



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



***Evaluación en campo y generación de mapas de sensores de  
resistencia a la penetración, energía y resistencia a la falla.***

**POR:**

**Rafael Salas Sánchez**

**TESIS**

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

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Mayo del 2013**

---

---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

*Evaluación en campo y generación de mapas de sensores de resistencia a la penetración, energía y resistencia a la falla.*

POR:

**Rafael Salas Sánchez**

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

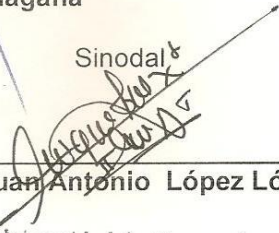
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

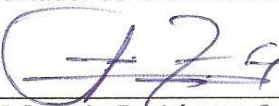
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Martin Cadena Zapata

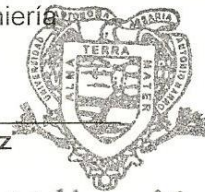
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Juan Antonio López López

Coordinador de la división de ingeniería

  
\_\_\_\_\_  
M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de  
Ingeniería

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a **DIOS** por haberme dado la oportunidad de haber vivido todos estos momentos tan bonitos por haberme permitido terminar una carrera universitaria por tener amigos y maestros tan buenos y sobre todo por la familia que tengo.

**A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme abierto las puertas de esta gran casa de estudios para que yo pudiera alcanzar mis metas y objetivos el de ser un gran profesional.

**Al Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**, por haberme dado la oportunidad de formar parte de este proyecto de tesis por su confianza que me brindo por su paciencia por su enseñanza y todos los conocimientos que me dio y sobre todo por ser una gran persona y un gran profesional, muchas gracias.

**Al Dr. Martín Cadena Zapata**, por su gran amistad que me brindo fuera de clases por todos los conocimientos adquiridos en el aula.

**Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, por todos los consejos que me dio, por su gran aportación dentro y fuera de clases por su amistad, por su paciencia en clases y por ser un gran profesional.

**Al Dr. Jesús R. Valenzuela García**, por su gran amistad por su paciencia y por los conocimientos que me dio en el aula.

**Al Ingeniero Juan Antonio López López** por su gran ayuda que me brindo en el desarrollo de esta tesis y por todos los consejos y conocimientos que fueron de gran importancia para terminar este proyecto.

A todos los maestros del departamento de maquinaria.

**M.C. Juan A. Guerrero Hernández**

**M.C. Tomas Gaytán Muñiz**

**M.C. Juan Arredondo Valdez**

**Ing. Rosendo González Garza**

**M.C. Blanca E. de la Peña Casas**

**Ing. Alberto Flores Berrueto**

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo y esta carrera profesional principalmente a mis padres, a mis hermanos y familiares que gracias a ellos he podido lograr todo esto.

### A MIS PADRES:

*Sr. Rafael Salas Domínguez*

*Sra. María Ignacia Sánchez García*

Gracias a ustedes por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera profesional por apoyarme desde la primaria la secundaria, la preparatoria y ahora la universidad. Por todos los esfuerzos y sacrificios hechos durante todo este tiempo por la confianza y por el gran apoyo que me brindaron desde el primer momento y sobre todo por confiar en mí, no tengo más palabras de agradecimiento para ustedes porque sin su apoyo no lo habiéramos logrado por todo esto y más muchas gracias y que dios los bendiga hoy y siempre, los quiero mucho.

¡MUCHAS GRACIAS!

### A MIS HERMANOS

*Alejandra Salas Sánchez*

*Sergio Salas Sánchez*

*Nancy Verónica Salas Sánchez*

A ustedes también muchísimas gracias por su apoyo y su confianza este logro también es de ustedes por estar siempre con migo a ti Alejandra la mayor y la más tímida de los hermanos, a ti Sergio el serio y reservado pero el más inteligente y a ti Nancy la consentida y caprichosa de la casa aunque todos de caracteres muy distintos y de ideas diferente pero siempre juntos.

A mi novia Blanca Fabiola Díaz Oliveros que gracias a su gran apoyo y compañía de todos estos años has sido de gran impulso para lograr esto que ahora es una realidad te quiero mucho pacharra.

A mis abuelos Pablito Salas Meza y Alejandrina Domínguez que pase mucho tiempo con ustedes en mi niñez muchas gracias por su apoyo y su confianza y por todo lo que me enseñaron. A mi abuelo Alejandro Sánchez que es el más claro ejemplo de que la edad no impide seguir haciendo lo que él hace seguir de pie y trabajando muchas gracias también por su apoyo.

A todos mis tíos y tías con especial agradecimiento a Kamilo Salas Domínguez que en mi niñez me enseñó muchas cosas que hasta hoy me han sido de gran ayuda

A todos mis amigos que pasamos tantas aventuras juntos en nuestra juventud que fueron muchos peros como todo en la vida tiene que seguir su curso ya todos con caminos diferentes pero conservando la amistad a ustedes Emmanuel Serrano, Saúl Álvarez, Manuel Serrano, Fermín Ibarra, Iván Puebla, Vinicio Serrano gracias por su amistad y su gran apoyo.

A mi gran amigo de toda la universidad a Daniel Rodríguez Aguilar que me ayudo con muchas cosas y que me quedo con muchos conocimientos que me sirvieron tanto en esta carrera.

Y no menos importantes a todos mis compañeros de internado que compartimos muchos puntos de vista en el Porfirio número 4 durante toda la carrera al buen Rafael, Justino, Adrián, Edy, Gustavo, Rey e Isidro.

También quiero agradecer por todo su apoyo en la primaria al maestro Dagoberto que aparte de haber sido un profesor fue un gran consejero.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	I
ÍNDICE DE CUADROS .....	IV
RESUMEN .....	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.2 <i>Hipótesis</i> .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 <i>Agricultura de precisión</i> .....	4
2.2 <i>Mecánica de Suelos</i> .....	7
2.2.1 <i>Compactación de suelos</i> .....	9
2.2.2 <i>Resistencia a la penetración</i> .....	11
2.2.3 <i>Resistencia al esfuerzo cortante del suelo</i> .....	12
2.3 <i>Diseño de transductores</i> .....	13
2.3.1 <i>Sensor octagonal de anillo extendido</i> .....	13
2.3.2 <i>Galgas extensiométricas</i> .....	14
2.3.3 <i>Puente de wheatstone</i> .....	17
2.4 <i>Adquisición de datos</i> .....	18
2.4.1 <i>Daq book200/2000</i> .....	20
2.5 <i>Sensores de medición de distancia</i> .....	21
2.5.1 <i>Infrarrojo</i> .....	21
2.5.2 <i>Sonar LV-MaxSonar-EZ1</i> .....	22
2.6 <i>Decibelios y Ruido magnético</i> .....	23
2.7 <i>Filtros de señal</i> .....	25
2.7.1 <i>Clasificación de los filtros</i> .....	25
2.8 <i>Amplificadores Operacionales</i> .....	27
2.9 <i>Variabilidad en suelos</i> .....	28
2.9.1 <i>Medición de la Variabilidad</i> .....	29
2.9.2 <i>Mapa de Rendimiento</i> .....	31

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1	<i>Diseño del sensor de resistencia a la penetración.....</i>	32
3.2	<i>Montaje de galgas extensiométricas .....</i>	33
3.3	<i>Calibración del sensor de resistencia a la penetración.....</i>	34
3.4	<i>Calibración del sensor LV-MaxSonar-EZ1.....</i>	36
3.5	<i>Evaluación del amplificador AD620.....</i>	38
3.5.1	<i>Evaluación del sensor AD620 como filtro .....</i>	38
3.5.2	<i>Evaluación del porcentaje de ruido para las señales del sonar, amplificador AD620 y AD620 como filtro.....</i>	40
3.6	<i>Evaluación de los sensores en campo .....</i>	40
3.7	<i>Generación de mapas de diagnóstico de capas compactas.....</i>	43
IV.	RESULTADOS .....	44
4.1	<i>Resultados del diseño del sensor de resistencia a la penetración.....</i>	44
4.2	<i>Resultados de montaje de galgas Extensiométricas .....</i>	44
4.3	<i>Resultados de la calibración del sensor de resistencia a la penetración .....</i>	46
4.4	<i>Resultados de las pruebas realizadas para la calibración del sonar LV-MaxSonar-EZ1 .....</i>	48
4.5	<i>Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del amplificador AD620</i> <i>51</i>	
4.5.1	<i>Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del amplificador AD620 como filtro. ....</i>	53
4.5.2	<i>Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del porcentaje de ruido de las señales de amplificador AD620. ....</i>	56
4.6	<i>Resultados de la evaluación de sensores en campo.....</i>	57
4.6	<i>Resultados de la generación de mapas de diagnóstico de capas compactas ....</i>	59
4.6.1	<i>Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con GS+ .....</i>	59
4.6.2	<i>Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con ArcView .....</i>	61
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
VII.	ANEXOS .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>2.1</b> Interacción entre varios elementos que integran la agricultura de precisión .....	5
<b>2.2</b> Pasos involucrados en la agricultura de precisión.....	7
<b>2.3</b> Galgas extensiométricas uniaxial.....	18
<b>2.4</b> Roseta de dos elementos, laminillas apiladas a 90°C.....	19
<b>2.5</b> laminillas plana a 90°C.....	19
<b>2.6</b> Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios Mega Ohm.....	21
<b>2.7</b> Sistema de adquisición de datos analógicos.....	21
<b>2.8</b> Dispositivo de adquisición de datos DAQ BOOK200.....	24
<b>2.9</b> Sensor Infrarrojo distancias.....	25
<b>2.10</b> Sonar LV-MaxSonar-EZ1.....	26
<b>2.11</b> Tipos de respuesta a filtros.....	29
<b>2.12</b> Diagrama del amplificador Operacional.....	31
<b>2.13</b> Mapa de preproducción.....	33
<b>2.14</b> Mapas de rendimientos de diferentes años.....	33
<b>2.15</b> Variabilidad de la estimación del rendimiento.....	34
<b>2.16</b> Representación de los datos de posición y rendimiento, sin tratamiento con SIG y con tratamiento SIG.....	35
<b>3.1</b> Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone.....	34
<b>3.2</b> Diagrama de calibración del sensor de resistencia a la penetración.....	35
<b>3.3</b> Conexiones del sensor LV-MaxSonar-EZ1.....	37
<b>3.4</b> (a) sonar y lámina reflectora, (b) adquisición de datos.....	37
<b>3.5</b> Diagrama de conexión del amplificador AD620.....	38



<b>3.6</b>	Diagrama de conexión del amplificador AD620 funcionando como filtro.....	39
<b>3.7</b>	Vista aérea de la parcela de prueba.....	40
<b>3.8</b>	Equipo utilizado para la prueba de campo.....	41
<b>3.9</b>	Cuadrícula del terreno de evaluación.....	42
<b>4.1</b>	Dimensiones del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 KN.....	44
<b>4.2</b>	Diagrama de conexiones de las galgas en el ring.....	45
<b>4.3</b>	Especificaciones de galgas extensiométricas de 350Ω empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.....	45
<b>4.4</b>	Materiales utilizados en la calibración del sensor de fuerza.....	46
<b>4.5</b>	Gráfica de calibración del sensor de fuerza.....	46
<b>4.6</b>	Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.....	48
<b>4.7</b>	Equipo utilizado para la calibración del sonar.....	49
<b>4.8</b>	Grafica de calibración para sonar.....	50
<b>4.9</b>	Gráfica de ecuación de respuesta para sonar.....	50
<b>4.10</b>	Equipo utilizado para las pruebas del AD620.....	52
<b>4.11</b>	Gráfica de línea ajustada para la calibración del sonar más amplificador.....	53
<b>4.12</b>	Conexión del amplificador AD620 utilizado como filtro.....	54
<b>4.13</b>	Onda sinusoidal obtenida con la resistencia de 1 MΩ.....	55
<b>4.14</b>	Onda lineal obtenida con la resistencia de 500 Ω.....	55
<b>4.15</b>	Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro. En SolidWorks Premium 2010.....	57
<b>4.16</b>	Evaluación en campo para determinar la resistencia a la penetración a diferentes profundidades.....	57
<b>4.17</b>	Resultados de las gráficas de datos obtenidos en campos donde se determinó la fuerza y profundidad de las capas compactas.....	58
<b>4.18</b>	Mapa 2D de fuerzas de resistencia a la penetración.....	60
<b>4.19</b>	Mapa de resistencia a la penetración en 3D.....	61
<b>4.20</b>	Resultado en MPa por cada punto muestreado.....	62

4.21 Mapa de ArcView.....	62
---------------------------	----

## ÍNDICE DE CUADROS

2.1 Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo.....	8
2.2 Etapas para la aplicación de agricultura de precisión.....	32
3.1 Datos que se utilizaron en la calibración del sensor en la escala del acondicionador de señales DBK-43.....	35
3.2 Tabla de pesos conocidos para aplicar en la calibración de sensor de fuerza.....	35
4.1 Resultado del montaje de las galgas extensiométricas.....	45
4.2 Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 KN, aplicando diferentes pesos.....	47
4.3 Análisis de varianza para el sensor de fuerza.....	48
4.4 Tabla de calibración del sonar, distancias Vs mili volts.....	49
4.5 Análisis de varianza para el sonar LV-MaxSonar-EZ1.....	49
4.6 Análisis de varianza para el sonar mas amplificador AD620.....	52
4.7 Tabla de calibraciones de distancias Vs milivolts.....	53
4.8 Resultados de laboratorio para las pruebas de resistencias y capacitores.....	54
4.9 Porcentajes de ruido para el sonar con sus diferentes configuraciones.....	56
4.10 Resultados de campo en para la resistencia a la penetración Y profundidad de la capa compacta.....	59
4.10 Generación de mapas de diagnóstico.....	60

## 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, resistencia al corte y a la penetración. Los objetivos que se consideraron en esta tesis fueron: Validar el sistema integral GPS-SENSORES-DATA LOGGER, elaborar mapa de diagnóstico de resistencia a la penetración y la adecuación de un sensor de posición con registro en tiempo real, para lo cual se calibró el sensor de resistencia a la penetración, se calibró y evaluó el sonar LV-MaxSONAR-EZ1 y el amplificador de instrumentación AD620 configurado como filtro. El sensor mostró una alta sensibilidad en la medición de fuerzas de resistencia a la penetración de 13.15 N/mv, con un coeficiente de correlación de 99.6%. El sensor de distancia sonar con el amplificador mostro durante su calibración una sensibilidad de 0.02612 cm/mV y un coeficiente de correlación de 99.8%, el amplificador configurado como filtro tuvo un porcentaje de ruido de 1.85% lo cual se redujo un 10.51% la señal de entrada del sonar.

La evaluación en campo del sistema, tanto para las capas compactas y profundidad de penetración se realizó en un terreno de 15 x 25m con muestreos cada 5 m, teniendo un total de 15 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 determinadas áreas del terreno en evaluación, se requiere generar mapas de profundidades de localización de capas compactas mayores a 2500 KPa.

**palabras clave:** compactación, sensor de resistencia del suelo, penetrómetro, y mapas de diagnóstico de capas compactas.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel nacional existe una alta demanda en la producción de alimentos de los cuales aproximadamente diez millones de hectáreas pertenecen a cultivos básicos (maíz, trigo, frijol), mismos granos en el que nuestro país presenta una producción deficitaria (FAO 2009). El problema se presenta en el uso de la labranza tradicional, donde el laboreo primario de suelos se realiza de manera homogénea en estas extensiones de terreno, lo que genera una respuesta de cosecha o rendimiento con alta variabilidad, poca productiva y por ende poco rentable. La preparación de los suelos se destaca como la actividad agrícola más costosa que consume más 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.

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. 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).

A nivel mundial como un indicador existen alrededor de 20 países que han incorporado estos sistemas inteligentes y automatizados en la aplicación de insumos agrícolas, entre los que destacan Estados Unidos con 30 000 unidades de producción, Argentina con 1200, Brasil con 250, Reino Unido con 400, Paraguay con 4 y México con Cero unidades. Actualmente la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” carece de maquinaria, equipos e instrumentos automatizados para la docencia e investigación, así como la aplicación de mecanización para la agricultura de precisión (López 2012). Por tal motivo durante la convocatoria interna 2009 para proyectos de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro fue presentado y autorizado un proyecto de investigación denominado:

***“DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN”.***

Cuyos objetivos planteados fueron:

1. Fortalecer la enseñanza e investigación en agricultura de precisión.
2. Evaluación de calidad de equipos agrícolas de labranza de conservación.
3. Desarrollo de un sistema de simulación de dosis variable de semillas.
4. Sistema de dosificación variable de semillas en tiempo real.
5. **Desarrollo de equipo para la generación de mapas de las variables conductividad eléctrica, resistencia al corte y penetración del suelo.**
6. Desarrollo de un sistema integral para el monitoreo de fuerzas en equipos de labranza.

El presente trabajo de tesis se circunscribe en el objetivo número 5, con los siguientes objetivos específicos:

### **1.1 Objetivos específicos**

- a) Validar un sistema integral GPS-SENSORES–DATA LOGGER-GIS que permita medir el estado físico- mecánico en suelos de tipo agrícola.
- b) Elaborar mapa de diagnóstico de resistencia a la penetración.
- c) Adecuación de un sensor de posición y su registro en tiempo real.

### **1.2 Hipótesis**

Es posible evaluar los parámetros de resistencia del suelo a la penetración, con la evaluación de los sensores de desplazamiento y de fuerza, combinados con DGPS y GIS. Así como determinar la localización de áreas compactadas, en forma dinámica, en predios de producción agrícola.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

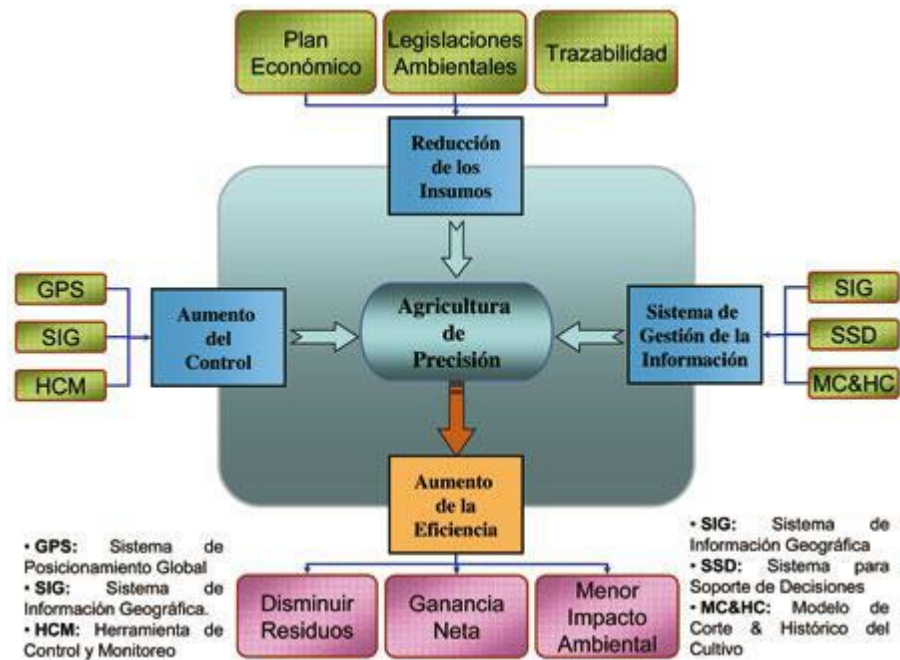
### **2.1 Agricultura de precisión**

Bongiovanni *et al.*, (2006) menciona que la agricultura de precisión está basada en la existencia de la variabilidad en campos la cual ha requerido de tecnología tal como un sistema de posición global (GPS) sensores, satélites, e imágenes satelitales y sistema de información geográfica(SIG) para estimar y evaluar dichas variaciones. Menciona que los equipos geo-posicionadores están integrados de un sistema de navegación y orientación cuyo funcionamiento es la de procesar y recibir información la cual proviene de los satélites ubicados a diferentes alturas sobre la superficie terrestre, cada satélite de GPS emite continuamente dos códigos de diferentes de formato digital.

