



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño conceptual de un penetrómetro montado  
a los tres puntos de un tractor agrícola

Por:

Rigoberto Vázquez Mejía

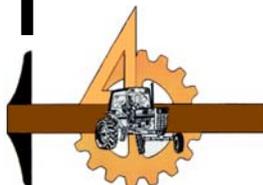
T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2005



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

Diseño conceptual de un penetrómetro montado a los tres puntos de un tractor agrícola

Por:

**Rigoberto Vázquez Mejía**

**T E S I S**

Que somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobada por el Comité de Tesis  
Presidente del Jurado

---

**M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**

Sinodal

Sinodal

---

**Ing. Juan Arredondo Valdéz**

---

**M.C. Tomás Gaytán Muñiz**

Coordinador la División de Ingeniería

---

**M.C. Luis E. Ramírez Ramos**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2005

# Agradecimientos

A ti, **Dios Todo Poderoso** por permitirme la oportunidad, la dicha y el privilegio de existir; por prestarme la vida, por permitirme disfrutar de las cosas que he vivido. Gracias por lo realizado hasta ahora y hasta cuando sea tu voluntad.

***Gracias Señor***

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (mi Alma Terra Mater)**, por la oportunidad que me brindo para formarme en sus aulas, laboratorios y campos experimentales, en la carrera de Ing. Mecánico Agrícola, por que con lo adquirido tendré una herramienta más en la vida para desarrollarme.

Al **M.C. Héctor Uriel Serna Fernández**, por la paciencia que me tuvo y el apoyo incondicional brindado durante el transcurso de mis estudios en la Universidad, y por el asesoramiento en la realización de este trabajo de tesis.

***Gracias***

Al **Ing. Juan Arredondo Valdez**, por la ayuda prestada que siempre me brindo, y los comentarios alentadores para seguir adelante en la vida.

***Gracias***

Al **M.C. Tomás Gaytán Muñiz**, por todo lo aportado a desarrollo de mi carrera y de este trabajo de tesis.

***Gracias***

Al **Dr. Martín Cadena Zapata**, por su apoyo incondicional, por sus conocimientos compartidos, ayuda disponible y constante, y por su dedicación hacia la investigación agrícola.

**Muchas gracias Dr.**

Al **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández**, por el apoyo brindado y los comentarios alentadores y de buen humor para no dar marcha atrás en el desarrollo de los proyectos de la vida.

***Gracias***

A todos los demás **ingenieros** del Departamento de Maquinaria Agrícola de la **U.A.A.A.N.** que de alguna forma participaron en la formación de este humilde servidor; al **M.C. Jesús R. Valenzuela García, Ing. B. Sergio Martínez Medellín, Ing. Jorge A. Flores Berrueto, Ing. Ramiro Luna Montoya, Ing. Rosendo González Garza, Ing. J. Juan de Valle Treviño e Ing. B. Elizabeth de la Peña Casas.**

A mis compañeros de generación del 99 al 2004, en especial a **Roberto Rivelino Hernández Vargas** y a **Humberto Estrada Guevara**, y al **Amigo Eduardo Vargas, de suelos**; por la amistad y los buenos momentos vividos durante nuestra estancia en la Universidad.

Al personal de apoyo del Taller de Maquinaria Agrícola: **Mario Amaro, Don Chon Martínez, Acacio Urrea, a Don Efraín de la Rosa, Yony Amaro, a Juanita Valenzuela y a Doña Lidia.**

A la **maestra Patricia L. Dorantes González**, por la amistad, apoyo y los consejos que medio, por la calidad de persona que me permitió encontrar en ella, por todo.

***Gracias maestra***

A las **T.S.U. de Telemática de la U.T.C: Bety A. Berlanga B. y Paty Guevara V.**, les agradezco en igualdad la ayuda, amistad y el cariño que me brindaron en el poco tiempo de conocernos.

**Gracias**

A toda la racita de **Guerrero** que conocí **en la Narro**, a los compañeros con los que compartí cuarto en los internados, por las desveladas compartidas. Al **L.E.A.A. Agustín Mora García**, por el apoyo brindado en esos momentos difíciles.

