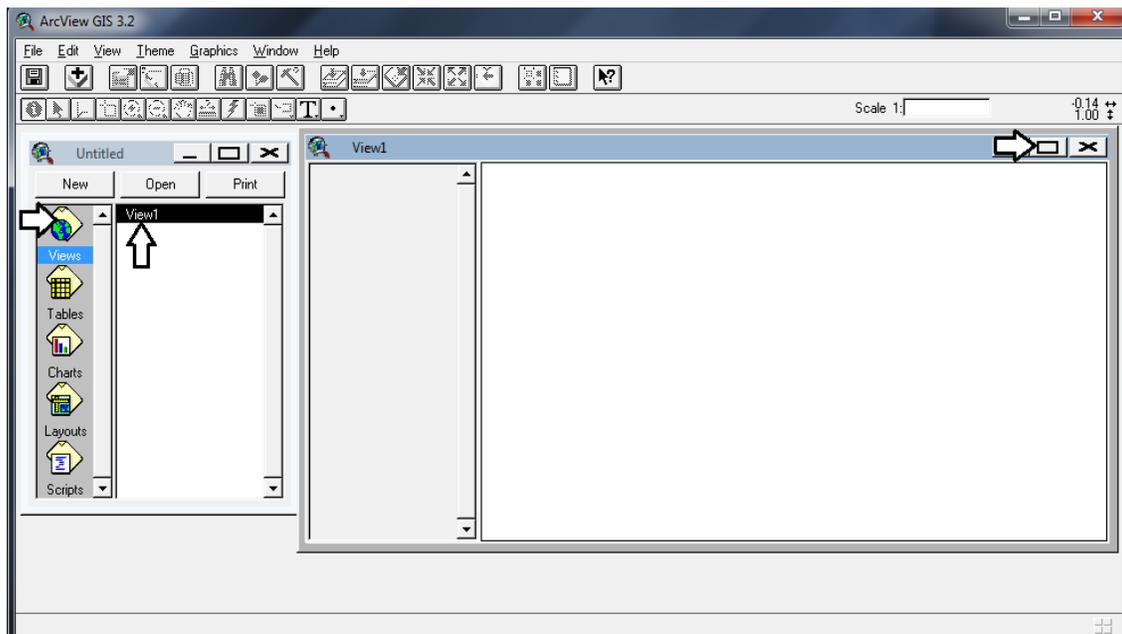
- Procedemos a guardar la información como (Delimitado por Tabulación).TxT, le damos guardar en las próximas dos ventanas que genera se le dará aceptar y si respectivamente.



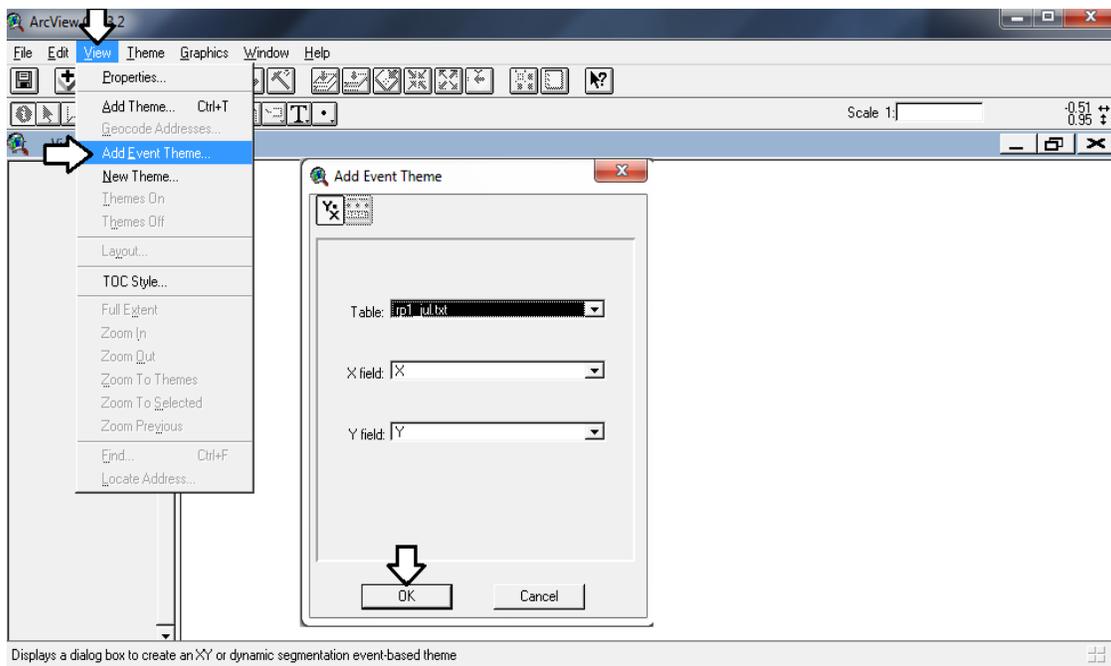
- Una vez guardado abrimos el software ArcView 3.2, seleccionamos TTABLE + ADD buscaremos nuestro archivo .TxT, le damos Ok y nos aparecerá la tabla de datos.