Los datos son transmitidos por medio de señales de radio. Uno de los códigos está reservado para los militares y no puede ser captado por los receptores GPS civiles. El otro código, (de uso civil) transmite dos series de datos conocidas como ALMANAQUE y EFEMERIDES. Los datos ofrecidos por el almanaque y las efemérides informan sobre el estado operativo de funcionamiento del satélite, su situación orbital, la fecha, hora.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_Informaci%C3%B3n\\_Geogr%C3%](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%BA)

Las características del suelo y del cultivo varían en el espacio y tiempo. La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola. (Figura 2.1).

[http://wapp.corfo.cl/ticrural/descargas/I+D+I\\_3\\_TECNOLOGIAS\\_AGRICULTURA\\_PRECISION.pdf](http://wapp.corfo.cl/ticrural/descargas/I+D+I_3_TECNOLOGIAS_AGRICULTURA_PRECISION.pdf).



**FIG. 2.1. Interacción entre varios elementos que integran la agricultura de precisión, fuente: Universidad del País Vasco, 2000.**

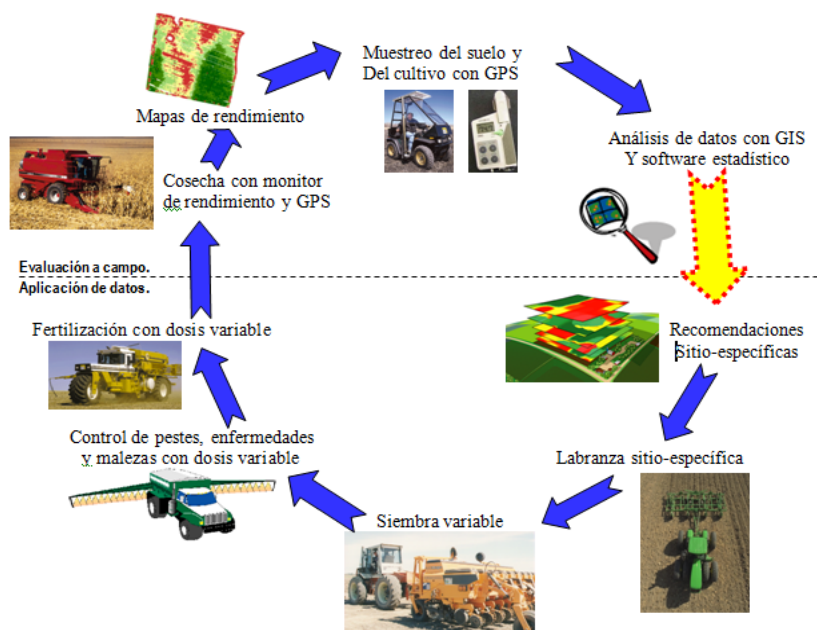
Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes AGCO 2005 (Allis Corporación Gleaner), (figura 2.1): 1) Recolección de datos 2) procesamiento e interpretación de la información 3) Aplicación de insumos.

Bragachini et al., (2004) la agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital y que consiste en obtener datos geo-referenciados en los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresado por los cultivos en diferentes sitios como loma, media loma y bajo; se obtiene mejor respuesta en lotes que posean alta variabilidad de potencial de rendimiento ya sea por relieve, historia del lote (secuencia de cultivos y fertilizaciones anteriores).



Con esta tecnología es posible ajustar la mejor dosis de fertilización para cada sitio o lote específicamente, el mejor híbrido, variedad, densidad de siembra, espaciamiento entre hileras, etc. Los beneficios se pueden resumir valorando el análisis y diagnóstico posible de realizar, partiendo de más de 800 datos de rendimiento por hectárea versus el análisis del promedio de rendimiento de todo un lote que ofrece la agricultura tradicional sin la ayuda del monitor de rendimiento satelital.

Bongiovanni, (2003) agricultura de Precisión es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo (fig. 2.2). La información obtenida puede usarse para implementar planes de manejo de la variabilidad. Junto a la biotecnología, la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años.



**FIG. 2.2 Pasos involucrados en la agricultura de precisión.**

**Fuente ([http://www.scanterra.com.ar/agricultura\\_precision\\_inf.html](http://www.scanterra.com.ar/agricultura_precision_inf.html))**

## 2.2 Mecánica de Suelos

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos Doran y Parkin, (1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo Carter *et al.*, (1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo Romig *et al.*, (1995).

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo (Cuadro 2.1).

**Cuadro 2.1** Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación.
<b>Físicas</b>		
<i>Textura</i>	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
<i>Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces</i>	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
<i>Infiltración y densidad aparente</i>	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm <sup>3</sup>
<i>Capacidad de retención de agua</i>	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación
<b>Químicas</b>		
<i>Materia orgánica (N y C total)</i>	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha <sup>-1</sup>
<i>pH</i>	Define la actividad química y	comparación entre los límites

	biológica	superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
<i>Conductividad eléctrica</i>	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm-1; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
<i>P, N, y K extractables</i>	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha-1; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
<b>Biológicas</b>		
<i>C y N de la biomasa microbiana</i>	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha-1 relativo al C y N total o CO2 producidos
<i>Respiración, contenido de humedad y temperatura</i>	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha-1 d-1 relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
<i>N potencialmente mineralizable</i>	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha-1d-1 relativo al contenido de C y N total

Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo Arshad y Coen, (1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental. La identificación es compleja por la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio Doran *et al.*, (1994).

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente Singer y Ewing, (2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo (cuadro 2.1) son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las

plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros.

La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

Los indicadores químicos mostrados en el Cuadro (2.1) se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI,1996).

### ***2.2.1 Compactación de suelos***

La compactación del suelo ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del suelo, como resultado de pisoteo de animales y personas, la inadecuada utilización de equipos como tractores, especialmente cuando el suelo está húmedo (Bassuk y Whitlow, 1988)

La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración y la densidad aparente y reduciendo la porosidad (Patterson, 1977). La compactación además reduce la velocidad de infiltración de agua, causa disminución en el drenaje, reduce la disponibilidad de agua y abastecimiento de aire y oxígeno utilizado por las raíces (Patterson et al., 1980)

En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de intensivo uso agrícola que este fenómeno se

acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas (Casanova, 1991).

El aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre las estructuras (terrones), en cavidades formadas por la fauna del suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Esta situación va a producir un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo, con una escasa exploración del volumen total del suelo (Gavande, 1973).

La forma más fácil de medir el grado de compactación del suelo es la determinación del valor de la densidad aparente, si bien este parámetro presenta unos valores críticos diferentes según la textura del suelo en su capa compactada. A medida que la textura se hace más gruesa la densidad aparente presenta un valor crítico más alto. Adicionalmente, se ha demostrado que la compactación del suelo es dañina, cuando ocurre en los primeros 50cm de la superficie del suelo, donde ocurre el mayor crecimiento radical de las plantas (Foster y Blaine, 1978). Cuando el suelo es compactado, se reduce o se destruye el sistema de macro poros presente en el suelo. Los macro poros son importantes para el movimiento del agua y el aire en el suelo y sin ellos se presentan condiciones anaeróbicas en la etapa de crecimiento. Al ocurrir condiciones anaeróbicas en el suelo, se reduce el oxígeno disponible, trae como consecuencia reducción en la desmitificación, pérdida de nutrimentos en las raíces y cambios en el metabolismo de las plantas.

Otros estudios en suelos compactados demuestran que las raíces que encuentran mayor resistencia mecánica tienden a crecer menos y a ser más finas y con más ramificaciones laterales que en suelos no compactados (Materchera et al., 1991).

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) y aumenta la susceptibilidad a estrés de sequía, especialmente en verano (Bassuk y Whitlow, 1985; Grabosky y Bassuk, 1995).

También la disponibilidad de nutrientes y de agua tiende a ser poca o ninguna. Niveles extremos de compactación pueden romper raíces finas de 1-2 mm de diámetro. Los síntomas típicos de las plantas afectados por la compactación del suelo fluctúan desde la reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas (Foster y Blane, 1978), caída masiva de las hojas, pérdida de las propiedades físicas y eventualmente la muerte.

### ***2.2.2 Resistencia a la penetración***

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 el, 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.

Kepner et al., (1978), describe que las reacciones de los suelos debido a fuerzas aplicadas por implementos de labranza son afectadas por la resistencia del suelo a compresión, la resistencia al corte, adhesión (fuerzas atractivas entre el suelo y algún otro material), y la resistencia a la fricción. Estas son todas las propiedades dinámicas que se ponen de manifiesto solamente a través del movimiento del suelo.

E.W. Rusell (1961-1963). El mecanismo de crecimiento de las raíces consiste en que las células meristemáticas de detrás del ápice se alargan longitudinal y radialmente, empujando a éste hacia adelante. El crecimiento se produce cuando la presión de turgencia dentro de las células en crecimiento es suficiente para vencer el confinamiento impuesto por las paredes celulares y cualquier limitación externa causada por la matriz del suelo. La diferencia entre la presión de turgencia y la resistencia a la pared celular se denomina presión de crecimiento radicular. La presión máxima de crecimiento radicular varía de 700 a 2500 KPa para habas (*Vicia faba*), maíz (*Zea mays*), veza (*Vicia sativa*) y castaño de Indias (*Aesculus hippocastanum*). De forma similar, las presiones medias de crecimiento radicular en algodón, guisante y cacahuate fueron 940, 1300 y 1150 KPa, respectivamente, aunque hubo considerable variación dentro de cada especie.

### ***2.2.3 Resistencia al esfuerzo cortante del suelo***

Flamand (1995), indica que la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo puede definirse como la oposición máxima que presenta sus partículas a un desplazamiento relativo, bajo ciertas condiciones dadas principalmente de drenaje. Un suelo invariablemente pierde constancia bajo una condición de esfuerzos normales y cortantes en el plano de falla, los esfuerzos normales proporcionan

una parte de la resistencia al esfuerzo cortante debido a la fricción. La evolución de dicha resistencia es importante en la mayoría de los problemas de estabilidad de masa de suelo y diseño de estructuras.

Se ha usado en las últimas dos décadas para la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, correlacionando el número de golpes necesarios para penetrar una punta cónica en el suelo en una longitud determinada, similar a una prueba de penetración estándar convencional (Gonzales et al, 2004).

## **2.3 Diseño de transductores**

### **2.3.1 Sensor octagonal de anillo extendido**

Campos *et al.* (1992) desarrollo una metodología sencilla para el 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.

Campos (1993). 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.



Consideraciones adicionales para el diseño del anillo extendido fueron dadas por Hoag (1977) Citado por Campos (1993). Estos tienen el objetivo de mejorar la sensibilidad del anillo por medio de aumentar al máximo la relación  $[\epsilon/S \{x, y\}]$ . 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) citado por Varela (2000) que la relación  $(t r^2)$  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.

### **2.3.2 Galgas extensiométricas**

Una galga extensiométrica o extensómetro es un sensor basado en el efecto piezorresistivo. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica, Edward E. Simmons y Arthur C. Ruge en 1938.

Cooper (1991), 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.

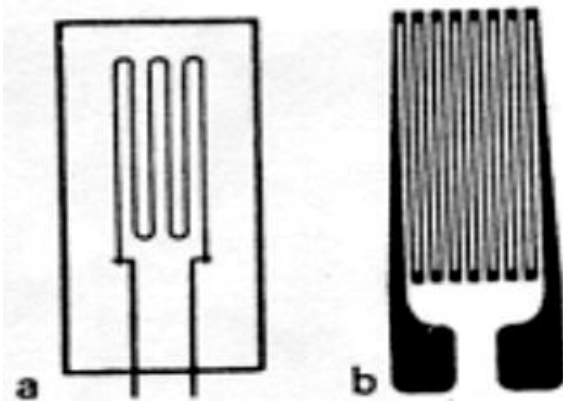
Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños como constante (marca registrada). Constante, es una aleación de níquel-cobre que contiene 60% de cobre y 40% de níquel, o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia de las galgas extensiométricas 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; uniaxial, biaxial o multidireccional. Para aplicaciones uniaxiales 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.

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 2.3. Galga extensiométrica uniaxial: a) alambre; b) laminilla. (Cooper, 1991).**

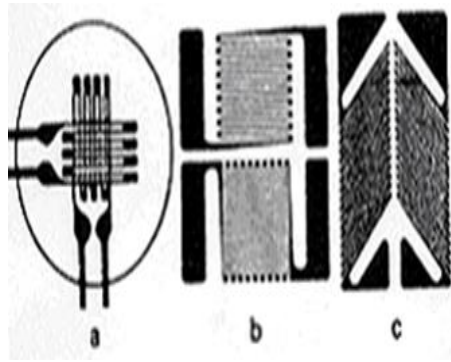
Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en dirección correcta. Sin embargo, para

simplificar esta tarea y obtener mayor exactitud, se dispone galgas de múltiples elementos o rosetas.

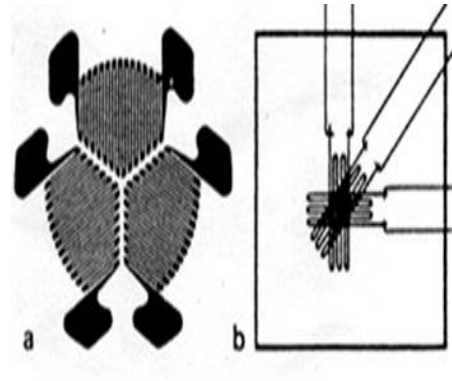
Las rosetas de dos elementos suelen utilizarse en transductores de fuerza. Las galgas se conectan en un circuito puente de Wheatstone para proporcionar una salida máxima. En análisis de esfuerzos, los elementos axial y transversal pueden tener diferentes resistencias que se pueden seleccionar para que 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  $x$  ( $\epsilon_x$ ), la deformación normal en  $y$  ( $\epsilon_y$ ), y la deformación cortante en el plano ( $\gamma_{xy}$ ). 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  $45^\circ$  o  $60^\circ$  entre los elementos sensores. Las rosetas de  $60^\circ$  se usan cuando la dirección de la tensión principal se desconoce. Las rosetas de  $45^\circ$  proporcionan una resolución angular mayor y normalmente se utilizan cuando se conocen las direcciones de las tensiones principales.



**FIGURA 2.4 (a)**



**FIGURA 2.5 (b)**

**FIGURA 2.4 Roseta de dos elementos, a) laminillas apiladas a 90°C; b) laminillas plana a 90°C; laminilla plana delgada a 90°C. (Cooper, 1991).**

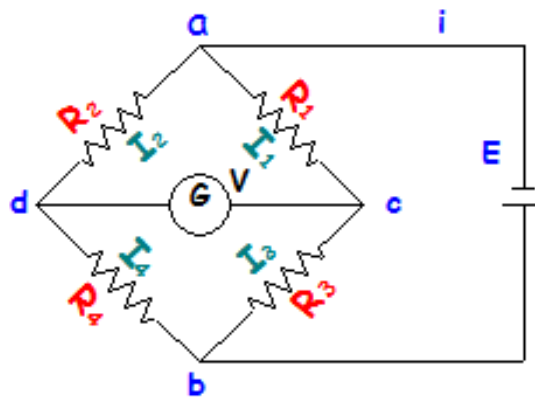
Mojica (2000), otro tipo son las galgas extensiométricas soldadas que consiste en un marco estacionario y una armadura que está colocada en el centro del marco. La armadura solo se puede mover en una dirección. El desplazamiento está limitado por cuatro filamentos de alambre sensible a la tensión, devanado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

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.

### **2.3.3 Puente de wheatstone**

Cooper (1991), 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 (2.8), 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 esta balanceado (o en equilibrio) cuando la diferencia de potencial a través del galvanómetro es 0 V, 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 esta en equilibrio.

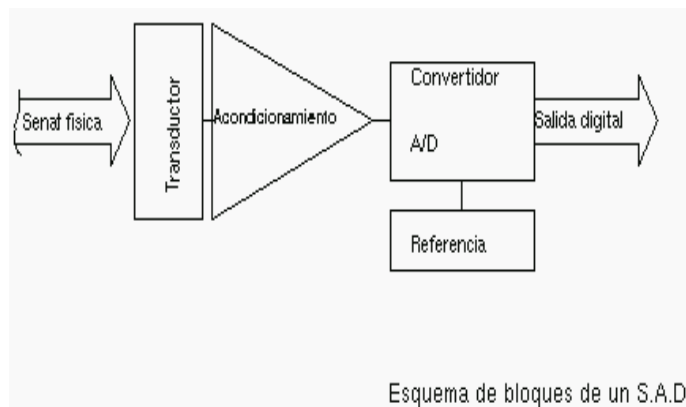


**Figura 2.6. Puente empleado para las mediciones de precisión de resistencias en el rango de fracciones de Ohm hasta varios Mega Ohm. (Cooper 1991)**

## **2.4 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. 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.



**FIGURA 2.7 Sistema de adquisición de datos analógicos.**

**Fuente.**[http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)

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

- ✓ **Transductores.** Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.
- ✓ **Acondicionador de señales.** Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
- ✓ **Instrumentos de registro de datos.** Para obtener un registro permanente de los datos de entrada.
- ✓ **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 angosto) 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.

#### **2.4.1 Daq book200/2000**

El DaqBook200/2000 (figura 2.9) 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

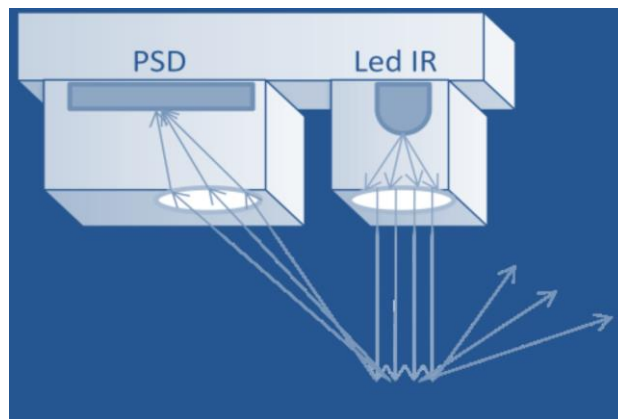
**FIGURA 2.8** Dispositivo de adquisición de datos **DAQ BOOK200**.