***Muchas Gracias a todos***

# Dedicatorias

**Con respeto y orgullo para toda la familia Vázquez Mejía**

*A mis padres*

**Sra. Paula Mejía Pisa**

Por darme la vida, por inculcarme siempre los valores familiares y por luchar siempre para sacarme adelante junto con mis hermanos. Por la confianza, consejos, apoyo moral, económico que me brindo, y por las oraciones que para mi bien rezó. **Muchas Gracias por todo.**

**Sr. Emilio Vázquez Castro**

Por darme la vida, por ser un hombre tenaz y esforzarse para sacar adelante la familia. Por los consejos, por las experiencias y las enseñanzas inculcadas. Por el ejemplo que me ha dado a través de los años y a través de la vida.

**Por todo eso, Gracias.**

**Misión cumplida, muchas gracias por la confianza**

Dedicada especialmente y con mucho cariño a todos mis hermanos y hermanas: **Cornelio†, Ángel, Rafael, Ovidio, Emilio, Elizabeth y Ana Lilia, Carlos, Maria del Rosario, Romualdo, Rosibel.**

**Triunfo de todos**

Para las **familias Vázquez Castro y Mejía Písa**

A mis cuñadas **Mariana y Paula** y a todos mis sobrinos en especial a **Iván Rafael y Miguel Ángel**. A los hijos e hijas de Carlos y de Rosario.

A los amigos **Santiago G., Santos G., Nicanor G., Benjamín C., Adalid C.**

En general a toda la gente buena de la comunidad de "**Canta Ranas**"

A mi amiga **Sady Elideth Mandujano D.**

# ÍNDICE

## Agradecimientos y Dedicatorias

ÍNDICES. . . . . i

RESUMEN . . . . . iv

**INTRODUCCIÓN.** . . . . 1

1.1 Antecedentes . . . . . 3

1.2 Justificación . . . . . 7

1.3 Objetivos e Hipótesis . . . . . 8

**REVISIÓN DE LITERATURA.** . . . . 9

2.1 Tecnología de tractores . . . . . 9

2.1.1 Tipos de enganche . . . . . 9

2.1.2 Sistema hidráulico del tractor . . . . . 9

2.2 Teoría de mecánica de suelos . . . . . 10

2.3 Resistencia a la penetración . . . . . 10

2.4 Propiedades del suelo que influyen sobre la resistencia  
a la penetración . . . . . 11

2.4.1 Compactación . . . . . 12

2.4.2 Estado de consistencia del suelo . . . . . 12

2.4.2.1 Cohesión . . . . . 13

2.4.2.2 Adhesión . . . . . 13

2.4.3 Esfuerzo cortante . . . . . 13

2.4.4 Fricción interna . . . . . 14

2.4.5 Textura . . . . . 14

2.4.6 Contenido de humedad . . . . . 14

2.4.7 Densidad . . . . . 15

2.5 Teoría sobre penetrómetros . . . . . 15

2.5.3	Principio físico de los penetrómetros . . . . .	16
2.5.4	Ensayos de penetración . . . . .	16
2.5.5	Índice de cono . . . . .	17
2.6	Teoría sobre transductores . . . . .	17
2.6.1	Transductores de fuerza . . . . .	18
2.6.2	Galgas extensiométricos . . . . .	18
2.6.3	Puente de Wheatstone . . . . .	18
2.7	Oleohidráulica . . . . .	19
2.7.1	Conceptos generales de Oleohidráulica . . . . .	20
2.8	Válvulas hidráulicas . . . . .	21
2.9	Cilindros hidráulicos . . . . .	21
2.10	Circuitos hidráulicos . . . . .	22
2.11	Conexiones y mangueras . . . . .	23
2.12	Teoría sobre diseño de estructuras . . . . .	23
2.13	Sistema de adquisición de datos . . . . .	25
	<b>MATERIALES Y MÉTODOS . . . . .</b>	<b>29</b>
3.1	Materiales . . . . .	29
3.2	Metodología . . . . .	29
3.2.1	Generalidades del diseño mecánico . . . . .	29
3.2.2	Iniciativa de la propuesta . . . . .	30
3.2.3	Fuente de accionamiento del sistema penetró metro . . . . .	32
3.5	Características generales de la penetrometría . . . . .	34
3.5.1	Norma ASAE S313.1 para penetrómetros de cono de 30° . . . . .	34
3.5.1.1	Alcance y propósitos de la norma . . . . .	34
3.5.1.2	Definiciones . . . . .	35
3.5.1.3	Aparato y procedimiento de prueba . . . . .	36
3.5.1.4	Guía para interpretaciones y presentación de resultados . . . . .	38
3.3	Cálculos y resultados . . . . .	38
3.4	Presupuesto . . . . .	44
3.5	Prototipo generado y Detalles, vistas y especificaciones en . . . . .	