- Seleccionamos Views + doble clic en View1 y se abrirá la ventana de trabajo.



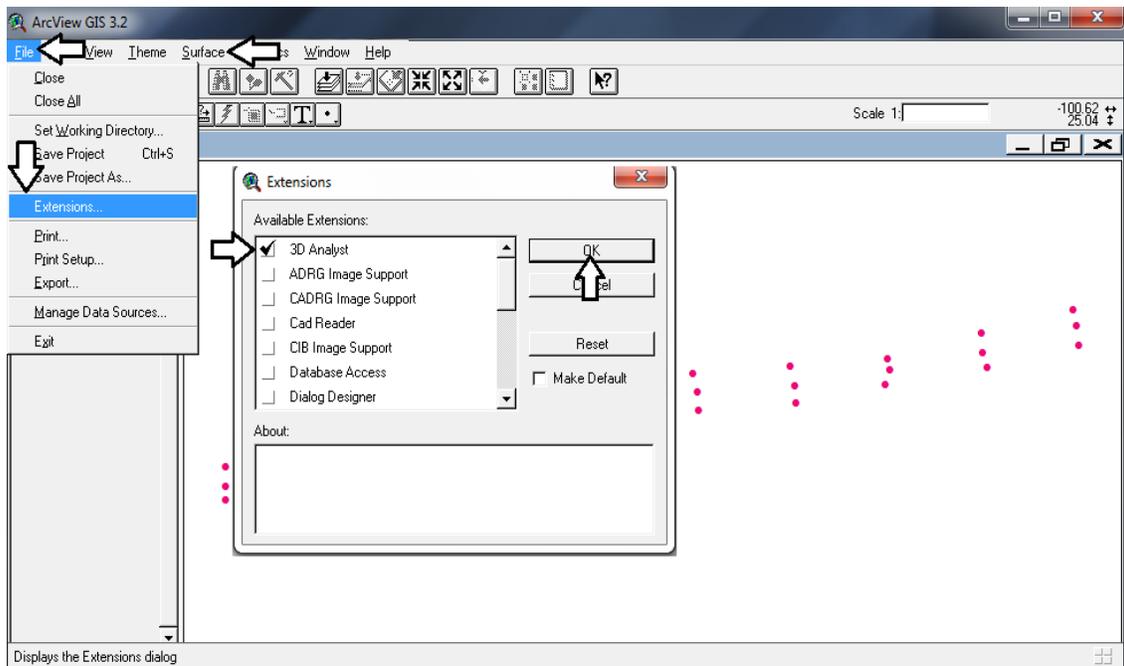
- En View + Add Event Theme nos arroja una ventana donde nos pide el nombre de la tabla, X y Y esto por defecto nos lo proporciona el software le damos Ok.