La serie DaqBook200/2000 incluye un orden interfaz interno Ethernet (red de área local) de 10/100BaseT capaz 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. [http:// www.iotech.com.mx](http://www.iotech.com.mx)

## **2.5 Sensores de medición de distancia**

### **2.5.1 Infrarrojo**

Los sensores infrarrojos emiten un haz de luz dentro del espectro que su propio nombre indica, el cual, al igual que los sensores de ultrasonido, se refleja al llegar a un objeto y se capta en su PSD óptico (Position [optical] Sensitive Device) que según el ángulo de incidencia del haz dará como resultado la distancia del objeto. El rango angular efectivo para la medición en este caso es mucho más estrecho, de hecho se puede considerar totalmente lineal, llegando a discernir si hay un objeto o no en frente con una anchura del orden de milímetros. Como se puede observar en la figura 2.9 . [www.iit.upcomillas.es/~alvaro/.../Sensores%20y%20actuadores.pdf](http://www.iit.upcomillas.es/~alvaro/.../Sensores%20y%20actuadores.pdf)



**Figura 2.9 Sensor Infrarrojo distancias.**

**Fuente ([www.bluetip.com.uy](http://www.bluetip.com.uy))**



Se utilizan dos lentes para hacer converger los haces de luz infrarroja, por ello la posible consideración lineal de los rayos emitidos y recibidos tras la reflexión en los obstáculos. El alcance máximo típico de estos sensores se centra en torno a los 90-100 cm. Un objeto que se encuentra a menos distancia provocará una reflexión que llegara al receptor infrarrojo con un ángulo mayor que si se hubiera reflejado en un obstáculo encontrado a mayor distancia, como se puede observar en la Figura 2.10 que se muestra a continuación.

Características del medidor infrarrojo:

1. Voltaje de alimentación de 4.5 a 5.5 VCC
2. Temperatura de operación -10 a 60 °C
3. Rango máximo de medida: 150 cm
4. Consume 33mA

### **2.5.2 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 1 cm. Este sensor puede ser alimentado con voltajes entre 3,3 y 5 VDC.

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. 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.

### **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- 10mV/pulg
7. Salida PWM- 147 uS/pulg



**FIG. 2.10 sonar LV-MaxSonar-EZ1. Fuente (<http://www.maxbotix.com>)**

### **2.6 Decibeles y Ruido magnético**

El decibel (dB) es una unidad relativa de una señal muy utilizada por la simplicidad al momento de comprar y calcular niveles de señales eléctricas. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles puede ser fácilmente sumada o restada y también por la razón de que el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica. Utilizado primeramente para medir la intensidad de sonido, el decibel debe su nombre al físico norteamericano Alexander Graham Bell.

Un decibel es la manera adecuada en que los ingenieros describen las relaciones de potencia o voltajes entre la entrada y la salida de un cuádruplo. Las ventajas de

especificar relaciones de potencias o de tensiones en unidades de decibeles incluyen:

Los decibeles pueden emplearse para describir el rendimiento independiente de voltaje o potencia de operación de una aplicación por lo tanto: es una especificación de un rendimiento “genérico”. Si el cuadripolo presenta una ganancia (salida mayor a la entrada) esta se expresa como un valor en dB de valor positivo, y si presenta una atenuación (salida menos a la entrada) ella se representa como un valor en dB de valor negativo. Cuando el valor en decibeles es 0, representa que el cuadripolo no “gana” ni “atenua” con lo cual el valor de amplitud de la señal de salida es igual al de entrada.

El decibel se calcula en una escala logarítmica que permite la especificación del rendimiento a través de un amplio rango de voltaje/potencia.

Los decibeles pueden sumarse o restarse (multiplicando y dividiendo sus correspondientes relaciones), facilitando de ese modo los cálculos y soluciones gráficas. Comúnmente, la mayoría de las veces, el rendimiento de una transmisión de especifica en unidades dB.

El bell fue originalmente definido por Alexander Graham Bell para medir relaciones de sonido y usado en líneas telegráficas con impedancia de 600 ohm.

$$B = BEL = \log_{10} \frac{P_s}{P_e}$$

**Ecuación 2.1**

Ps: potencia de salida.

Pe: potencia de entrada.

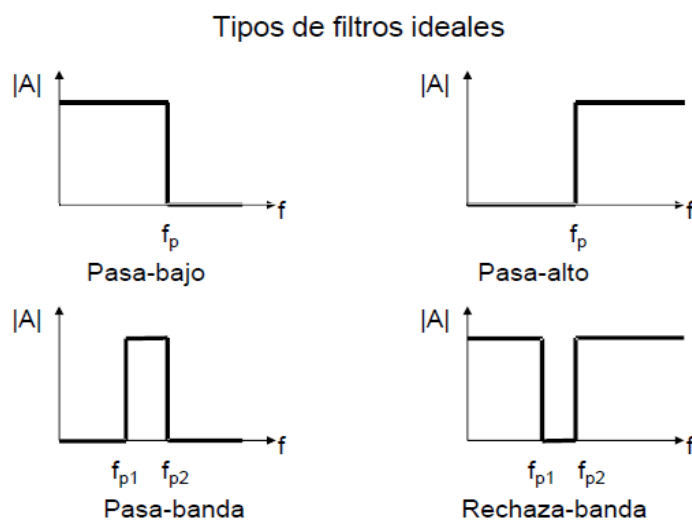
## 2.7 Filtros de señal

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 (Jesiotr. et al, 2005).

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 (Jesiotr, et. al, 2005).

### 2.7.1 Clasificación de los 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).



**FIG. 2.11 Tipos de respuesta a filtros. (Jesiotr. Et al, 2005)**

Los tipos de filtros según Jesiotr (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:

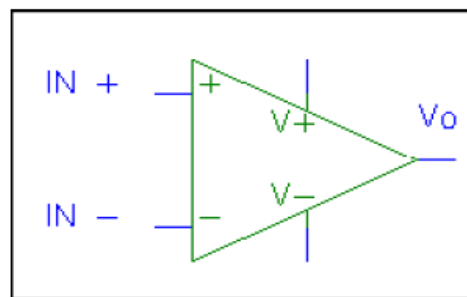
**Filtro pasivo:** Conformado por elementos pasivos tales como resistencias, bobinas y capacitores.

**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.

## 2.8 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.



**FIG. 2.12 Diagrama del amplificador Operacional. (Stephen, 2000)**

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.

[http://www.dte.us.es/ing\\_inf/ins\\_elec/temario/Tema%201.%20Amplificadores%20Operacionales.pdf](http://www.dte.us.es/ing_inf/ins_elec/temario/Tema%201.%20Amplificadores%20Operacionales.pdf)

## 2.9 Variabilidad en suelos

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 (2.2), se presentan las principales etapas o pasos para la aplicación de AP (Agricultura de Precisión), las tecnologías involucradas y las actividades realizadas.

**CUADRO 2.2** *Etapas para la aplicación de agricultura de precisión (Adaptado de USDA, 1998).*

ETAPA	TECNOLOGIA INVOLUCRADA	ACTIVIDADES
<b>Recolección e ingreso De datos.</b>	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.
<b>Análisis, procesamiento e interpretación de</b>	Programas SIG. Sistemas expertos Programas estadísticos.	Análisis de dependencia espacial. Confección de mapas de evaluación prescripción.

---

la información.

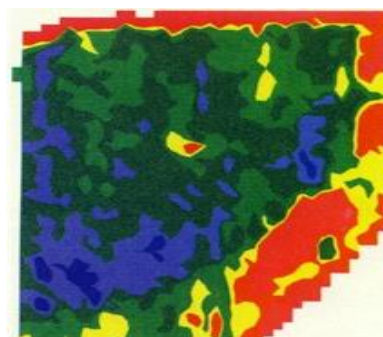
<b>Aplicación diferencial de insumos.</b>	Tecnología de dosis variables. Pulverización asistida por GPS. Programa computacional	Aplicación variable de nutrientes y de plaguicidas. Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas.
---	---	---

### **2.9.1 Medición de la Variabilidad**

La variabilidad espacial: esta se puede medir mediante la obtención de datos sobre factores con localización precisa. Los mapas de rendimientos se producen realizando un seguimiento del rendimiento a la cosechadora, o máquina recolectora, tal que se conoce la cantidad cosechada en un determinado tiempo.

Un DGPS (GPS Diferencial) se utiliza para obtener la localización de la posición de los rendimientos que se están obteniendo. Un sistema similar se utiliza para el muestreo del suelo, excepto si las muestras se recogen a mano, y se envían posteriormente al laboratorio para su análisis, en este último caso se utiliza un GPS para el posicionamiento del lugar de la toma de muestras ( figura 2.13).

Estos datos se filtran y se representan como mapas que muestran la variabilidad espacial.

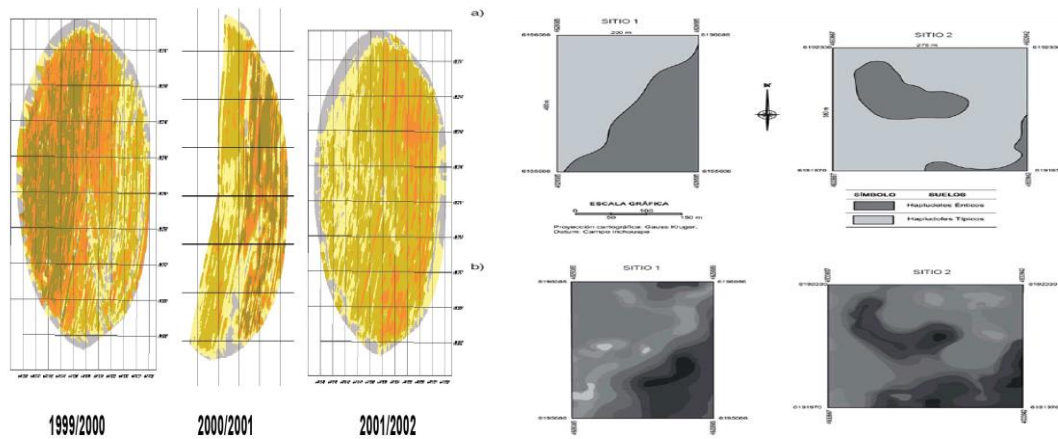


**FIG. 2.13 Mapa de reproducción.**

**Fuente (<http://www.ingegraf.es/congresos/2001-BADAJOS/docs/730618.doc>)**



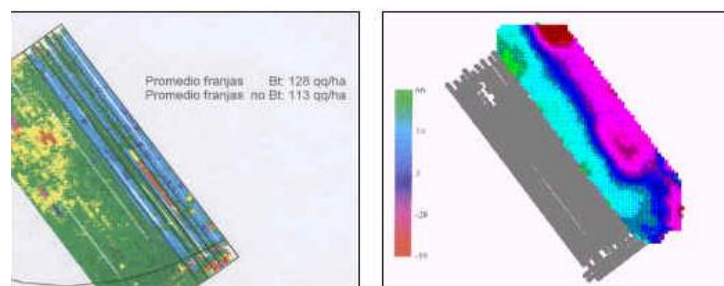
La variabilidad temporal se obtiene mediante la información y comparación de mapas que han sido obtenidos a lo largo del tiempo. (Fig. 2.14).



**FIG. 2.14 Mapas de rendimientos de diferentes años.(Tecnisuelo 1991)**

La variabilidad en la estimación esta variabilidad se obtiene midiendo la diferencia entre los valores para el cultivo, y los valores conseguidos. Los valores que más se utilizan son los de área de producción, el rendimiento y calidad. La calidad es difícil de predecir, hasta los estudios tardíos de la producción, mediante la medida de la clorofila, y la realización de un mapa de clorofila. (Figura 2.21).

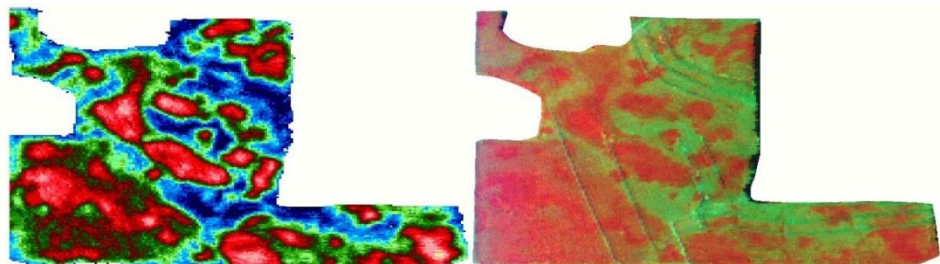
La mayoría de los trabajos publicados relacionados a sistemas de determinación de producción de productos agrícolas para la elaboración de mapas de rendimiento están en el área de granos, donde empresas como JOHN DEERE (1998), CASE (1999) y AGCO (1999), desarrollaron sensores de flujo de masa específicos, para determinar la producción y la humedad de granos y software para manejar estos datos y generar los mapas de rendimiento.



**FIG. 2.15 Variabilidad de la estimación del rendimiento. (Ing. Agr. Mario Bragachini)**

### 2.9.2 Mapa de Rendimiento

La práctica más importante, quizá, son los mapas de rendimientos. Para ella son necesarias una serie de tecnologías, tenemos como ejemplo una cosechadora de cereal.



**FIG. 2.16** A la izquierda, representación de los datos de posición y rendimiento, sin tratamiento con SIG. A la derecha, la misma parcela tras tratar los datos con un SIG.

**Fuente** (<http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/precisionag/cropyield.html>)

Será necesario un receptor GPS montado sobre la cosechadora, el cual obtendrá segundo a segundo la información de la posición en el campo, a medida de que la cosechadora avanza por el campo. Además, esta cosechadora debe tener dos sensores, uno para medir el flujo de grano, y otro para medir la humedad del grano cosechado. A medida que la máquina avanza, un ordenador recoge la información que le llega del GPS, con un intervalo de 1.2 segundos registrando la latitud y la longitud y de los dos sensores.

Si se realizase una representación de esta información, se obtendría la parte izquierda de la figura 2.17, la cual como se ve es difícil de interpretar. Por lo tanto es necesario un software que permita una mejor lectura o interpretación de los datos, estos programas informáticos son los SIG (Sistemas de Información Geográfica). Así la figura antes mencionada, aparecerá suavizada, como en la parte derecha de la figura 2.17.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### **3.1 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 0.0013973 m<sup>2</sup>. El tamaño de la puntas y la velocidad con que se introducen en el suelo han sido normalizadas por la ASAE, (1992).

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<sup>-2</sup>).

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

$$\sigma = \frac{6Fr}{bt^2} \quad \textbf{Ecuación 3.1}$$

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

$$L_{90^\circ} = 1.09 \frac{Fr}{Ebt^2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$\sigma_l = 1.09 \frac{Fr}{bt^2} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$F_s = \frac{\sigma_p}{\sigma_l} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

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

$$A = \pi * r * g \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$g = \sqrt{h^2 + r^2} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

**Dónde:**

- ✓  $F$  =Fuerza (N)
- ✓  $r$  =Radio del ring (m)
- ✓  $L$  =Modulo de elasticidad del acero (Pa)
- ✓  $b$  =Ancho del ring (m)
- ✓  $t$  =Espesor (m)
- ✓  $\sigma_l$  =Esfuerzo calculado
- ✓  $\sigma_p$  =Ultimo esfuerzo normalizado (1045)
- ✓  $F_s$  =Factor de seguridad
- ✓  $A$  = área
- ✓  $g$  = generatriz del cono

**3.2 Montaje de galgas extensiométricas**

El tipo de galgas extensiométricas montadas en el anillo del ring fueron de 350  $\Omega$ , 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 Ravinovich (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 3.18).

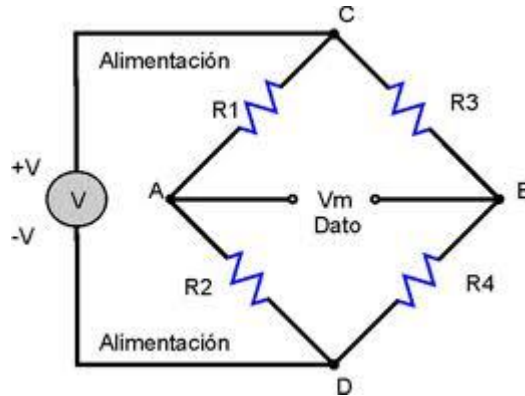


FIG. 3.1 Configuración de las galgas en el puente de Wheatstone. (Cook y Ravinovich, 1963)

### 3.3 Calibración del sensor de resistencia a la penetración

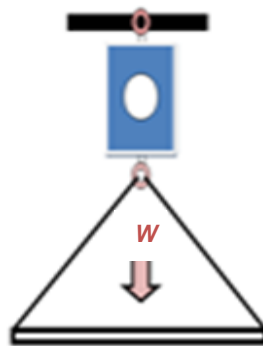
Para realizar las pruebas en campo se requiere calibrar el equipo, esto es determinar la relación voltaje – fuerza para el sensor que a continuación se describe:

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 3.1

**CUADRO 3.1** Datos que se utilizaron en la calibración del sensor en la escala del acondicionador de señales DBK-43.

<b>Excitación</b>	<b>9.5 volts</b>
<b>Input Gain</b>	<b>4.5 volts</b>
<b>Scaling Gain</b>	<b>4.5 volts</b>

Se colocó el sensor de fuerza con una capacidad de 10 KN en un tripié como se muestra en la Figura 3.2. Para la calibración del sensor en laboratorio, se registraron 5 corridas agregando los pesos mostrados en el Cuadro 3.2. 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:



**FIG.3.2** *diagrama de calibración del sensor de resistencia a la penetración*

**CUADRO 3.2** *Tabla de pesos conocidos para aplicar en la calibración de sensor de fuerza.*

<b>DATOS</b>	<b>KG</b>	<b>NEWTONS</b>
<b>W1</b>	45	441.45
<b>W 2</b>	45	441.45
<b>W 3</b>	45	441.45
<b>W 4</b>	35	343.35
<b>W 5</b>	35	343.35
<b>W 6</b>	30	294.3
<b>TOTAL</b>	<b>235</b>	<b>2305.35</b>

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 minitab 16 empleando la facilidad de regresión, con los valores de mv Vs Newton. Para la obtención de la ecuación de calibración.

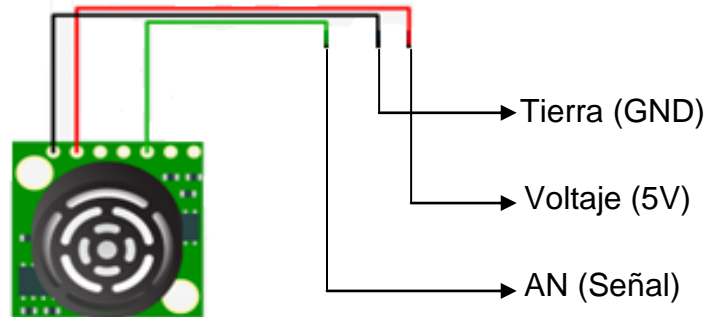
### ***3.4 Calibración del sensor LV-MaxSonar-EZ1***

El sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ1 (EZ1) tiene el diagrama de haz más ancho y más sensible de todos los LV-MaxSonar-EZ. El sensor tiene integrado el receptor y transmisor en una sola capsula. Puede detectar distancias desde 15cm a 600cm. Ofrece señales de salida: analógica, digital por pulsos y de comunicación serial TTL. El EZ1 es una excelente elección para un lugar donde se requiera de alta sensibilidad.

Las características del sensor es de tipo ultrasónico de 42kHz, funciona a partir de 2.5 a 5.5V, tiene un bajo consumo de corriente 2 mA, la tasa de lectura es de 20 Hz, tiene una salida analógica de 10mV/pulg (1pulg= 25.4mm), es un módulo pequeño y de peso ligero.

Para las pruebas que se realizaron en él 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, un amplificador de señal DBK43A, un regulador de voltaje de  $\pm 5V$  y un multímetro.