Plantillas de la propuesta . . . . .	45
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA. . . . .</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS. . . . .</b>	<b>59</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y FORMULAS

<b>NÚMERO DE FIGURA</b>	<b>paginas</b>
1.- Partes del Penetró metro . . . . .	5
2.- Caja de torsión . . . . .	6
3.- Puente de Wheatstone . . . . .	19
4.- Circuito hidráulico para accionar el sistema del penetró metro .	33
5.- Especificaciones de la norma S313.1 ASAE . . . . .	38
6.- Análisis de la placa de soporte . . . . .	40
7.- Sección transversal de la placa de soporte . . . . .	41

## **NÚMERO DE TABLA**

1.- Características de las bombas más comunes en el sistema hidráulico de los tractores . . . . .	9
2.- Presupuesto de materiales para la configuración del sistema del penetrómetro y su montaje . . . . .	44

## **NÚMERO DE FORMULA**

1.- Esfuerzo normal . . . . .	13
2.- Presión hidráulica . . . . .	20
3.- Fuerza hidráulica . . . . .	21
4.- Gasto (Q) en LPM . . . . .	22
4.1.- Superficie o área . . . . .	22
5.- Gasto en cm <sup>3</sup> /seg . . . . .	22
6.- Esfuerzo normal máximo en un miembro . . . . .	24
7.- Esfuerzo cortante en un punto cualquiera de un miembro . . . . .	24
7.1.- Momento de inercia para una área rectangular . . . . .	25
8.- Deflexión máxima en un miembro . . . . .	25

## RESUMEN

La compactación es un parámetro que en el suelo provoca la ineficacia de implementos y por consecuencia, también de maquinas agrícolas. Conocer de alguna forma y en algún grado este y otros parámetros del suelo son de suma importancia para decidir sobre la adquisición de maquinaria agrícola para la preparación del suelo, sistema de labranza, cultivo a establecer, etc. Determinar las fuerzas que los implementos de laboreo demandan de la fuente de potencia (tractores) es de mucha importancia en las investigaciones para determinar los costos de operación de los ranchos o agroempresas. Cuando se trata de establecer una norma, procedimiento o protocolo de prueba y/o evaluación de implementos o maquinas, la prueba de potencia que demanden o que ofrezcan para realizar una labor; según sea el caso, es una de las principales que se debe efectuar. Los órganos encargados de realizar investigaciones sobre maquinaria agrícola, tienen la necesidad de analizar todos los parámetros del suelo que influyan en el comportamiento de los aditamentos en prueba, por muy insignificantes que parezcan dichos parámetros.

A fin de dar respuesta a la creación de un Centro de Pruebas y Evaluaciones de Equipo Agrícola, es necesario contar con variados instrumentos y procedimientos de medición relacionados con el comportamiento en campo de implementos y maquinas agrícolas. Por las características y cantidades de mediciones, se propone el diseño o configuración conceptual de un penetrómetro de accionamiento hidráulico montado a los 3 puntos del tractor agrícola, con capacidad de trabajo de acuerdo a la norma S313.1, establecida por la ASAE (American Society of Agricultural Engineers, 1984). Materechera *et al.* (1992), Vogel (1992), señalan que 3 MPa de resistencia a la penetración del suelo, constituye un impedimento mecánico para el crecimiento de las raíces, barrera en la cual estas detienen su crecimiento en terrenos por demás duros y sin laborar en al menos 3 años.

El penetrómetro tendrá como fuente de potencia el sistema hidráulico del tractor, y un circuito del mismo tipo para obtener la presión deseada y poder regular la velocidad de penetración.

Para la realización del proyecto en su etapa de diseño conceptual se dividieron las actividades correspondientes:

1. Identificación del problema
2. Revisión y análisis de literatura y cálculos
3. Generación del modelo o prototipo propuesto (Diseño conceptual).