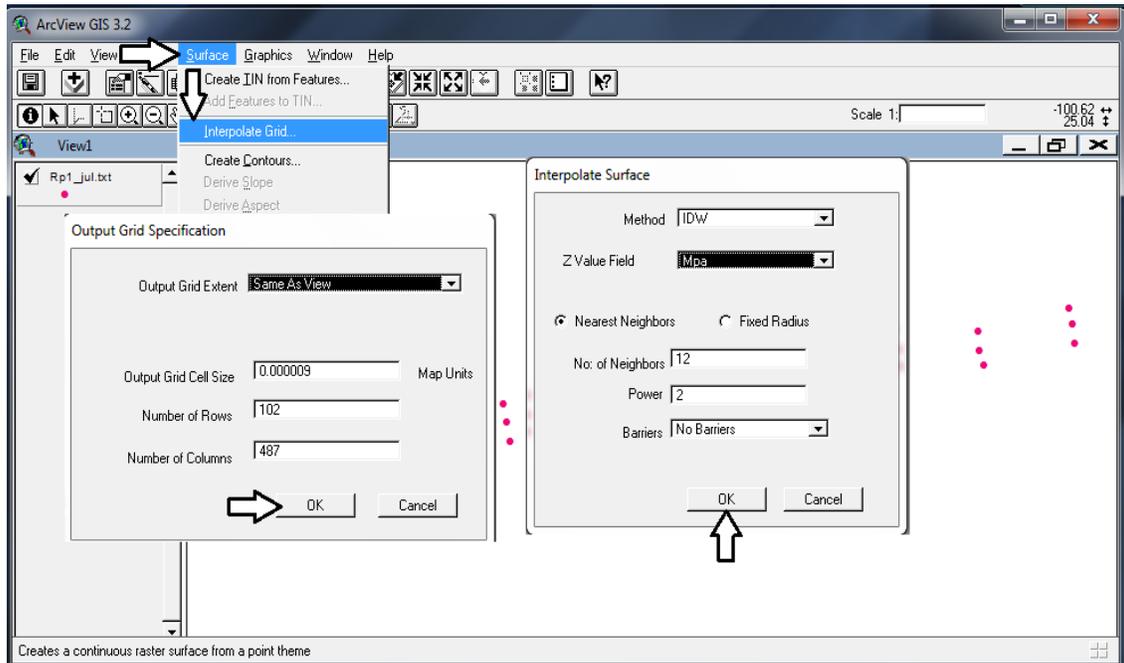
- Nos abre el nuevo tema con el nombre de la tabla, para visualizarlo lo seleccionamos.



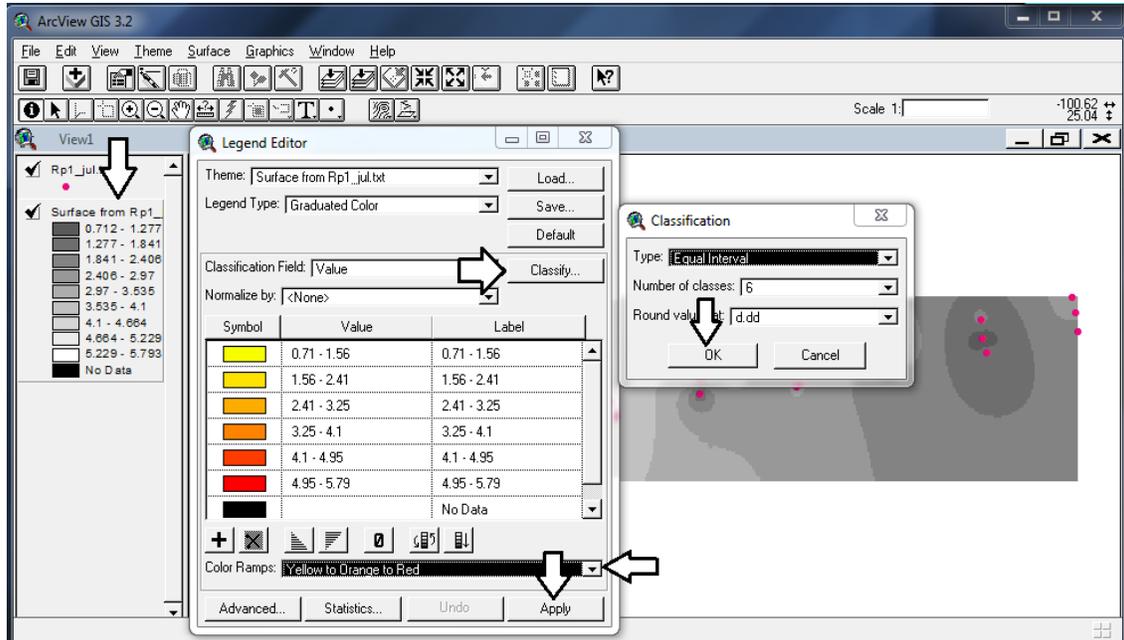
- Para realizar la interpolación con función la resistencia a la penetración, se tiene que activar la extensión 3D ANALISYS. Esto se hará **File + Extensions + 3D ANALISYS + OK**, listo aparecerá la extensión Surface.