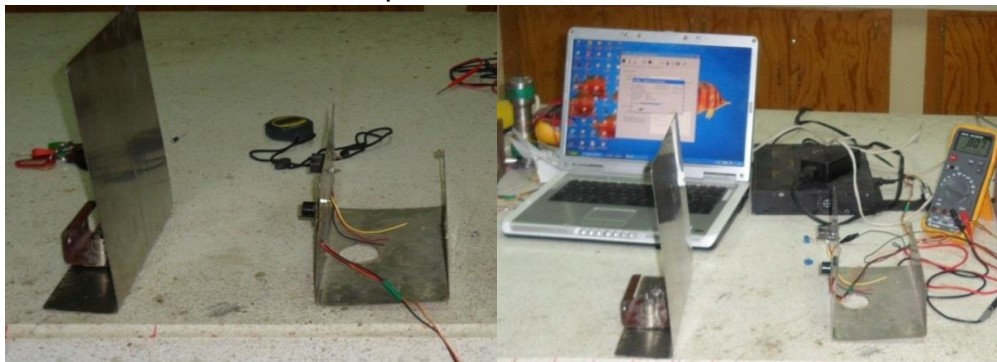
Antes de comenzar las pruebas se acondicionara el sensor, se conectara 3 de las 7 entradas con las que cuenta el sensor que serán GND, 5 Volts y AN como se muestra en la Figura 3.3.



**FIG. 3.3 Conexiones del sensor LV-MaxSonar-EZ1**

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 a 70 cms, se conectara el sensor a la computadora personal donde se registraran los datos en el DaqView 9.1.27.

La metodología para la calibración después de conectar correctamente el sonar se colocará una lámina reflectora frente al sensor colocado a una distancia inicial de 20cm.(figura 3.4). Las medidas de referencia de inicio serán a partir de la información proporcionada en la hoja de datos que se encuentra en el anexo 7.2. Los datos se registraran en el DaqView 9.1.27, a 20 Hz y 5000 datos en total, a cada 500 datos se correrá manualmente la lámina reflectora 5cm así hasta llegar a 40 cms a partir de los primeros 15cm, los datos se registraran de ida y de regreso con un total de 5 corridas esto para obtener una ecuación de calibración.



**FIG 3.4 (a) sonar y lámina reflectora, (b) adquisición de datos.**



### 3.5 Evaluación del amplificador AD620

Una vez que se calibró correctamente el sensor LV-MaxSonar-EZ1; se evaluará y diseñará un circuito en el programa ARES 7.8 profesional para el amplificador de instrumentación AD620, el cual se montará en el sensor de resistencia a la penetración siguiendo el diagrama que se muestra en la siguiente figura.

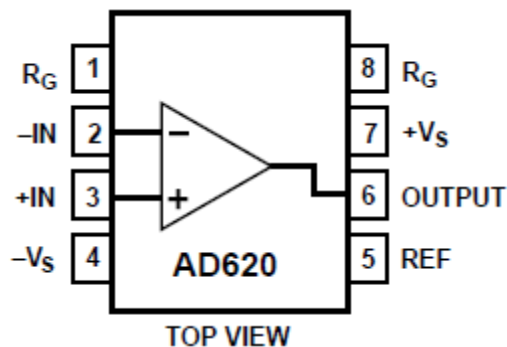


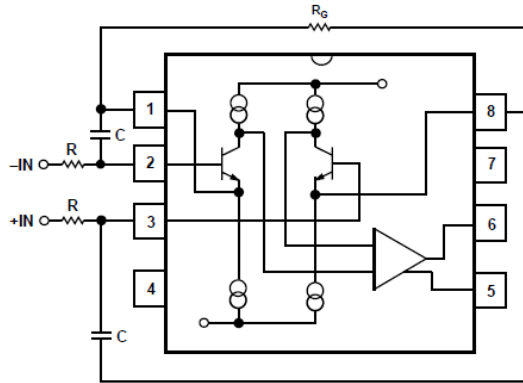
FIG. 3.5 Diagrama de conexión del amplificador AD620.

Se utilizará este amplificador debido a su bajo costo, su uso práctico, y a la facilidad para aumentar la ganancia de señal, además de los componentes electrónicos que se utilizarán será mínimo y de fácil adquisición, debido a que tiene una característica principal que permite utilizarse como filtro de señal y a la vez como amplificador. Las pruebas de calibración de la señal se harán a una ganancia de 10 veces la señal de entrada.

#### 3.5.1 Evaluación del sensor AD620 como filtro

Todos los amplificadores de instrumentación pueden corregir señales fuera de la banda, este amplificador permite el acceso directo a la base de los transistores de entrada y emisores que nos permiten aplicar algunos filtros de primer orden.

Para la prueba del amplificador como filtro se tiene la configuración que se muestra en la siguiente figura 3.6.



**FIG. 3.6 Diagrama de conexión del amplificador AD620 funcionando como filtro.**

El cálculo de las resistencias del filtro con las siguientes formulas:

$$RC = \frac{1}{2\pi f} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

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

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 del amplificador con filtro se usarán diferentes tipos de resistencias y capacitores para encontrar los más adecuados 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 personal por medio del DaqBook/2000 y del programa DaqView 9.1.27.

### **3.5.2 Evaluación del porcentaje de ruido para las señales del sonar, amplificador AD620 y AD620 como filtro.**

Una vez realizadas las pruebas de calibración del amplificador como filtro, se procederá a realizar en cálculo del valor del porcentaje de ruido para las señales del sonar LV-MaxSonarEZ1, el amplificador AD620 y el filtro. Esto para verificar la nitidez de la señal que se enviará al daqbook2000, y para tener datos de campo más confiables.

### **3.6 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 por 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 bajío, dentro de la UAAAN en una de las parcelas de prueba como lo muestra la Figura 3.7



**FIG 3.7 Vista aérea de la parcela de prueba**

Para la toma de datos de campo se utilizó un tractor de la marca John Deere 6403 TS, el cuál esta acondicionado para recibir los componentes tales como una computadora, el sistema de adquisición de datos DaqBook/2000, un DBK43A, un

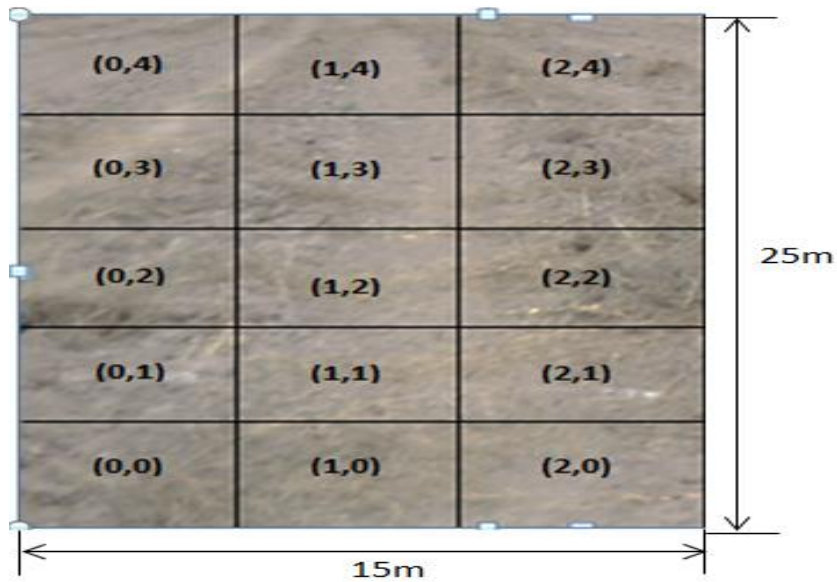
alimentador de voltaje de C.D a C.A, un penetrómetro, un sensor de fuerza, un sensor de distancia (LV-MaxSonar-EZ1) y diversos compartimientos para el equipo a utilizar (Figura 3.8).



**FIG. 3.8 Equipo utilizado para la prueba de campo**

Para la prueba en campo se marcó una cuadrícula de 15 x 25 metros con un total de 15 puntos a muestrear y una separación de 5 metros de distancia entre punto y punto como se muestra la Figura 3.9.

Una vez trazado el terreno de prueba se procedió a muestrear 15 puntos iniciando con el punto 0,0 se posiciono el carro portasensores 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 40 cm o hasta que el carro portasensores se levantara, este procedimiento fue el mismo para el total de los puntos a muestrear para posteriormente analizar los datos.



**FIG. 3.9 Cuadrícula del terreno de evaluación**

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:

$$P = \frac{F}{A} \text{ Ecuación 3.8}$$

**Dónde:**

*P=presión*

*F=fuerza obtenida del sensor*

*A=área del cono.*

Donde el cálculo del área del cono del penetró metro es:

$$A_T = \pi * \text{radio} * (\text{genetriz} + \text{radio}) \text{ Ecuación 3.9}$$

$$\text{Genetriz} = \sqrt{(\text{altura})^2 + (\text{radio})^2} \text{ Ecuación 3.10}$$

### ***3.7 Generación de mapas de diagnóstico de capas compactas***

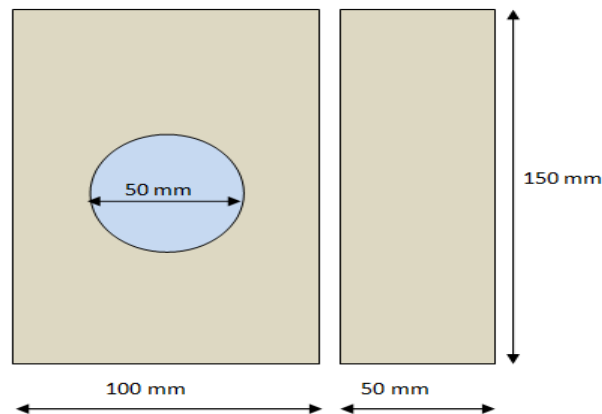
Para la realización de los mapas se utilizaron los software Gs+ (geo-statistics) y el ArcView 3.2, donde después de obtener los datos de campo conforme a los puntos tomados (figura 3.9), se procedió a la captura de los datos en MPa siguiendo la metodología de elaboración de los mapas para cada programa mostradas en los anexos 7.3 y 7.4.

Se realizaron dos mapas para comprobar las interpolaciones de cada uno y verificar cual es el mapa de mejor visualización.

## IV. RESULTADOS

### ***4.1 Resultados del diseño del sensor de resistencia a la penetración***

En la figura (4.1), se muestran las características del diseño del ring. Con una capacidad de 10 KN y un esfuerzo máximo del acero 1045 de 565 MPa. Para medir los requerimientos de energía en forma dinámica en labranza primaria y para posteriormente geo referenciarlos, empleando el sistema de información geográfica (SIG), para luego obtener los mapas de diagnósticos.



***FIGURA 4.1. Dimensiones del transductor del ring con un acero 1045 para una resistencia a la penetración de 10 KN.***

### ***4.2 Resultados de montaje de galgas Extensiométricas***

En la figura (4.2), se muestra el cableado y los arreglos de las galgas en puente de wheatstone para medir la fuerza de resistencia a la penetración producida por la localización de la fuerza.

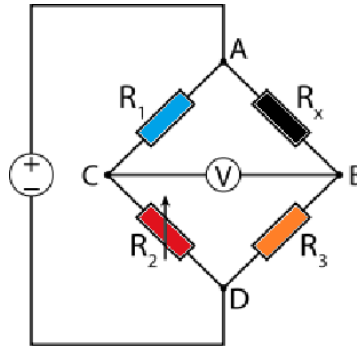


FIG. 4.2 Diagrama de conexiones de las galgas en el ring

CUADRO 4.1 Resultado del montaje de las galgas extensiométricas

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

En la figura (4.3), 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 50M $\Omega$ .

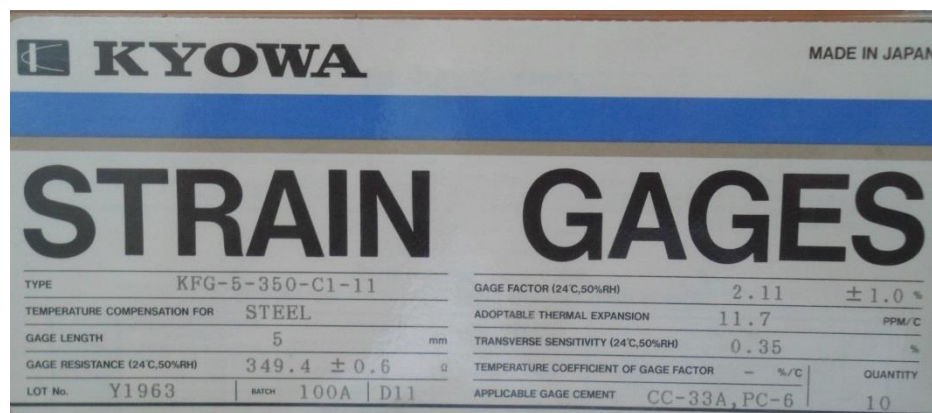


FIG 4.3. Especificaciones de galgas extensiométricas de 350 $\Omega$  empleadas en el elemento sensor, en arreglos de puente de wheatstone.



### 4.3 Resultados de la calibración del sensor de resistencia a la penetración

En la Figura (4.4), se muestra los materiales utilizados para la calibración de sensor donde se siguió la metodología 3.3.



FIG. 4.4. Materiales utilizados en la calibración del sensor de fuerza

En la figura (4.5), 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 mostrados en la figura (4.5) y analizados en Minitab 15.

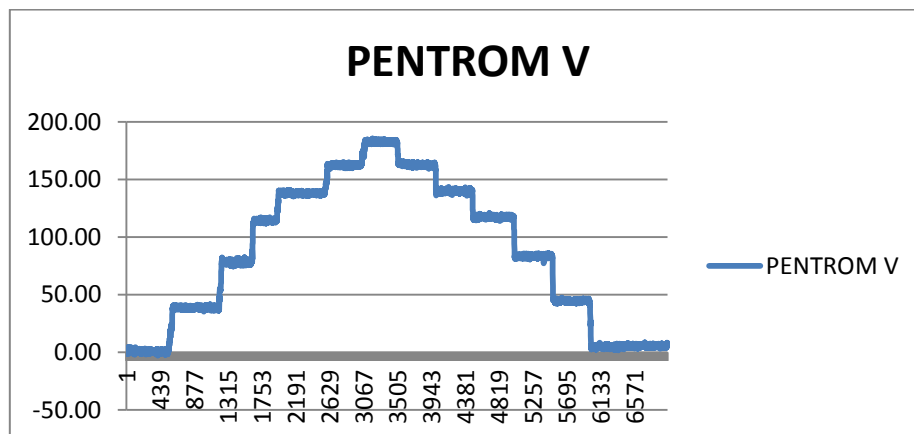


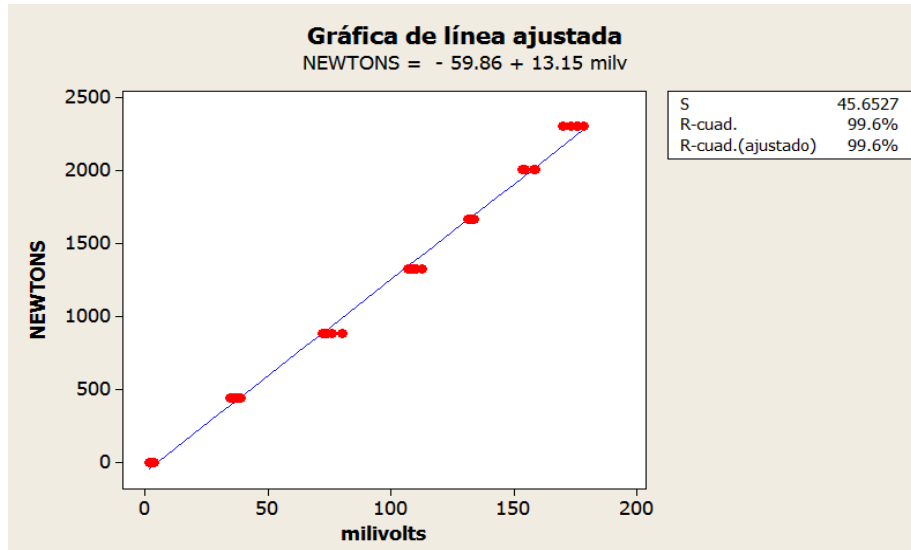
FIG. 4.5 Gráfica de calibración del sensor de fuerza

Se realizaron 5 repeticiones en las pruebas de calibración del sensor y se obtuvieron los siguientes promedios en Newtons Vs mili volts. Ver Cuadro 4.2

**CUADRO 4.2** *Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 KN, aplicando diferentes pesos*

<b>PESOS ACUMULADOS (N)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO EN mV</b>
<b>441.45</b>	34.27	36.94	38.64	37.68	35.76	36.65
<b>882.9</b>	73.61	73.69	75.66	80.00	71.80	74.95
<b>1324.35</b>	109.98	107.34	112.37	108.70	106.74	109.02
<b>1667.7</b>	133.48	131.12	133.48	131.87	132.42	132.47
<b>2011.5</b>	157.83	154.28	158.36	153.80	153.20	155.49
<b>2305.35</b>	178.10	175.64	175.38	172.89	169.85	174.37

La línea de regresión que se obtuvo mediante los datos de calibración, bajo condiciones de laboratorio empleando el programa estadístico de Minitab 15, en él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R-.Sq) de más del 99.6% y obteniendo una ecuación de calibración de 13.15 milivolts 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 ver figura 4.6.



**FIG 4.6 Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.**

En el cuadro 4.3 se muestra el análisis de varianza para el sensor de resistencia a la penetración.

**CUADRO 4.3 Análisis de varianza para el sensor de fuerza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	35899863	35899863	17225.01	0.000
Error	63	131303	2084		
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>36031166</b>			

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

#### **4.4 Resultados de las pruebas realizadas para la calibración del sonar LV-MaxSonar-EZ1**

Para la prueba del sonar se realizaron cinco corridas para comprobar que funcionara correctamente, se realizaron pruebas de laboratorio para determinar la nitidez de la señal, así también se hizo un registro de los datos en el programa DaqView y se obtuvo una constante de calibración como se muestra (fig.4.7).



**FIG. 4.7 Equipo utilizado para la calibración del sonar**

Los resultados que se obtuvieron en la calibración del sonar, sin amplificador y sin filtro, se encontró que a partir de los primeros 20 cm obtenemos una mejor línea de respuesta, la señal es más estable y presenta un haz ultrasónico de alta calidad, En el Cuadro 4.4 se muestran las distancias Vs mili volts que se utilizaron para generar la ecuación de calibración.