Es importante mencionar que este trabajo está ampliamente relacionado con lo que desarrolló Gallegos (2004). En ese proyecto se diseñó y evaluó un software para microcontroladores PIC, para digitalizar la señal del penetrómetro.

# INTRODUCCIÓN

La mecanización agrícola es un componente de la ingeniería agrícola que puede describirse como la aplicación de todos los aspectos de la ingeniería al desarrollo agrícola y rural. En los países industrializados, los frutos de la investigación en ciencias agrícolas han hecho posible que la producción agrícola exceda los requerimientos nacionales en producción de alimentos, y avances complementarios en ingeniería agrícola (especialmente mecanización) han permitido que la aplicación de estos frutos sea una realidad técnica. El mejoramiento en mecanización agrícola solamente será aceptado por los productores, si entrega una solución que se ha estado buscando activamente; a un problema agudamente sentido en las parcelas de producción, pastoreo, etc. Esto significa que debe ser compatible con el sistema de producción usado y las necesidades de los consumidores de algún producto, considerando los factores técnicos, sociales y económicos. Su éxito depende principalmente de la experiencia, así como de la habilidad en el diseño. Los procedimientos de prueba y evaluación para el establecimiento de normas o estándares para maquinaria agrícola se atribuyen a países desarrollados. La Organización Europea para la Recuperación Económica y el Desarrollo (OECD), desde 1970; y la ASAE desde 1980; tienen el propósito de generar y proveer información confiable y repetible o comprobable. Crossley y Kilgour, (1983) mencionan que el propósito principal de obtener información sobre el comportamiento de un equipo, es compararlo con el requerimiento para el que fue diseñado.

Algunos suelos agrícolas presentan signos de degradación estructural debidos a la aplicación continua de fuertes presiones por el paso de maquinaria agrícola y pisoteo de animales. La conservación de las propiedades físicas requiere del monitoreo de fenómenos como la compactación del suelo. La penetrometría es una de las técnicas más utilizadas en estudios de la calidad física del suelo.

Soane y Van Ouwerkerk, (1994) señalan que la compactación del suelo implica alteraciones de varias características cuyas consecuencias en la producción de cultivos y en procesos degradativos del suelo son ampliamente conocidas. El diseño de penetrómetros con sensores de fuerza y distancia, conectados a un sistema de adquisición de datos, permite conocer con gran rapidez la fuerza que opone el suelo a la penetración. Varios autores han empleado la resistencia a la penetración como indicador de compactación en suelos agrícolas: Busscher y Lipiec; Grant y Lafond (1993), en pastizales; Helyar y Sutherland (1993) Ferrero (1994), en suelos urbanos; y Craul (1994) en suelos forestales. Barraclough *et al.* (1991) afirma que la resistencia a la penetración; junto con la porosidad, es la variable más importante en los estudios sobre la compactación del suelo en relación con el enraizamiento de los organismos vegetales.

En el estudio de la compactación, la penetrometría presenta algunas ventajas respecto a otros métodos que implican una mayor disturbación del suelo, como es el caso de las observaciones morfológicas del perfil cultural (De León, 1995), o el análisis de la porosidad, Stengel (1990). Breune *et al.* (1996), Hartge *et al.* (1985); coinciden en que una de estas ventajas de la penetrometría es que sirve como una herramienta de exploración rápida de la estructura del suelo, pues demostraron que es posible realizar una gran cantidad de inserciones (mas de 100) en una misma área y en una sola jornada. Breune *et al.* (1996), señala que otra de las principales ventajas de la penetrometría es la rapidez en la obtención de datos; esta característica le permite ser una herramienta de diagnóstico inicial sobre las condiciones físicas del suelo. Por otro lado, Becher (1994); comprobó que las inserciones del cono; al estar espaciadas en el terreno, no provocan alteraciones importantes en la estructura, de tal manera que el terreno explorado puede ser utilizado posteriormente para realizar otras mediciones. Esta información puede ser utilizada, por ejemplo, para planear correctamente el diseño experimental de parcelas con fuerte heterogeneidad estructural y para seleccionar medidas correctivas como el subsoléo o la rotación de cultivos. Breune *et al.* (1996), menciona que para estudios sobre calidad física del suelo en donde no se

tiene información previa y sobre todo cuando los estudios implican superficies mayores, es conveniente que los datos de penetrometría vayan acompañados de información complementaria, principalmente humedad, textura, materia orgánica y densidad aparente. También es recomendable contar con observaciones morfo-estructurales de la capa arable en algunos puntos de las parcelas bajo estudio.