- Con esta nueva extensión **Surface + Interpolate Grid** nos aparecerá una ventana **“Output Grid Specification”** en **Output Grid Extent** seleccionaremos **Same As View** al darle OK nos arroja una nueva ventana **“Interpolate Surface”** en ella seleccionamos en **Method** IDW y en **ZValue Field** Mpa y finalmente **OK**.



- Nos generara un nuevo tema con la interpolación esta la llevaremos debajo del tema de puntos y la seleccionaremos para poder visualizar los dos temas. Para editar la interpolación se da doble clic en el tema de interpolación abre la ventana “**Legend Editor**” seleccionas **Classify**, abrirá **Classification** en **Number of clases** y **Round values at** seleccionamos la opción 6 y d.dd respectivamente **OK**, finalmente seleccionas el color y se oprime **Apply**.



- Al final visualizara tu interpolación de la siguiente manera.



ANEXO 9.5 Calculo completo de la evaluación de los sensores en julio.

Evaluación							
Prueba	Sonar			Penetrómetro			
	Max V	Min V	V	Max mV	Min mV	mV	V
1	2.131	0.88837	1.24263	0.38269	0.16968	0.21301	213.01
2	2.0282	0.86243	1.16577	0.37628	0.2597	0.11658	116.58
3	2.0291	0.9436	1.0855	0.4364	0.04944	0.38696	386.96
4	2.1149	0.97321	1.14169	0.46082	0.10132	0.3595	359.5
5	1.9604	0.89844	1.06196	0.46326	0.28839	0.17487	174.87
6	2.0404	0.9494	1.091	0.45258	0.0637	0.38888	388.88
7	2.048	0.86792	1.18008	0.43518	0.21423	0.22095	220.95
8	2.0352	0.97504	1.06016	0.40253	0.1239	0.27863	278.63
9	1.9577	0.88654	1.07116	0.3891	0.2594	0.1297	129.7
10	2.1349	0.8606	1.2743	0.39368	0.23743	0.15625	156.25
11	2.0944	0.88348	1.21092	0.41595	0.19867	0.21728	217.28
12	2.0511	0.89905	1.15205	0.45013	0.16693	0.2832	283.2
13	1.9559	0.87402	1.08188	0.47485	0.16754	0.30731	307.31
14	1.9415	0.87585	1.06565	0.43671	0.13702	0.29969	299.69
15	2.0122	1.20366	0.80854	0.48096	0.01617	0.46479	464.79
16	2.0468	1.1148	0.932	0.46205	0.02828	0.43377	433.77
17	1.8829	0.86571	1.01719	0.41809	0.16602	0.25207	252.07
18	1.937	0.97565	0.96135	0.41656	0.05249	0.36407	364.07
19	2.0422	0.81055	1.23165	0.4306	0.19958	0.23102	231.02
20	1.9308	0.78705	1.14375	0.4184	0.36163	0.05677	56.77
21	2.0416	0.97626	1.06534	0.44983	0.30396	0.14587	145.87
22	2.0334	0.87036	1.16304	0.48737	0.27374	0.21363	213.63
23	1.8848	0.78247	1.10233	0.45868	0.33325	0.12543	125.43
24	1.9583	0.81207	1.14623	0.46478	0.26428	0.2005	200.5
25	1.8677	0.78064	1.08706	0.44769	0.19989	0.2478	247.8
26	1.9614	0.88776	1.07364	0.44464	0.19928	0.24536	245.36
27	1.9583	0.81207	1.14623	0.46478	0.26428	0.2005	200.5
28	2.0328	0.87524	1.15756	0.47119	0.16846	0.30273	302.73
29	1.8842	0.80078	1.08342	0.45319	0.20905	0.24414	244.14
30	1.9028	0.87341	1.02939	0.48309	0.36377	0.11932	119.32