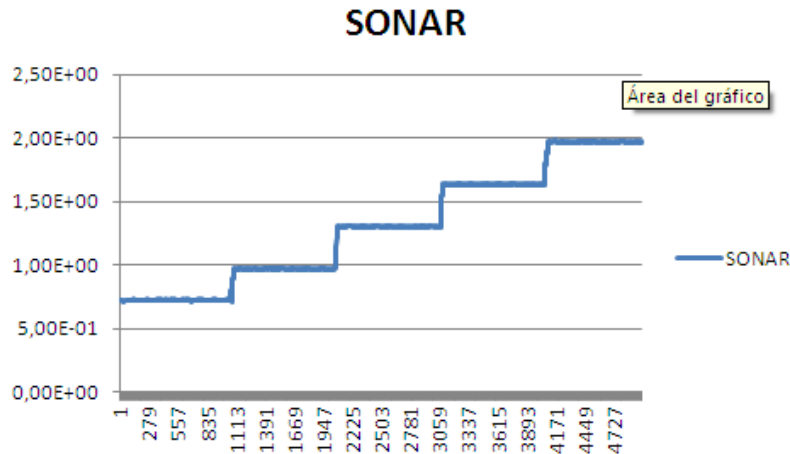
**CUADRO 4.4 Tabla de calibración del sonar, distancias Vs mili volts**

DISTANCIA (cm)	VOLTAJE (mV)
0	0
5	10
10	30
15	50
20	70
25	90
30	109
35	129
40	149

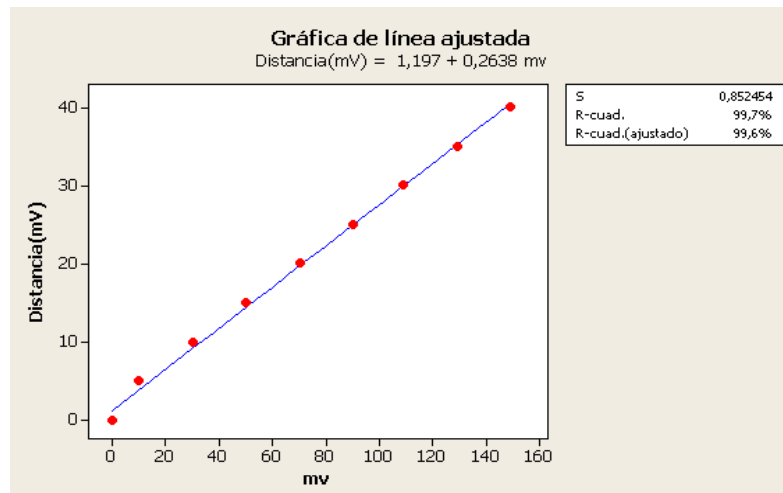
**CUADRO 4.5 Análisis de varianza para las calibraciones del sonar LV-MaxSonar-EZ1**

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	1854.19	1854.19	2551.59	0.000
Error	8	5.81	00.73		
Total	9	1860.00			

Para las calibraciones del sonar se realizaron 5 repeticiones esto para determinar la nitidez de la señal del sonar y comprobar su confiabilidad para posteriormente armarlo en un circuito integrado y realizar las pruebas de campo. Figura 4.6



**FIG 4.8 Gráfica de calibración para el sonar**

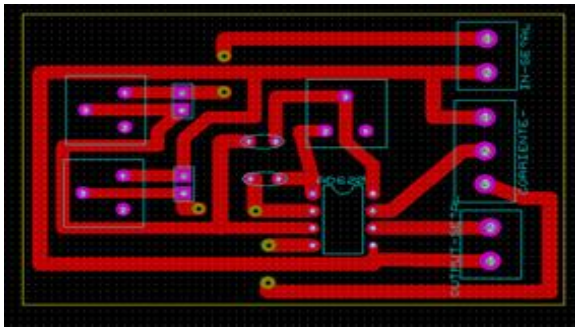


**FIG. 4.9 Gráfica de ecuación de respuesta para sonar.**

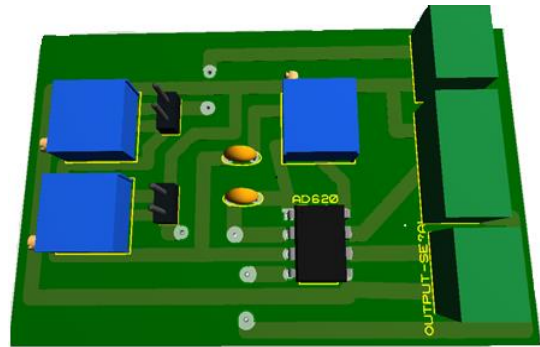
Se realizaron 5 corridas para la calibración del sonar a las mismas distancias e igual número de datos, todos los registros se analizaron en el programa de DaqView para posteriormente obtener una gráfica de línea ajustada como se muestra en la figura 4.8. Las calibraciones fueron hechas con el sonar.

#### 4.5 Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del amplificador AD620

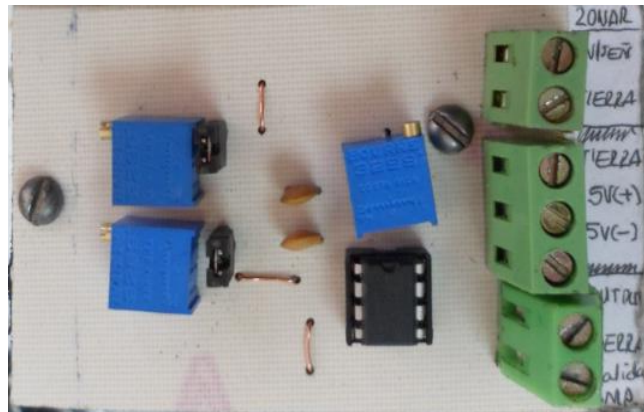
Para realizar las pruebas de funcionamiento del amplificador y sonar se construyó un circuito electrónico el cual se muestra en la Figura 4.1, fue elaborado en Ares 7.8 profesional, se muestra el diagrama esquemático (a), el diagrama en 3D (b), y el diagrama real (c) del amplificador AD620 y del filtro de señal con los componentes respectivos.



(a)



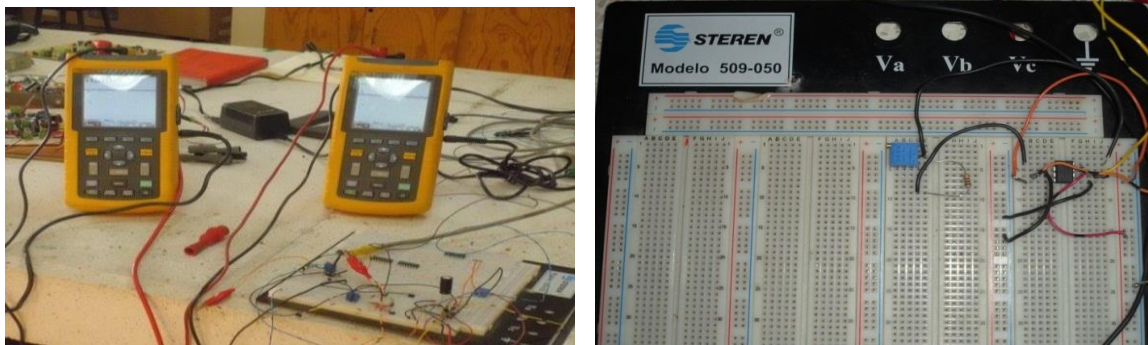
(b)



(c)

Para esta prueba se montó el amplificador en el circuito diseñado y siguiendo la hoja de datos del AD620, como se muestra en anexo 7.1 y posteriormente se realizó la prueba para demostrar que el amplificador funciona correctamente a

continuación se muestra el armado del amplificador y los instrumentos utilizados para las pruebas realizadas. Ver figura 4.9



**FIG. 4.10** Equipo utilizado para las pruebas del AD620.

Las pruebas que se realizaron fueron a una ganancia de 10 veces el voltaje de entrada, la calibración para la ganancia del amplificador se realizó por medio de un divisor de potencia con una resistencia fija y una variable, además se utilizaron osciloscopios para la lectura de los datos y posteriormente se grabaron los datos en la computadora por medio del DaqBook/2000 y el programa DaqView 9.1.27.

En el cuadro 4.5 se muestra el análisis de varianza de la línea de respuesta del amplificador AD620 mostrando una linealidad con una correlación del 99.7%. En el cuadro 4.6 se muestra la tabla de valores para la calibración del sonar así como también se muestra en forma gráfica la ecuación de la línea ajustada donde la constante es de 26 mV. Ver figura 4.10

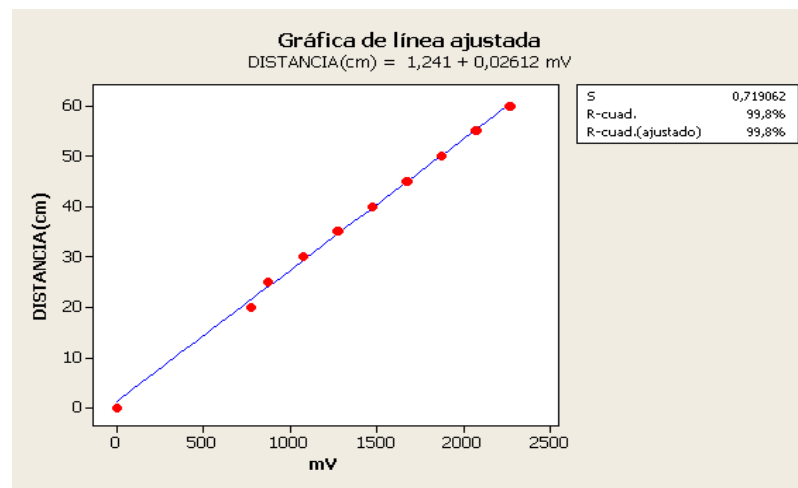
**CUADRO 4.6** Analisis de varianza para el sonar mas amplificador AD620 con una ganancia de 10 veces el voltaje de entrada

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Regresión	1	1496.10	1496.10	2686.19	0.000
Error	7	3.90	0.56		
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>1500.00</b>			

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

**CUADRO 4.7** *Tabla de calibraciones de distancias Vs milivolts.*

<b>DISTANCIA (cm)</b>	<b>VOLTAJE (mV)</b>
<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5</b>	<b>772</b>
<b>10</b>	<b>873</b>
<b>15</b>	<b>1072</b>
<b>20</b>	<b>1272</b>
<b>25</b>	<b>1475</b>
<b>30</b>	<b>1673</b>
<b>35</b>	<b>1868</b>
<b>40</b>	<b>2069</b>

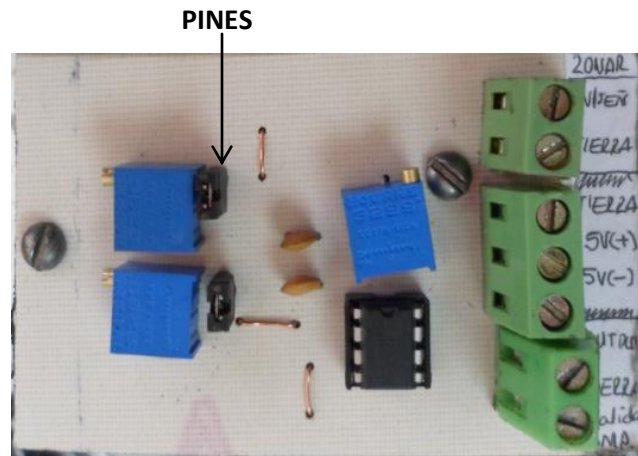


**FIG. 4.11** *Gráfica de línea ajustada para la calibración del sonar más amplificador*

#### **4.5.1 Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del amplificador AD620 como filtro.**

Se probó el amplificador AD620 como filtro utilizando el circuito y colocando dos pines con ayuda de dos resistencias, se utilizó un capacitor 151(150pF) y distintos valores de resistencias los cuales se modificaron con la ayuda de dos potenciómetros un 103 y 102 conectados como se muestran en la Figura 4.11





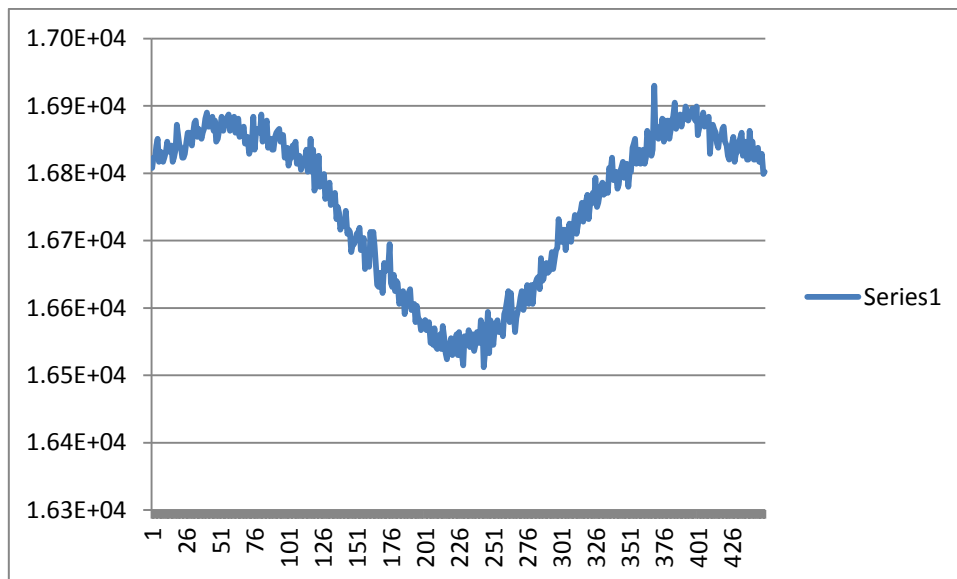
**FIG. 4.12** Conexión del amplificador AD620 utilizado como filtro

En el cuadro 4.8 se muestra los resultados obtenidos del análisis de los capacitores y las resistencias así como del tipo de señal que estos arrojan.

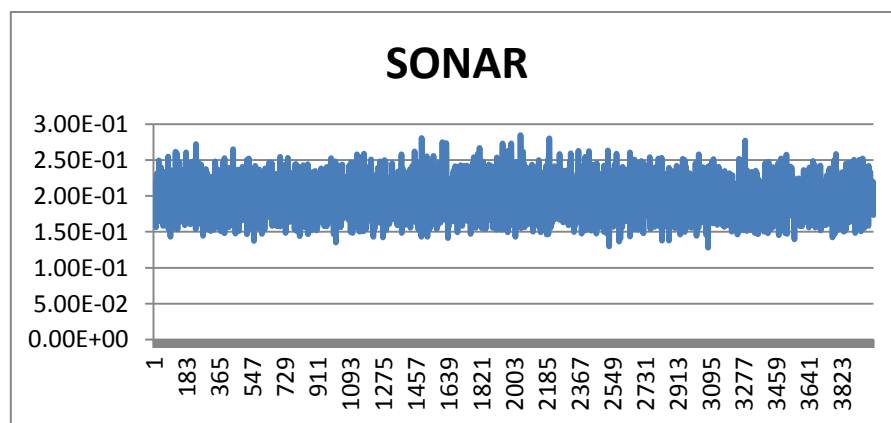
**CUADRO 4.8** Resultados de laboratorio para las pruebas de resistencias y capacitores

CAPACITOR	RESISTENCIA	TIPO DE
pF	OHM	ONDA
150 (151)	26.5M	CUADRADA
150 (151)	17M	CUADRADA
150 (151)	9.5M	CUADRADA
150 (151)	1M	SENOSOIDAL
150 (151)	750K	SENOSOIDAL
150 (151)	500K	SENOSOIDAL
150 (151)	250K	SENOSOIDAL
150 (151)	100K	ESTABLE
150 (151)	75K	ESTABLE
150 (151)	50K	ESTABLE
150 (151)	25K	ESTABLE
150 (151)	1000OHM	LINEAL
150 (151)	750OHM	LINEAL
150 (151)	500OHM	LINEAL
150 (151)	250OHM	LINEAL
150 (151)	100OHM	LINEAL
150 (151)	75OHM	LINEAL
150 (151)	50OHM	LINEAL
150 (151)	25OHM	LINEAL

Después de obtener los resultados de las resistencias se muestra claramente que con resistencias muy altas se obtienen ondas sinusoidales (fig. 4.12). y con resistencias menores se obtiene mejor linealidad, por lo que se seleccionó el capacitor 151 pF y una resistencia de 500  $\Omega$  ajustada con un potenciómetro 102 (1K), ya que como se muestra en la figura 4.13 se obtuvo una mejor linealidad de la señal.



**FIG. 4.13 Onda sinusoidal obtenida con la resistencia de 1 M $\Omega$**



**FIG. 4.14 Onda lineal obtenida con la resistencia de 500  $\Omega$**

#### 4.5.2 Resultados de las pruebas realizadas para la evaluación del porcentaje de ruido de las señales de amplificador AD620.

Después de obtener las evaluaciones del amplificador como filtro AD620 se realizaron los cálculos del porcentaje de ruido para cada señal. La fórmula para calcular el porcentaje de ruido se muestra en la ecuación 4.1

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

$$\%Ruido = \frac{ValorMáximo - ValorMínimo}{Media} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

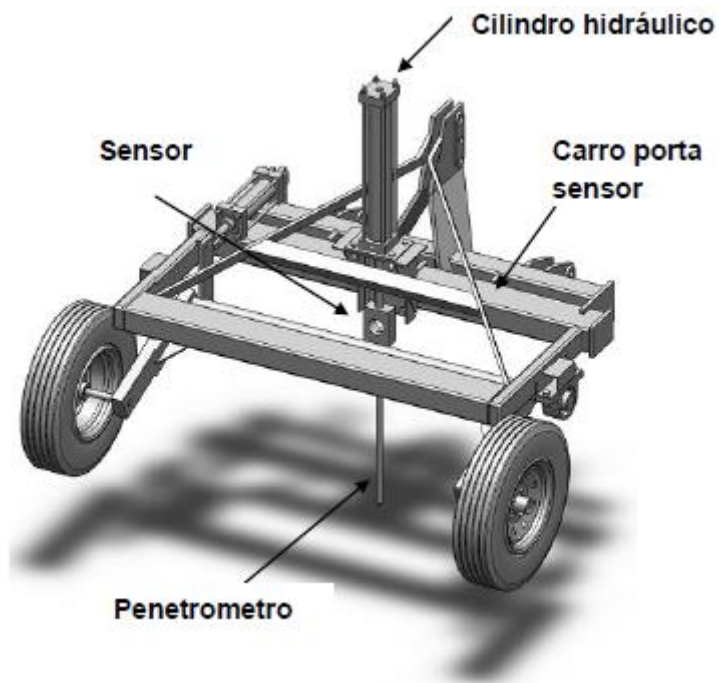
En el cuadro 4.8 se muestran el porcentaje de ruido obtenida durante las pruebas para las señales del sonar LV-MaxSonar-EZ1, para el sonar con amplificador y para el sonar con filtro.

**CUADRO 4.9** Porcentajes de ruido para el sonar con sus diferentes configuraciones.

	V. ENTRADA sonar	%DE RUIDO	V. SALIDA amplificador	% DE RUIDO	V. SALIDA filtro	% DE RUIDO
<b>MEDIA</b>	0.0839		0.804		0.804	
<b>V. MAX</b>	0.0901	<b>12.36</b>	0.814	<b>2.04</b>	0.812	<b>1.85</b>
<b>V. MIN</b>	0.0798		0.798		0.797	

#### 4.6 Resultados de la evaluación de sensores en campo

En la figura (4.14), se muestra el carro-portasensores utilizado y herramienta del sensor de resistencia a la penetración con capacidad de 10 KN.