Evaluación							
Prueba	Sonar			Penetrómetro			
	Constante	Dat. Campo	Prof. Campo	Constante	Dat. Campo	kN	MPa
1	26.38	1.24263	32.7805794	13.15	0.21301	2801.0815	2.65945741
2	26.38	1.16577	30.7530126	13.15	0.11658	1533.027	1.45551639
3	26.38	1.0855	28.63549	13.15	0.38696	5088.524	4.83124567
4	26.38	1.14169	30.1177822	13.15	0.3595	4727.425	4.48840402
5	26.38	1.06196	28.0145048	13.15	0.17487	2299.5405	2.18327458
6	26.38	1.091	28.78058	13.15	0.38888	5113.772	4.85521712
7	26.38	1.18008	31.1305104	13.15	0.22095	2905.4925	2.75858934
8	26.38	1.06016	27.9670208	13.15	0.27863	3663.9845	3.47873161
9	26.38	1.07116	28.2572008	13.15	0.1297	1705.555	1.61932128
10	26.38	1.2743	33.616034	13.15	0.15625	2054.6875	1.95080147
11	26.38	1.21092	31.9440696	13.15	0.21728	2857.232	2.71276892
12	26.38	1.15205	30.391079	13.15	0.2832	3724.08	3.53578865
13	26.38	1.08188	28.5399944	13.15	0.30731	4041.1265	3.83680512
14	26.38	1.06565	28.111847	13.15	0.29969	3940.9235	3.74166843
15	26.38	0.80854	21.3292852	13.15	0.46479	6111.9885	5.80296335
16	26.38	0.932	24.58616	13.15	0.43377	5704.0755	5.41567458
17	26.38	1.01719	26.8334722	13.15	0.25207	3314.7205	3.14712657
18	26.38	0.96135	25.360413	13.15	0.36407	4787.5205	4.54546106
19	26.38	1.23165	32.490927	13.15	0.23102	3037.913	2.88431459
20	26.38	1.14375	30.172125	13.15	0.05677	746.5255	0.7087808
21	26.38	1.06534	28.1036692	13.15	0.14587	1918.1905	1.82120583
22	26.38	1.16304	30.6809952	13.15	0.21363	2809.2345	2.66719819
23	26.38	1.10233	29.0794654	13.15	0.12543	1649.4045	1.56600978
24	26.38	1.14623	30.2375474	13.15	0.2005	2636.575	2.50326845
25	26.38	1.08706	28.6766428	13.15	0.2478	3258.57	3.0938150

							7
26	26.38	1.07364	28.3226232	13.15	0.24536	3226.484	3.0633513 5
27	26.38	1.14623	30.2375474	13.15	0.2005	2636.575	2.5032684 5
28	26.38	1.15756	30.5364328	13.15	0.30273	3980.899 5	3.7796232 2
29	26.38	1.08342	28.5806196	13.15	0.24414	3210.441	3.0481194 9
30	26.38	1.02939	27.1553082	13.15	0.11932	1569.058	1.4897256 4

ANEXO 7.6 Calculo completo de la evaluación de los sensores en Diciembre.

Evaluación							
Prueba	Sonar			Penetrómetro			
	Max V	Min V	V	Max mV	Min mV	mV	V
1	2.50060	1.05680	1.44380	0.41462	0.23376	0.18086	180.86
2	2.49940	1.05160	1.44780	0.44525	0.28473	0.16052	160.52
3	2.61190	1.14040	1.47150	0.44891	0.17944	0.26947	269.47
4	2.42430	1.04550	1.37880	0.54105	0.25177	0.28928	289.28
5	2.51040	1.05529	1.45511	0.4776	0.29297	0.18463	184.63
6	2.49270	1.04460	1.44810	0.47211	0.28198	0.19013	190.13
7	2.51770	1.04710	1.47060	0.46753	0.27039	0.19714	197.14
8	2.49940	1.04830	1.45110	0.44281	0.25909	0.18372	183.72
9	2.59280	1.04580	1.54700	0.44281	0.26825	0.17456	174.56
10	2.50210	1.44010	1.06200	0.40741	0.065	0.34241	342.41
11	2.59890	1.04430	1.55460	0.41473	0.224	0.19073	190.73
12	2.60070	1.04920	1.55150	0.4303	0.2243	0.206	206
13	2.50580	1.34400	1.16180	0.45532	0.1297	0.32562	325.62
14	2.61200	0.92162	1.69038	0.46997	0.28656	0.18341	183.41
15	2.51500	0.95978	1.55522	0.46021	0.22491	0.2353	235.3
16	2.51160	1.02910	1.48250	0.45837	0.22003	0.23834	238.34
17	2.69930	1.04610	1.65320	0.48065	0.33783	0.14282	142.82
18	2.50150	1.04710	1.45440	0.44647	0.24507	0.2014	201.4
19	2.50060	1.04920	1.45140	0.43121	0.27588	0.15533	155.33
20	2.58880	0.95001	1.63879	0.41992	0.15228	0.26764	267.64
21	2.59400	1.05350	1.54050	0.42694	0.21545	0.21149	211.49
22	2.60100	1.04980	1.55120	0.42603	0.30304	0.12299	122.99
23	2.40600	1.06260	1.34340	0.44373	0.34729	0.09644	96.44
24	2.61080	0.95795	1.65285	0.4776	0.33142	0.14618	146.18
25	2.49940	1.02450	1.47490	0.44037	0.29327	0.1471	147.1
26	2.50550	1.06020	1.44530	0.44586	0.37567	0.07019	70.19
27	2.40940	1.04160	1.36780	0.46143	0.29816	0.16327	163.27
28	2.41180	1.04130	1.37050	0.45898	0.27557	0.18341	183.41
29	2.30500	1.05740	1.24760	0.43091	0.28076	0.15015	150.15
30	2.50370	1.04370	1.46000	0.42358	0.17944	0.24414	244.14