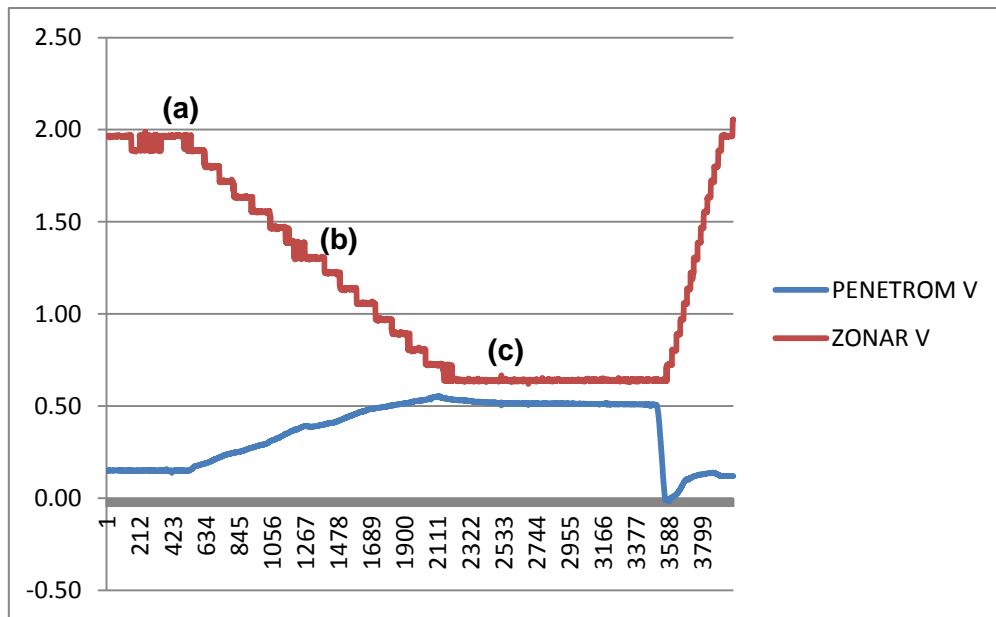
**FIGURA 4.15** Diseño del carro porta sensores con dimensiones en 3D con la herramienta del sensor (ring) y penetrómetro. En SolidWorks Premium 2010.

En la figura (4.16), se muestran la colocación de los sensores en campo para la toma de datos.



**FIG. 4.16 Evaluación en campo para determinar la resistencia a la penetración a diferentes profundidades.**

En la figura (4.17) se muestra los resultados de las gráficas obtenidas bajo condiciones de campo, donde se observa claramente la fuerza en mV de la resistencia y la distancia de penetración obtenida por el sensor sonar y el penetrometro. En el inciso (a) se observa cuando la sonda aún no ha penetrado el suelo y la señal del sonar de color rojo está estable junto con la señal del penetrometro de color azul. En el inciso (b) la sonda ya va penetrando el suelo y está mandando señal el sonar junto con la señal del penetrometro comienza a registrar el esfuerzo a la que está siendo penetrado el suelo. En el inciso (c) las señales del sonar y del penetrometro se estabilizan esto debido a que el carroportasensores se levantó encontrando capas compactas.



**FIGURA 4.17 Resultados de las gráficas de datos obtenidos en campos donde se determinó la fuerza y profundidad de las capas compactas.**

En el cuadro 4.9 se observa los valores en MPa y la profundidad que se obtuvo para cada punto de muestreo en campo. El cálculo completo de los datos se muestra en el anexo 7.5, donde se hace el cálculo analítico de los valores necesario para la obtención de los MPa.

**Cuadro 4.10** *Resultados de campo para la resistencia a la penetración y profundidad de la capa compacta*

<b>Punto</b>	<b>KPa</b>	<b>Profundidad(cm)</b>
1	0.00132	32.5
2	0.00207	30.42
3	0.00273	32.24
4	0.00376	30.16
5	0.00348	30.16
6	0.00367	28.08
7	0.00094	32.24
8	0.00179	34.58
9	0.00198	34.58
10	0.00188	30.16
11	0.00376	23.66
12	0.00348	25.48
13	0.00339	34.32
14	0.00254	31.98
15	0.00264	32.24

#### **4.6 Resultados de la generación de mapas de diagnóstico de capas compactas**

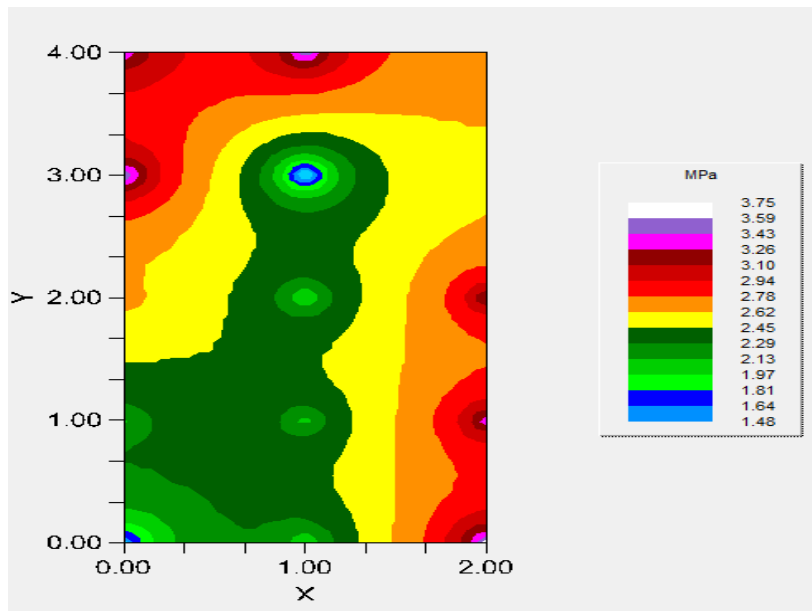
##### **4.6.1 Resultado del mapa de diagnóstico de capas compactas con GS+**

En el cuadro 4.10 se muestran los resultados de campo en MPa los cuales se utilizaron para la generación de los mapas.

**Cuadro 4.11** resultados de campo de la generación de mapas de diagnóstico.

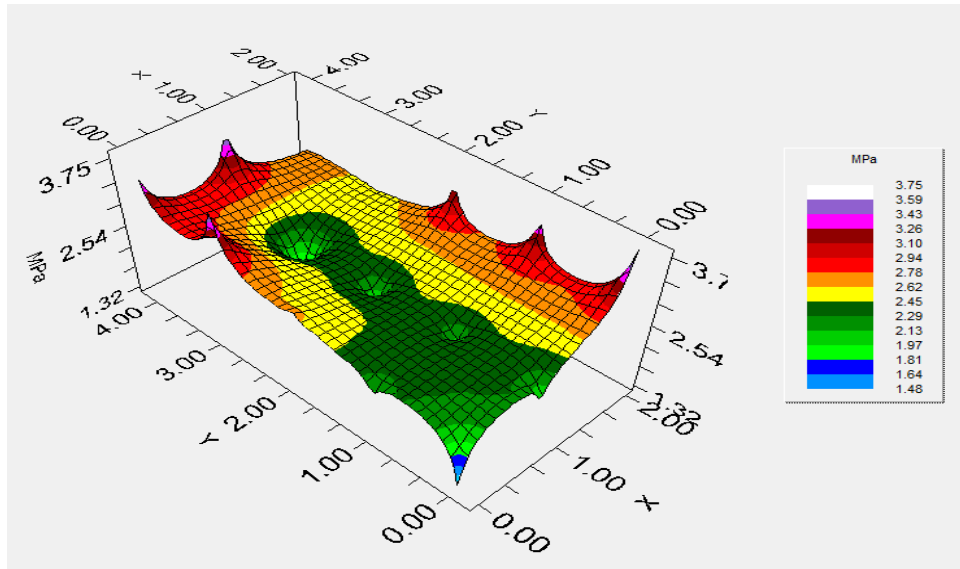
Punto	Mpa	Prof.(cm)	Punto	Mpa	Prof.(cm)	Punto	Mpa	Prof.(cm)
0,0	1.32	32.5	1,0	3.67	28.08	2,0	3.76	23.66
0,1	2.07	30.42	1,1	0.94	32.24	2,1	3.48	25.48
0,2	2.73	32.24	1,2	1.79	34.58	2,2	3.39	34.32
0,3	3.76	30.16	1,3	1.98	34.58	2,3	2.54	31.98
0,4	3.48	30.16	1,4	1.88	30.16	2,4	2.64	32.24

En la figura 4.18 se muestra la generación del mapa óptimo, donde al realizar la interpolación se obtuvo en X=40 y en Y= 82 puntos, y se aprecia que el valor mínimo de resistencia a la penetración fue de 1.48 Mpa, y el valor máximo de resistencia a la penetración fue de 3.75 MPa a una profundidad de entre 20 y 40 cm



**FIG. 4.18** Mapa 2D de fuerzas de resistencia a la penetración

En la figura 4.19 se muestra el mapa de resistencia a la penetración datos obtenidos en campo mostrado en 3D.



**FIG. 4.19 Mapa de resistencia a la penetración en 3D**

Las fuerzas máximas de compactación se encontraron a 3.75 Mpa lo cual nos significa que a estas profundidades el suelo no ha sido laborado y necesita más labores de labranza para poder disminuir la compactación del suelo. 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.

#### **4.6.2 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 generó un mapa de diagnóstico y se hizo una interpolación en ArcView donde se muestran los puntos de muestreo y los MPa que se registraron en cada punto de prueba. Ver figura 4.20



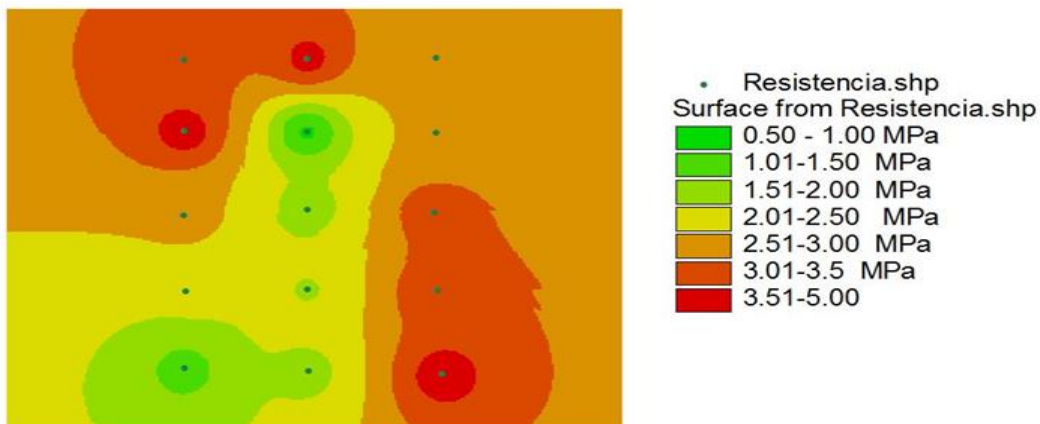
3.48	3.67	2.64
3.76	0.94	2.54
2.73	1.79	3.39
2.07	1.98	3.48
1.32	1.88	3.76

**FIG 4.20 Resultado en MPa por cada punto muestreado.**

Se generó un mapa en ArcView como se muestra en la figura 4.21 en la cual se puede observar los 15 puntos de muestra que se hicieron y los valores en MPa que en cada punto se obtuvo, en nuestros puntos de muestreo obtuvimos valores mínimos de 0.94 MPa y valores máximos de 3.76 MPa.

Claramente se observa que ambos mapas cumplen con un mismo rango de interpolación al realizar las comparaciones. Por lo que para la generación de mapas de diagnóstico se tiene una alta confiabilidad.

### Generacion de mapa en ArcView



**FIG. 4.21 Mapa de ArcView**

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se lograron los objetivos específicos planteados en el presente trabajo se terminó otra fase del proyecto **“DESARROLLO DE EQUIPOS, SENSORES E INSTRUMENTOS PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y LABRANZA DE CONSERVACIÓN”** los cuales fueron:

1. Se desarrolló 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 N/mv y alta confiabilidad con coeficientes de correlación de más del 99.6%.
2. Se acondicionó el sensor de resistencia a la penetración y sonar donde se construyó el circuito para la integración de la señal del sonar y el amplificador AD620 configurado como filtro para medir profundidades 0-40cm. Donde se muestra una constante de 26 cm/mV con un coeficiente de correlación de 99.6% para el amplificador a una ganancia de 10.
3. En la medición del % de ruido se tienen mediciones de 1.85% en la salida del AD620 configurado como filtro, lo cual brinda una alta confiabilidad en la medición de la distancia de penetración.
4. 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.

## 5.2 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos existe una alta confiabilidad de los datos para medir la resistencia a la penetración, sin embargo se tiene que afinar el circuito para medir la distancia de penetración bajo condiciones de campo para lo cual se recomienda lo siguiente:

1. Para obtener una mejor curva de respuesta y reducir el % de ruido hasta en 1% para la distancia de penetración se requieren colocar otro amplificador de instrumentación AD620 en serie.
2. Se requiere colocar una lámina reflectora más grande para la señal del sonar para tener una mejor nitidez de la señal de distancia de penetración.
3. La recomendación para la generación de mapas de diagnóstico es de realizar un mapa de profundidades de localización de capas compactas en rangos de 5 cm a partir de la profundidad de 20 cm hasta alcanzar la profundidad de 40 cm.
4. Investigar las curvas de impedimento mecánico de desarrollo de raíces para cultivos de granos como maíz, frijol, sorgo, avenas etc.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Adriaanse, A. 1993. Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- ✚ AGCO. 2005. <http://www.fieldstar.com/agco/FieldStar/FieldStarUK/System/DataCollection.htm>
- ✚ Andrade Sánchez Pedro. (2005) Construcción de un bastidor porta-sensores para medir el estado físico-mecánico del suelo. XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz Ver. México.
- ✚ Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- ✚ Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36: 605-620.
- ✚ Bolstad, P. (2005) GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition. White Bear Lake, MN: Eider Press, 543 pp.
- ✚ Bongiovanni, R.; Mantovani, E. C.; Best,S.; Roel, A (Ed.). 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable.
- ✚ Bongiovanni, Rodolfo. 2003, la agricultura de precisión en la cosecha, Proyecto Agricultura de Precisión – INTA, Manfredi, Argentina.
- ✚ Bragachini M; Andrés Méndez y Fernando Scaramuzza. 2004. Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS y una prescripción con sembradora IOM Inteligente Mega de 12 surcos a 52,5 cm.
- ✚ Bullock, D. S., Swinton, S., and J. Lowenberg-DeBoer. 2002. "Can Precision Agricultural Technology Pay For Itself? The Complementarity of Precision

- Agriculture Technology and Information.” Forthcoming in Agricultural Economics, published by the International Association of Ag Econ.
- ✚ Bassuk, N. y Whitlow T.1985. Evaluating Street Tree Microclimates in New York City. In: Kuhns, L.G. and Patterson, J.C. eds. METRIA 5: Selecting and Preparing Sites for Urban Trees.US Forest Service, NE Area. 18-27.
  - ✚ Campos Magaña, S. G.; Brian Wills; 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.
  - ✚ Campos Magaña, S.G.1993. Development of minimum maize plante for Mexican agriculture. Unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
  - ✚ Coughlin, Robert F. Driscoll, Frederick F. 1993. Amplificadores operacionales y circuitos integrados, primera edición, Prentice-Hall, México D.F.
  - ✚ Cooper D. William, Helfrick D. Albert, Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Me-dición, pág. 101, (1991).
  - ✚ Casanova, E. O. 1991. Introducción a la Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV. C.D.C.H.T. Litopar, C.A.
  - ✚ Campos, M. S.; Aragón, R. A.; Cadena, Z. M. 2000. Diseño y comportamiento de tres Transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA.
  - ✚ Campos Magaña, S.G.1993. Development of minimum maize plante for Mexican agriculture. Unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
  - ✚ Convertidor analógico digital DAQ BOOK 200/2000. <http://www.iotech.com.mx>.
  - ✚ Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En Soil

quality for crop production and ecosystem health

- # Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- # De León González, F.1, Payán Zelaya, F. y S. Sánchez R. Localización de las capas compactadas en el perfil del suelo mediante la penetrometría. Identification of soil Compacted Layers Using a Cone Digital Penetrometer <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/4/art303-307.pdf>
- # Dávila Rene, 2010. la agricultura de precisión, la innovación en el campo, journalmex, México, México.
- # E.W.Rusell. (1961-1963). Rusell's Soil Conditions and Plant Growth, Eleventh Edition.
- # Edward E. Simmons y Arthur C. Ruge en 1938. La galga extensiométrica hace una lectura directa de deformaciones longitudinales en cierto punto del material que se esta analizando.
- # Flamand Rodríguez C. L. 1995. Introducción a la Mecánica de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural, Dpto. de Publicaciones.
- # FAO 2009, Mas de 60 años de cooperación. 1945 – 2009 Agroanálisis AC, México, México.
- # Foster, R. y Blaine J. 1978. Urban tree survival: Trees in the sidewalk. J. Arboriculture 4:14-17.
- # Gill, W.R., A.C Bailey, and C.A. Reaves. 1982. Harrow disk curvature. Influence on soil penetration. Trans. ASAE 25:1180-1180.
- # Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dinamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. Agric. Engng. Res. 55:189-205.
- # Gallegos Ramírez José Manuel (2004) Diseño y Evaluación de un Software Para Micro controladores PIC, para la digitalización de la señal de un Penetrómetro.
- # Gavande, S.A. 1973. Física de Suelos; Principios y Aplicaciones. Editorial

Limusa – Wiley, S.A. México.

- # Grabosky, J. y Bassuk, N. 1995. A new urban tree soil to safely increase rooting volumes under sidewalks. *J. Arboticulture*. 21(4): 187-201.
- # Godwin, R J and M.J. O'Dogherty, 2007. Integrated soil tillage prediction models. *Journal of Terramechanics*. 44(1); 3-14
- # González, O. J.; Ibarra, E.; Rangel N. J.; y Auvinet, G. 2004. Caracterización geotécnica superficial mediante ensayos con cono dinámico manual. Instituto de Ingeniería, UNAM (artículo). 7p
- # 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*, 13(6), 879-884.
- # Hinojosa García Manuel (2003) Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II Basado en el diseño Octagonal extendido. Tesis de licenciatura sin publicar. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.
- # Jesiotr Valeria, Ezequiel Bernatene, Emilio Winograd. 2005, Filtros pasivos y activos Laboratorio de electrónica, Departamento de Física, FCEyN, UBA.
- # [kms.progapinia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=433](http://kms.progapinia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=433) - 24k
- # Doerge T.A. (1999). Agricultura de Precisión y Manejo Sitio Específico.
- # Khosla, R; K Fleming; JA Delgado; TM Shaver & DG Westfall. 2002. Use of site-specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture. *J. Soil Water Conserv.* 57: 513-518.
- # Kepner, R.A., Bainer, R. y Barger, E.L. 1978. Chisel-type and multipowered tillage implements. En: *Principles of machinery*. 2. ed., Kepner, R.A.; Bainer, R.; Barger, E.L. Westport: AVI. 203 p
- # López L. Juan A. 2012, Evaluación de un sensor de permisividad eléctrica para agricultura de precisión. Tesis; Ingeniero Mecánico Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). División de Ingeniería; Departamento de Maquinaria Agrícola. Saltillo, Coahuila, México.
- # Liu, I. W. y Waldron L. J. 1988. Root growth in coarse-textured soil under

controlled confining pressure and matrix potential. *Ann. Mtg. SSSA*.

- ✚ Larson, W.E. y Pierce, F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. En *Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*, Chiang Rai. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage. Bangkok, Thailand.
- ✚ Marín Omaña Leticia. (2003) *Desarrollo de un Transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II*. “Basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y Torsionantes”. Tesis de licenciatura sin publicar. Departamento de maquinaria agrícola. UAAAN Buena vista, Saltillo; Coahuila, México.
- ✚ Mojica, L. E. D. 2000. *Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal*, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México
- ✚ Materechera, S.A.; Dexter A.R, Y Alston, A.M.. 1991. Penetration of very strong soils by seedlings roots of different plant species. *Plant and Soil* 135: 31-41.
- ✚ Norton G. W and S.M Swinton. 2001. Precision agriculture: Global prospects and environmental implications. Forthcoming in G.H Peters and P. Pingali, eds. *Tomorrow's Agriculture: Incentives, institutions, infrastructure and innovations: proceeding of the 24th international conference of agricultural Economits*, 200. Lond: Ashgate
- ✚ Ortiz, M. M., Anaya, M. y J. W. Estrada-Berg. 1994. *Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra*. Colegio de Posgraduados- Universidad Autónoma Chapingo y Comisión Nacional de Zonas Áridas. 161 pp.
- ✚ Patterson, J *Soil Compaction-effects on urban vegetation*. *Arboriculture J*. 1977.
- ✚ Patterson, J; Murray, J Y Short, J. 1980. *The Impact of Urban Soils on Vegetation*. *Proceedings of the third conference of the Metropolitan Tree*



improvement Alliance (METRIA). 3: 33-56.

- ✚ Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. J. Soil Water Conservation 50: 229-236.
- ✚ Sheppard, et al., (1992), Doran y Parkin (1994), Karlen et al. (1997) y Singer y Ewing (2000), los componentes principales de la calidad del suelo son: i) producción sustentable, ii) calidad ambiental y iii) salud humana y animal.
- ✚ SQI. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA.

<http://alvarezolmedountrefmaestria.wordpress.com>

[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD620.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf)

<http://books.google.com.mx/books?id=xiX1XrhOKMC&pg=PA237&dq=impedancia+russell&hl>

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19340/4/tesis%20segunda%20parte.pdf>

[http://www.dte.us.es/ing\\_inf/ins\\_elec/temario/Tema%201.%20Amplificadores%20Operacionales.pdf](http://www.dte.us.es/ing_inf/ins_elec/temario/Tema%201.%20Amplificadores%20Operacionales.pdf)

[http://wapp.corfo.cl/ticrural/descargas/I+D+I\\_3\\_TECNOLOGIAS\\_AGRICULTURA\\_PRECISION.pdf](http://wapp.corfo.cl/ticrural/descargas/I+D+I_3_TECNOLOGIAS_AGRICULTURA_PRECISION.pdf)

<http://umoar.edu.sv/biblio/agricultura/cultivando/agricultura%20de%20precision%20en%20la%20cosecha.pdf>

## **VII. ANEXOS**

# ANEXO 7.1 Hoja de datos del amplificador de instrumentación 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 ( $\pm 2.3$  V to  $\pm 18$  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  $\mu$ V max, Input Offset Voltage

0.6  $\mu$ 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  $\mu$ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

##### EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ( $G = 100$ )

15  $\mu$ 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

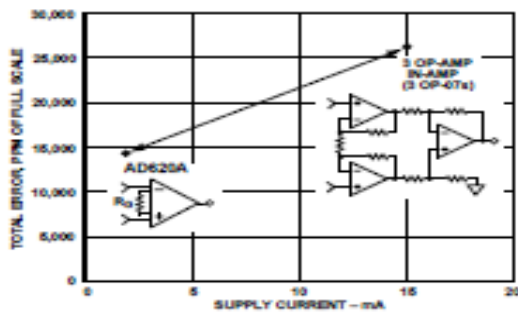
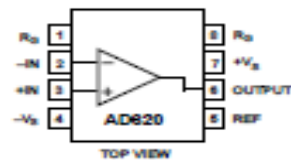


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

#### 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  $\mu$ V max and offset drift of 0.6  $\mu$ 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 Super $\beta$ eta 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  $\mu$ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15  $\mu$ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

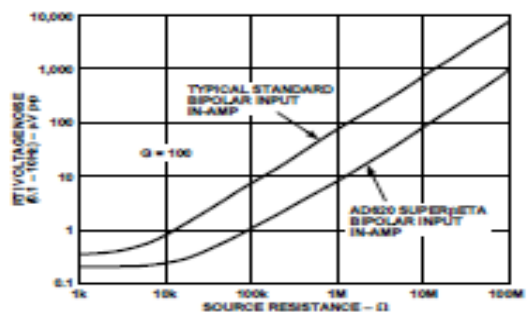


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

#### 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 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1995

### 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  $R_I$ , which converts it to a current. This current, less only, the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

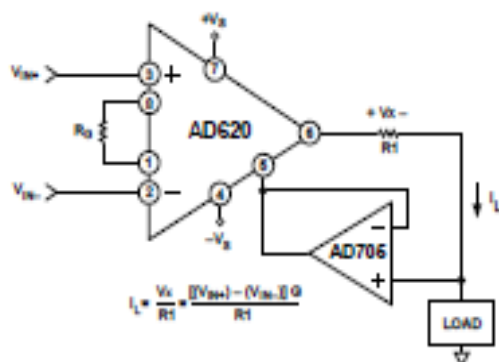


Figure 37. Precision Voltage-to-Current Converter (Operates on 1.8 mA,  $\pm 3$  V)

### 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 $R_G$ , $\Omega$	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of $R_G$ , $\Omega$	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 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  $\Omega$  of series thin film resistance at its inputs, and will safely withstand input overloads of up to  $\pm 15$  V or  $\pm 60$  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 ( $I_{IN} \leq V_{IN}/400 \Omega$ ). 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  $f \geq$  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.

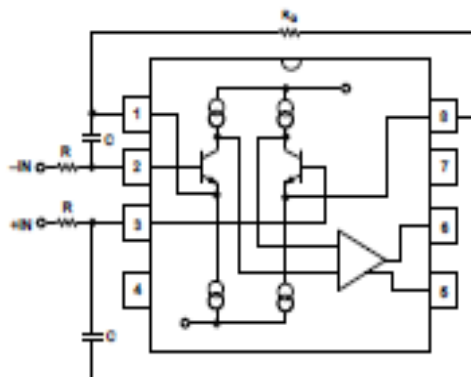


Figure 38. Circuit to Attenuate RF Interference

## ANEXO 7.2 Hoja de datos del sonar LV-MaxSonar-EZ1

Ingeniería de Microsistemas Programados S.L.  
Aida. Mazarredo Nº 47 –1º Dpto 2  
49009 Bilbao – Vizcaya (Spain)  
Tfno/Fax: 94 4230651  
[www.microcontroladores.com](http://www.microcontroladores.com)  
[info@microcontroladores.com](mailto:info@microcontroladores.com)



### 1.- DESCRIPCIÓN

El MaxSonar-EZ1 es el s3n3n3r m3s peque3o y de menos consumo del mercado. Ver la figura 1. Es capaz de detectar objetos desde 0 hasta 254 pulgadas (0 a 6.45 metros) y proporcionar una informaci3n de salida de la distancia medida en el rango de 6 a 254 pulgadas con una resoluci3n de 1". Los objetos u obst3culos presentes a una distancia inferior a 6" proporcionan una lectura m3nima de 6". La distancia medida se ofrece en tres formatos de salida: anchura de pulso, tensi3n anal3gica y salida digital en serie. Gracias a estos tres formatos de salida el s3n3n3r MaxSonar-EZ1 se puede conectarse con cualquier sistema basado en microcontrolador de una f3cil y flexible.



### 2.- CARACTERÍSTICAS

- Ganancia variable continua para el control del haz ultras3nico y supresi3n de la dispersi3n.
- Permite detectar objetos con una distancia inferior a 6"
- Alimentaci3n 3nica de +5Vcc con un consumo de 2mA
- Se pueden realizar hasta 20 medidas por segundo (50mS por cada medida).
- Las medidas y salida de informaci3n se puede realizar de forma continua.
- Se puede emplear una se3al externa para iniciar / detener cada nuevo ciclo.
- Formato de salida con protocolo serie de 0 a 5V con 9600 baudios, 8 bits, sin paridad y 1 bit de stop.
- Formato de salida mediante tensi3n anal3gica (10mV/pulgada).
- Formato de salida mediante anchura de pulso (147µS/pulgada).
- Todos los formatos de salida de informaci3n est3 activos simult3neamente y se puede emplear cualquiera de ellos en todo momento.
- Dise3ado para trabajar en interiores.
- Los transductores ultras3nicos trabajan a 42KHz

### 3.- VENTAJAS

- S3n3n3r de muy bajo coste.
- Ocupa la mitad de espacio que otros dispositivos de su categor3a.
- Virtualmente no presenta zonas muertas.
- Haz ultras3nico de alta calidad.
- Circuito impreso con orificios para el montaje.
- Consumo muy reducido. Ideal para aplicaciones y sistemas alimentados con bater3as.
- Cada ciclo de medida se puede disparar e iniciar interna o externamente.
- Los formatos de salida son de lectura directa y no es necesario circuiter3a auxiliar.
- Ciclos r3pidos de cada medida.
- Los formatos de salida con la medida de distancia se pueden emplear simult3neamente.

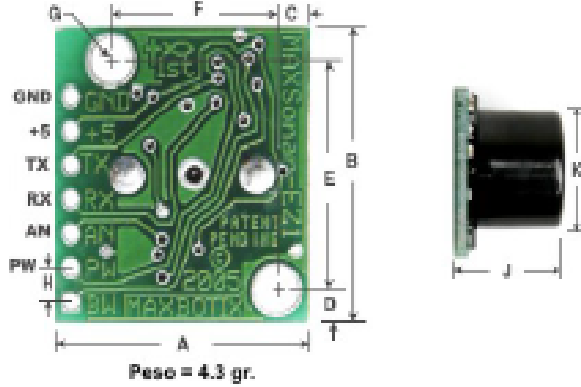
### 4.- DESCRIPCIÓN DE TIEMPOS

250mS despu3s de conectar la alimentaci3n el MaxSonar-EZ1 est3 listo para aceptar la se3al RX. Si est3 a nivel "1" se ejecuta un ciclo de calibraci3n que dura 49mS y seguidamente comienzan los ciclos de trabajo. Estos consisten en realizar una medida y transmitir la distancia por los tres m3todos disponibles: salida serie por TX, salida anal3gica por AN y salida de pulso por PW. Cada ciclo de trabajo consume 49mS, por lo que el primer ciclo v3lido tras conectar la alimentaci3n se produce al de 100mS.

Cada ciclo de trabajo de 49mS comienza chequeando el estado de RX. Si est3 a "0" se da por finalizado ese ciclo. A continuaci3n se transmite una se3al ultras3nica de 42KHz y la se3al PW se pone a "1". Cuando se detecta un obst3culo PW se pone a "0". Si el tiempo en que esta se3al permanece a "1" es superior a 37.5mS significa que no se ha detectado obst3culo alguno. Durante los siguientes 4.7mS se transmite en serie el valor de

la medida realizada. El resto del tiempo hasta llegar a los 49mS que dura el ciclo se emplea para ajustar la tensión analógica en AN a su nivel apropiado.

**5. DIMENSIONES Y CONEXIONADO**



Peso = 4.3 gr.

A	0.785"	19.9 mm	F	0.510"	12.8 mm
B	0.870"	22.1 mm	G	0.124" dia	3.1 mm dia
C	0.100"	2.54 mm	H	0.100"	2.54 mm
D	0.100"	2.54 mm	J	0.645"	16.4 mm
E	0.870"	17.0 mm	K	0.610"	15.5 mm

Se muestra en la figura 2. La tabla adjunta presenta las medidas de las diferentes cuotas expresadas en pulgadas y en milímetros. También se indica que el peso aproximado es de unos 4.3 gr. Según la figura, en el lado izquierdo de la tarjeta impresa vista por el lado de la soldadura, figuran las conexiones disponibles. Son siete y se explican a continuación. Las conexiones se pueden realizar soldando los cables necesarios directamente o bien poniendo algún tipo de tira de pines macho o hembra que permitan conectar o desconectar rápidamente el módulo del circuito de aplicación.

SEÑAL	DESCRIPCIÓN
GND	Señal tierra de alimentación.
+5V	Señal positiva de alimentación de +5V y 3mA de intensidad
TX	Transmite vía serie el resultado de la distancia medida. La transmisión se realiza en formato RS232 excepto que los voltajes de salida son de 0-5V. Se transmiten 5 bytes por cada medida realizada. Empezla con el carácter ASCII "R", continua con tres caracteres ASCII con los dígitos de la medida propiamente dicha y comprendido entre 006 y 254 y finaliza con el código de retorno de carro (0x0D). La velocidad es de 9600 baudios, con 8 bits de datos, sin paridad y un bit de stop. Si se desea una comunicación RS232 estándar esta señal debe ser invertida y aplicada a un convertidor de niveles como puede ser el MAX232. En este caso podemos conectar directamente el sónar con el canal serie de un PC. Mediante un software de comunicaciones como puede ser el "Hyperterminal" de Windows, podemos visualizar de forma rápida y sencilla las distancias medidas (siempre en pulgadas).
RX	Este pin está permanentemente a nivel "1" mediante una resistencia "pull-Up" interna. En estas condiciones el sónar está realizando medidas de forma continua y transmitiendo la distancia. Sin embargo esta señal se puede emplear para controlar externamente el inicio de una nueva medida. Efectivamente, cuando se pone a "0" el sistema está detenido. Poniéndola a nivel "1" o simplemente al conectar, se inicia una nueva medida.
AN	Salida analógica de tensión comprendida entre 0 y 2.55 V que representa el valor de la distancia medida. El factor empleado es de 10mV/pulgada.
PW	Este pin proporciona un pulso de salida cuya duración determina la distancia medida. La distancia se puede calcular usando el facto de 147µS/pulgada.
BW	N.C Reservada, no se debe conectar.

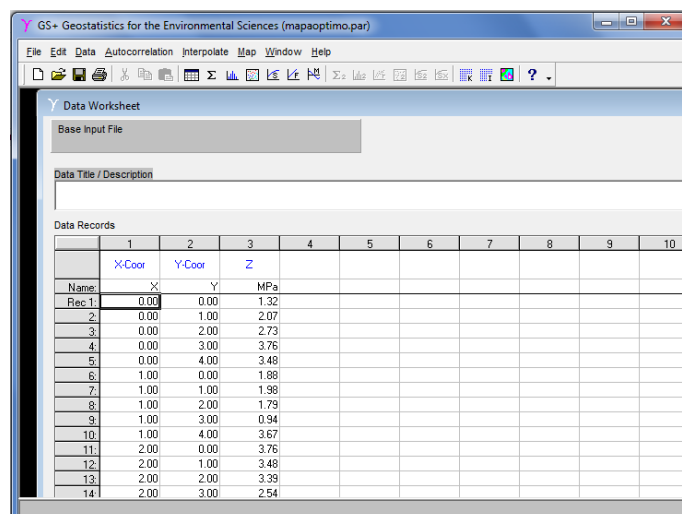
## ANEXO 7.3 Secuencia para realización del mapeo en el programa **GS+** Versión 9 para MPa.

- Una vez abierto el programa capturamos los datos dentro de las celdas o también podemos copiar los datos desde EXEL y pegamos en el programa.

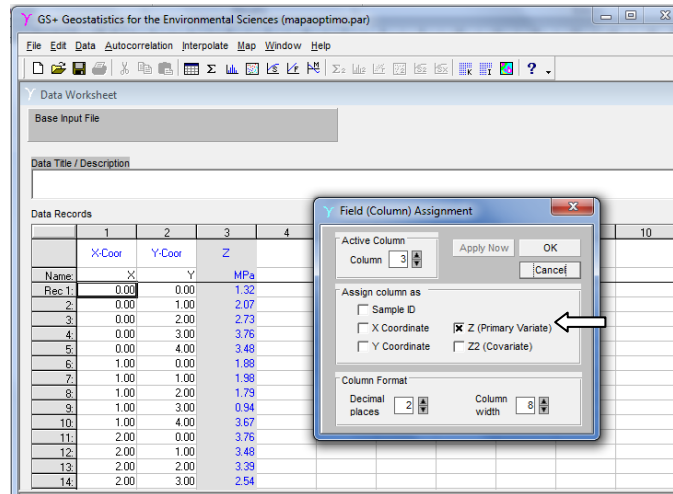
### Cuadro de datos de puntos muestreados con profundidades y MPa obtenidos

X	Y	MPa
0	0	1.32
0	1	2.07
0	2	2.73
0	3	3.76
0	4	3.48
1	0	1.88
1	1	1.98
1	2	1.79
1	3	0.94
1	4	3.67
2	0	3.76
2	1	3.48
2	2	3.39
2	3	2.54
2	4	2.64

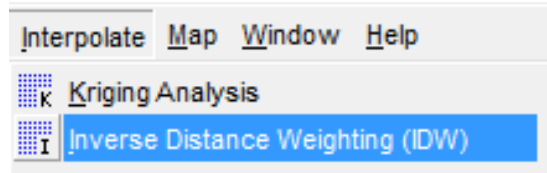
- Captura de los datos en **GS+** Versión 9



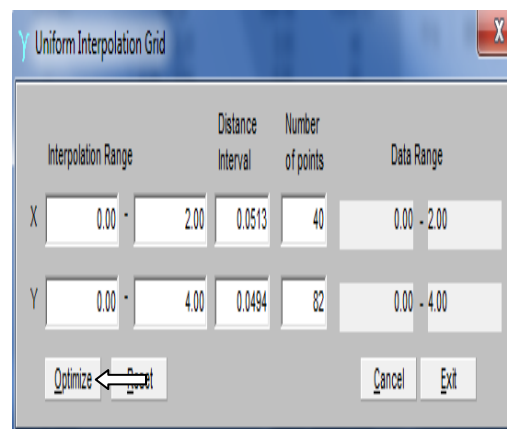
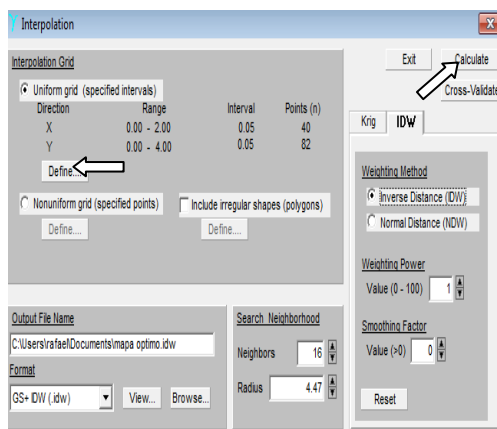
- Una vez en **GS+** dar doble clic en la celda, cambiar a modo “z (primary variate)” para seleccionar el valor de la Z que nosotros vamos a utilizar y cambiar el nombre del archivo.



- Ahora damos clic en **interpólate** y seleccionamos **Inverse Distance Weighting (IDW)**.