Evaluación							
Prueb a	Sonar			Penetrómetro			
	Constant e	Dat. Campo	Prof. Campo	Constant e	Dat. Campo	kN	MPa
1	25.85	1.44380	37.32223	13.15	0.18086	2378.3090 0	2.2580605
2	25.85	1.44780	37.42563	13.15	0.16052	2110.8380 0	2.0041129 7
3	25.85	1.47150	38.03828	13.15	0.26947	3543.5305 0	3.3643678 2
4	25.85	1.37880	35.64198	13.15	0.28928	3804.0320 0	3.6116982 3
5	25.85	1.45511	37.61459	13.15	0.18463	2427.8845 0	2.3051294 4
6	25.85	1.44810	37.43339	13.15	0.19013	2500.2095 0	2.3737976 5
7	25.85	1.47060	38.01501	13.15	0.19714	2592.3910 0	2.4613184 1
8	25.85	1.45110	37.51094	13.15	0.18372	2415.9180 0	2.2937679 7
9	25.85	1.54700	39.98995	13.15	0.17456	2295.4640 0	2.1794041 9
10	25.85	1.06200	27.45270	13.15	0.34241	4502.6915 0	4.2750331 6
11	25.85	1.55460	40.18641	13.15	0.19073	2508.0995 0	2.3812887 3
12	25.85	1.55150	40.10628	13.15	0.206	2708.9000 0	2.5719366 6
13	25.85	1.16180	30.03253	13.15	0.32562	4281.9030 0	4.0654078 4
14	25.85	1.69038	43.69632	13.15	0.18341	2411.8415 0	2.2898975 8
15	25.85	1.55522	40.20244	13.15	0.2353	3094.1950 0	2.9377509 5
16	25.85	1.48250	38.32263	13.15	0.23834	3134.1710 0	2.9757057 4
17	25.85	1.65320	42.73522	13.15	0.14282	1878.0830 0	1.7831261 8
18	25.85	1.45440	37.59624	13.15	0.2014	2648.4100 0	2.5145050 6
19	25.85	1.45140	37.51869	13.15	0.15533	2042.5895 0	1.9393151 5
20	25.85	1.63879	42.36272	13.15	0.26764	3519.4660 0	3.3415200 3
21	25.85	1.54050	39.82193	13.15	0.21149	2781.0935 0	2.6404800 2
22	25.85	1.55120	40.09852	13.15	0.12299	1617.3185 0	1.5355460 7
23	25.85	1.34340	34.72689	13.15	0.09644	1268.1860 0	1.2040658 8
24	25.85	1.65285	42.72617	13.15	0.14618	1922.2670 0	1.8250762 2

25	25.85	1.47490	38.12617	13.15	0.1471	1934.3650 0	1.8365625 4
26	25.85	1.44530	37.36101	13.15	0.07019	922.99850	0.8763312 3
27	25.85	1.36780	35.35763	13.15	0.16327	2147.0005 0	2.0384470 8
28	25.85	1.37050	35.42743	13.15	0.18341	2411.8415 0	2.2898975 8
29	25.85	1.24760	32.25046	13.15	0.15015	1974.4725 0	1.8746421 8
30	25.85	1.46000	37.74100	13.15	0.24414	3210.4410 0	3.0481194 9