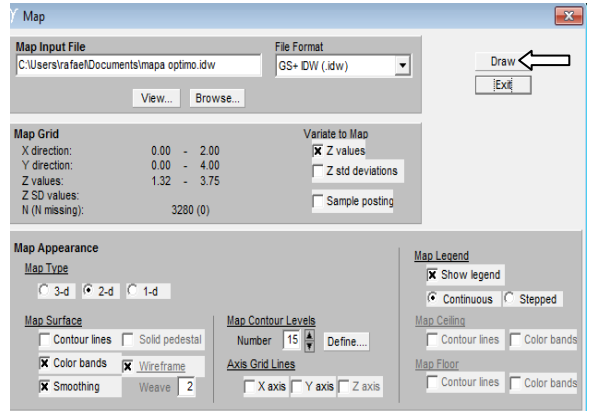
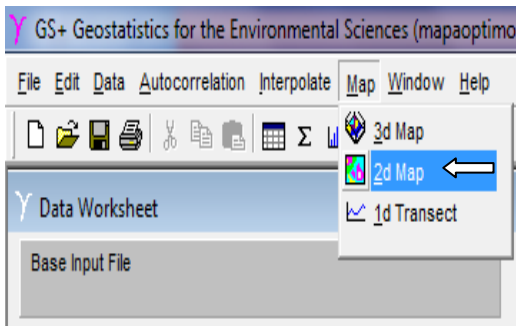


- Se desplaza la ventana de **Interpolation**, dar clic en **Calculate** y después **Define** desplazando otra ventana **Uniform Interpolation Grid** y seleccionar **optimize** para que nos genere los puntos necesarios para nuestro mapa.

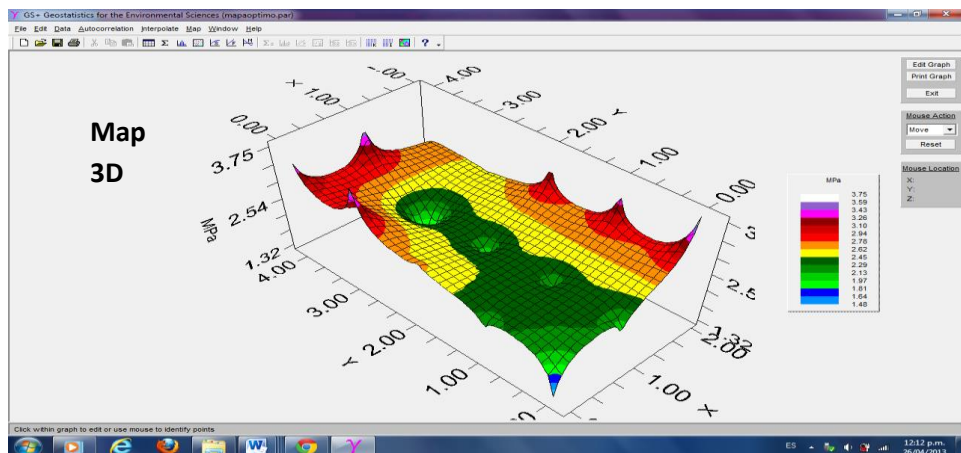
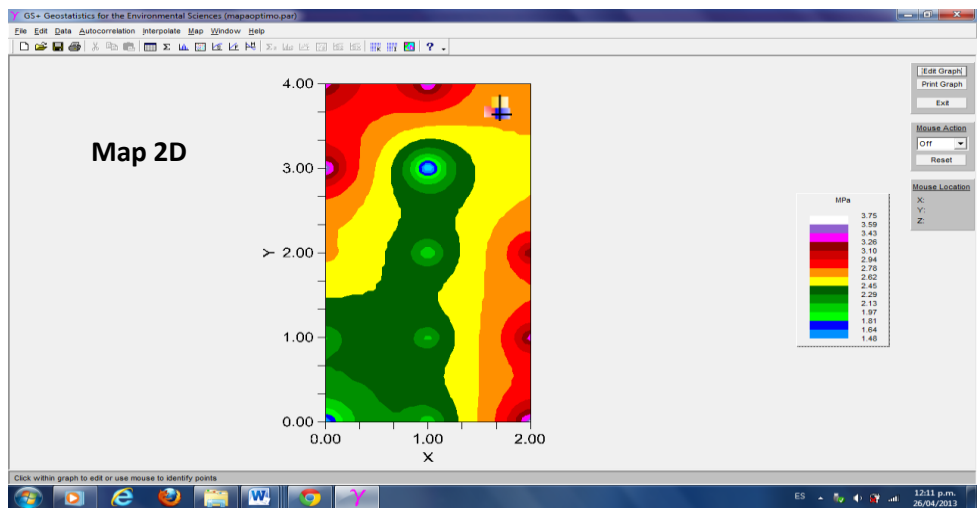




- Seleccionamos en Map 2d y nos genera una nueva ventana llamada Map y seleccionamos Draw

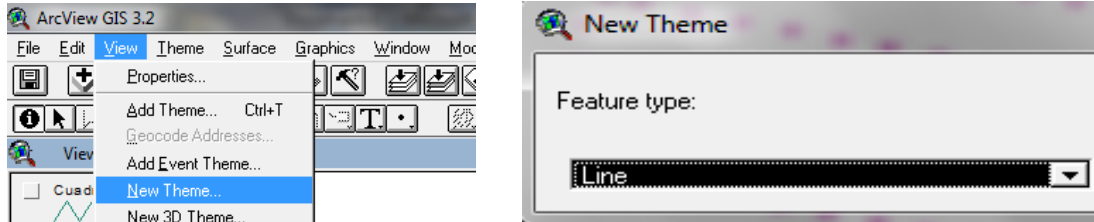


- Se nos generara el mapa en 2D y si queremos ver el mapa en 3D seleccionar la opción Map 3D

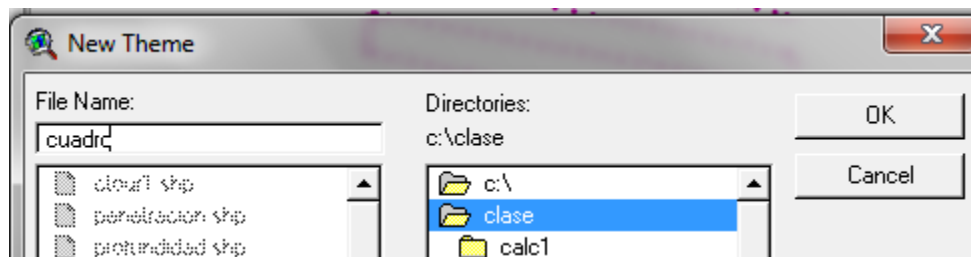


## ANEXO 7.4 Secuencia para realización del mapeo en el programa ArcView para MPa.

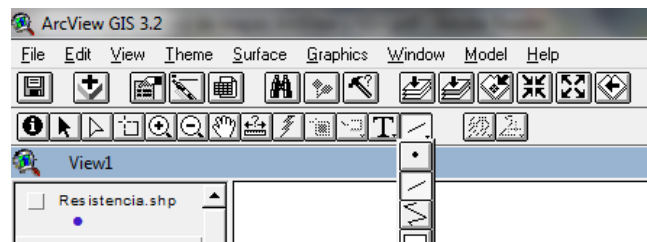
En el programa seleccionamos View-New Theme- y se selecciona tema de línea



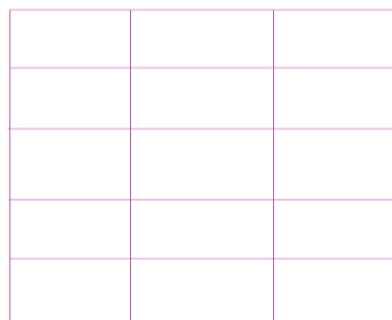
Seleccionamos carpeta de destino y ok.



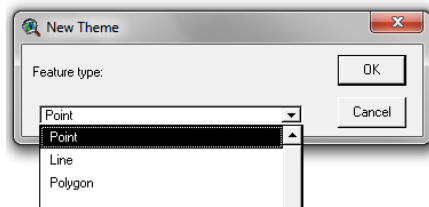
Seleccionamos en el recuadro líneas



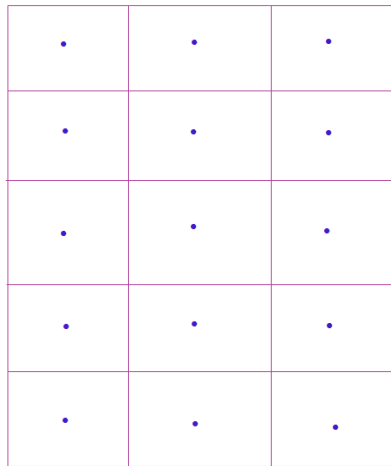
Y realizamos el recuadro de la forma de obtención de los puntos en campo



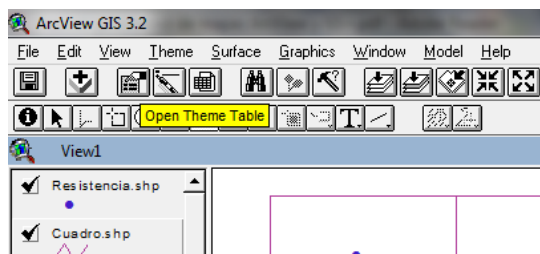
Ahora se genera un nuevo tema pero de puntos y se guarda en una carpeta



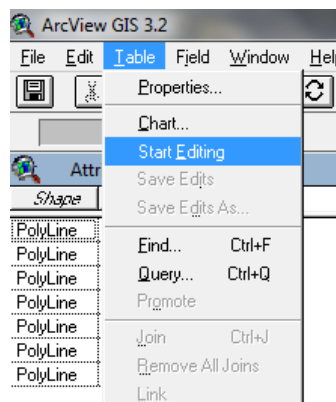
Dentro del cuadro se coloca el punto muestreado en campo



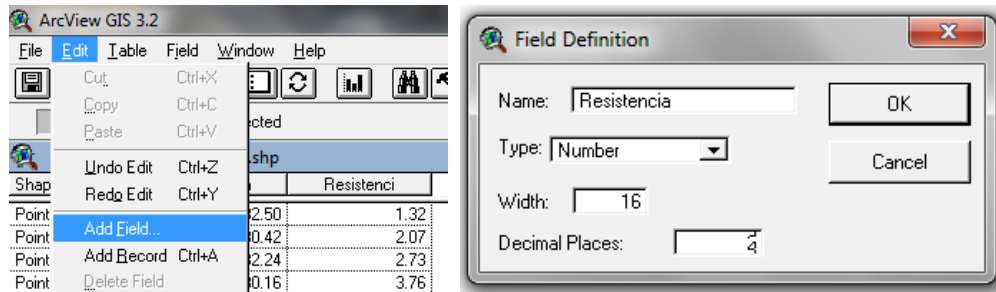
Una vez realizado los puntos se detiene la edición...y seleccionamos abrir la tabla del tema



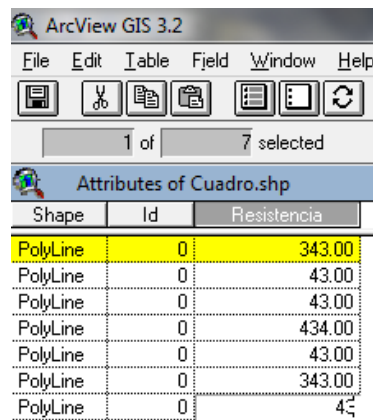
Ahora en tabla de damos empezar edición...



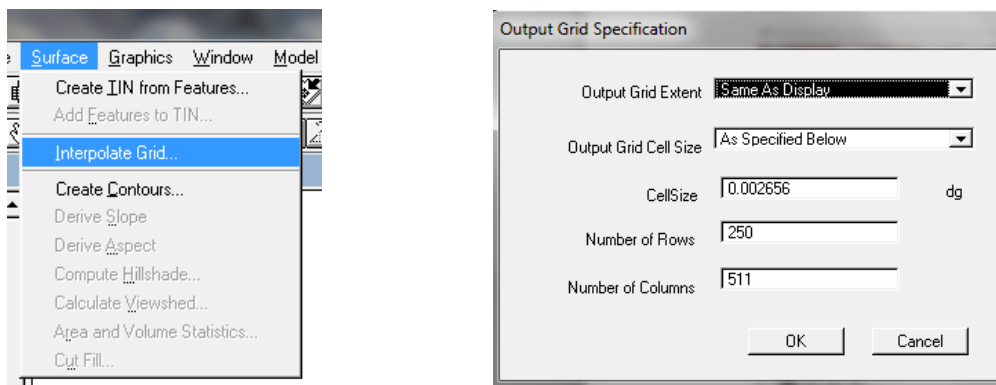
En edit.....agregamos un campo que sería el de resistencia a la penetración.....



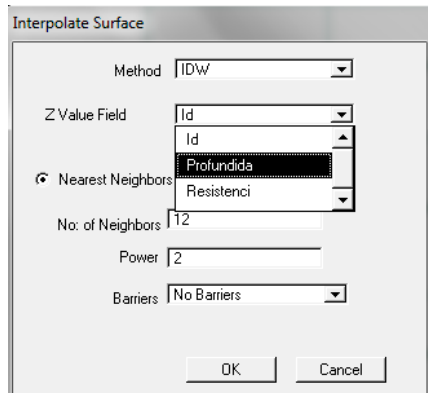
Y se genera el campo y ahora se procede a colocar los valores encontrados para cada punto...



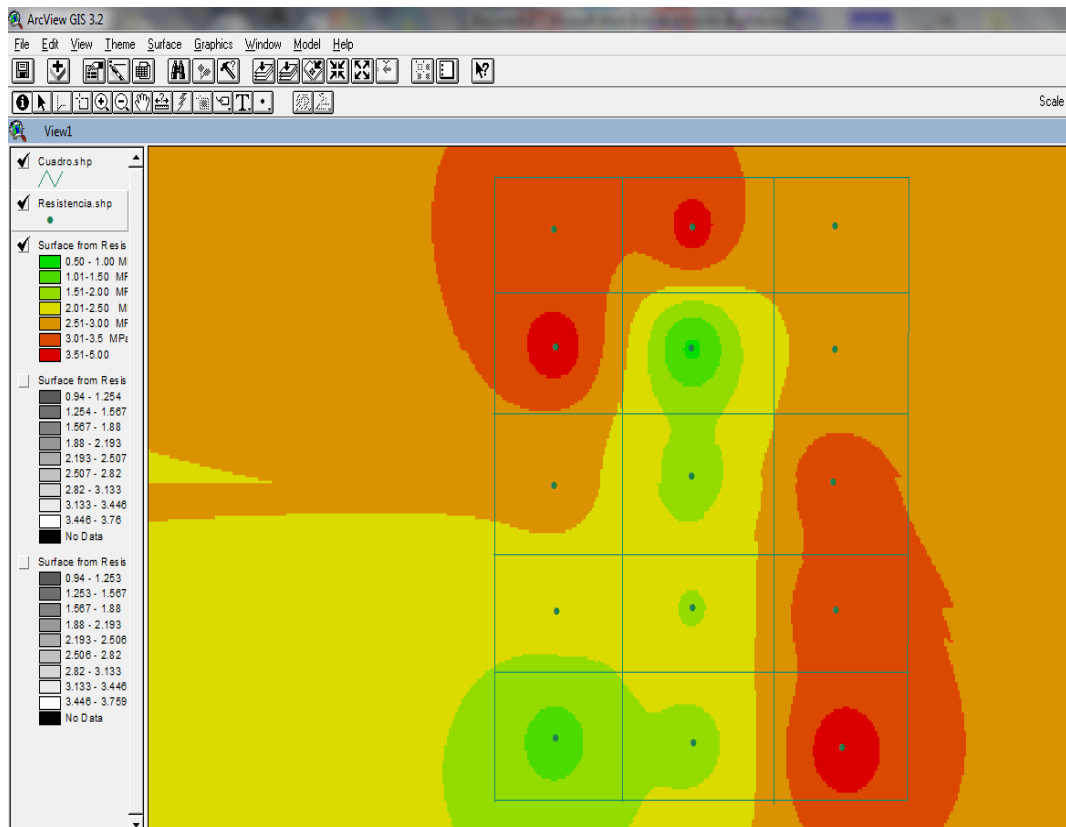
Una vez capturados los datos se procede a realizar la interpolación.....seleccionamos surface....interpolate grid.....



Y para la variable Z seleccionamos el campo para el cual deseamos realizar la interpolación...que seria resistencia.....ok...



Y se genera el mapa de interpolación para la variable resistencia a la penetración



**ANEXO 7.5** Calculo completo de las pruebas de campo. Comparaciones de los resultados obtenidos en campo Vs hoja de datos del sonar LV-MaxSonar-EZ1

Punto	PENETROMETRO			SONAR			v
	V MAX	V MIN	mV	V MAX	V MIN	mV	
1	0.54	0.15	<b>390</b>	2.13	1.05	<b>1.08</b>	<b>1080</b>
2	0.24	0.14	<b>100</b>	2.05	0.81	<b>1.24</b>	<b>1240</b>
3	0.33	0.14	<b>190</b>	2.05	0.72	<b>1.33</b>	<b>1330</b>
4	0.35	0.14	<b>210</b>	2.06	0.73	<b>1.33</b>	<b>1330</b>
5	0.4	0.2	<b>200</b>	1.89	0.73	<b>1.16</b>	<b>1160</b>
6	0.27	0.13	<b>140</b>	1.89	0.64	<b>1.25</b>	<b>1250</b>
7	0.34	0.12	<b>220</b>	1.89	0.72	<b>1.17</b>	<b>1170</b>
8	0.4	0.11	<b>290</b>	1.97	0.73	<b>1.24</b>	<b>1240</b>
9	0.51	0.11	<b>400</b>	1.89	0.73	<b>1.16</b>	<b>1160</b>
10	0.48	0.11	<b>370</b>	1.89	0.73	<b>1.16</b>	<b>1160</b>
11	0.51	0.11	<b>400</b>	1.97	1.06	<b>0.91</b>	<b>910</b>
12	0.5	0.13	<b>370</b>	1.96	0.98	<b>0.98</b>	<b>980</b>
13	0.51	0.15	<b>360</b>	1.97	0.65	<b>1.32</b>	<b>1320</b>
14	0.46	0.19	<b>270</b>	1.96	0.73	<b>1.23</b>	<b>1230</b>
15	0.48	0.2	<b>280</b>	1.88	0.64	<b>1.24</b>	<b>1240</b>

PENETROMETRO				SONAR			PROF ESPERADA
CONSTANTE	DAT. CAMPO	KN	MPA	CONSTANTE	DAT. CAMPO V	PROF CAMPO	
13.15	390	5.13	<b>3.67</b>	26	1.08	<b>28.08</b>	27.432
13.15	100	1.32	<b>0.94</b>	26	1.24	<b>32.24</b>	31.496
13.15	190	2.50	<b>1.79</b>	26	1.33	<b>34.58</b>	33.782
13.15	210	2.76	<b>1.98</b>	26	1.33	<b>34.58</b>	33.782
13.15	200	2.63	<b>1.88</b>	26	1.16	<b>30.16</b>	29.464
13.15	140	1.84	<b>1.32</b>	26	1.25	<b>32.5</b>	31.75
13.15	220	2.89	<b>2.07</b>	26	1.17	<b>30.42</b>	29.718
13.15	290	3.81	<b>2.73</b>	26	1.24	<b>32.24</b>	31.496
13.15	400	5.26	<b>3.76</b>	26	1.16	<b>30.16</b>	29.464
13.15	370	4.87	<b>3.48</b>	26	1.16	<b>30.16</b>	29.464
13.15	400	5.26	<b>3.76</b>	26	0.91	<b>23.66</b>	23.114
13.15	370	4.87	<b>3.48</b>	26	0.98	<b>25.48</b>	24.892
13.15	360	4.73	<b>3.39</b>	26	1.32	<b>34.32</b>	33.528
13.15	270	3.55	<b>2.54</b>	26	1.23	<b>31.98</b>	31.242
13.15	280	3.68	<b>2.64</b>	26	1.24	<b>32.24</b>	31.496