## **1.1 Antecedentes**

Gracias a Coulomb (1776), la mecánica de los suelos tradicional había creído resolver el trascendental problema del análisis de suelos en forma satisfactoria; durante años, basándose en ideas sin duda mas precisas que otras anteriores.

Los primeros penetrómetros que se fabricaron, no contaban con métodos de prueba con bases agronómicas, matemáticas, ingenieríles, etc., además de no contar con sistemas de registro de datos. Terry y Wilson (1952), dieron solución al problema, desarrollando un penetrómetro de registro mecánico continuo, que utilizó el movimiento de una barra vertical y la compresión de un resorte para proporcionar un registro mecánico. El registro era sobre información del índice de cono contra profundidad en una pequeña grafica en el plano X-Y. Carter (1967); desarrolló un penetrómetro similar con un cordón retráctil indicador de profundidad, Hendrick (1969), desarrolló un modelo mejorado,.

El tratamiento de los datos análogos fue un procedimiento establecido en laboratorios y continuo siendo utilizado incluso en campo durante muchos años. Después de tomar los datos análogos se almacenaban, y se convertían a digital para el análisis subsecuente. Actualmente estos datos se digitalizan durante las pruebas, esto elimina la necesidad de usar un aparato análogo y después otro para convertir a digital. Rimik (1981); introdujo una unidad operada manualmente que utilizó sus propias unidades del almacenaje e interconexión para medir el índice de cono a cada 15 milímetros de profundidad, con capacidad de almacenamiento de hasta 300 puntos de prueba.

Bradford (1982), menciona que el penetrómetro *Bus SP 1000*, marca *ELE Internacional*; provisto de un captor de fuerza y otro de desplazamiento, es un instrumento que permite realizar mediciones de resistencia de hasta 50 kg de fuerza y 50 cm de profundidad utilizando un cono estandarizado (ASAE, de 30°) con un diámetro base de 1.28 cm, con una velocidad de inserción aproximada a 5 cm/s<sup>-1</sup>. Los penetrómetros de cono de varios tipos, se han utilizado durante muchos años para medir varias características del suelo. Perumpral (1983), realizó una revisión de literatura sobre penetrómetros, con énfasis especial sobre el uso de estos en la labranza agrícola y sobre la tracción. Él documentó una tendencia que abarcaba el uso de penetrómetros y de equipo relacionado con la medición de las características del suelo. Los resultados del estudio sobre penetrómetros de cono fueron presentados casi en su totalidad en forma del índice de cono IC, (CI, por sus siglas en inglés Cone Index), contra diagramas de profundidad. La ASAE (1984), publicó las especificaciones estandarizadas para el diseño y la operación del penetrómetro de cono en estudios de labranza y de tracción para un cono de 30°.

Los penetrómetros montados y/o acoplado al tractor, ha sido considerados por muchos investigadores durante mucho tiempo, como uno de los instrumentos más convenientes para medir el IC. Estas unidades utilizan energía hidráulica para insertar el cono, además usan 12 Volts de corriente directa (DC) o 120 Volts de corriente alterna (CA), provistos por un alternador para accionar las computadoras para la adquisición de datos. Se usan anillos sensores en la prueba, para medir la fuerza de la penetración, convertida posteriormente al índice de cono. Los penetrómetros montados al tractor han resultado de mucha utilidad para hacer la comparación relativa en estudios de labranza y de compactación. Threadgill (1982), Clark et al. (1986), señalan que para la prueba de resistencia a la penetración del suelo; la humedad del suelo no debe ser excesiva, y debe ser conocida. Incluso con estas limitaciones, demostraron diferencias dramáticas en las características del suelo bajo diversas condiciones de labranza, basándose en lecturas de penetrómetros de cono.

El grado de relación fue correlacionado altamente con tamaño del cono, el tipo de suelo y la fricción suelo-metal en la superficie del cono.

En la siguiente figura se muestra un penetrómetro de impacto con sus dimensiones respectivas:

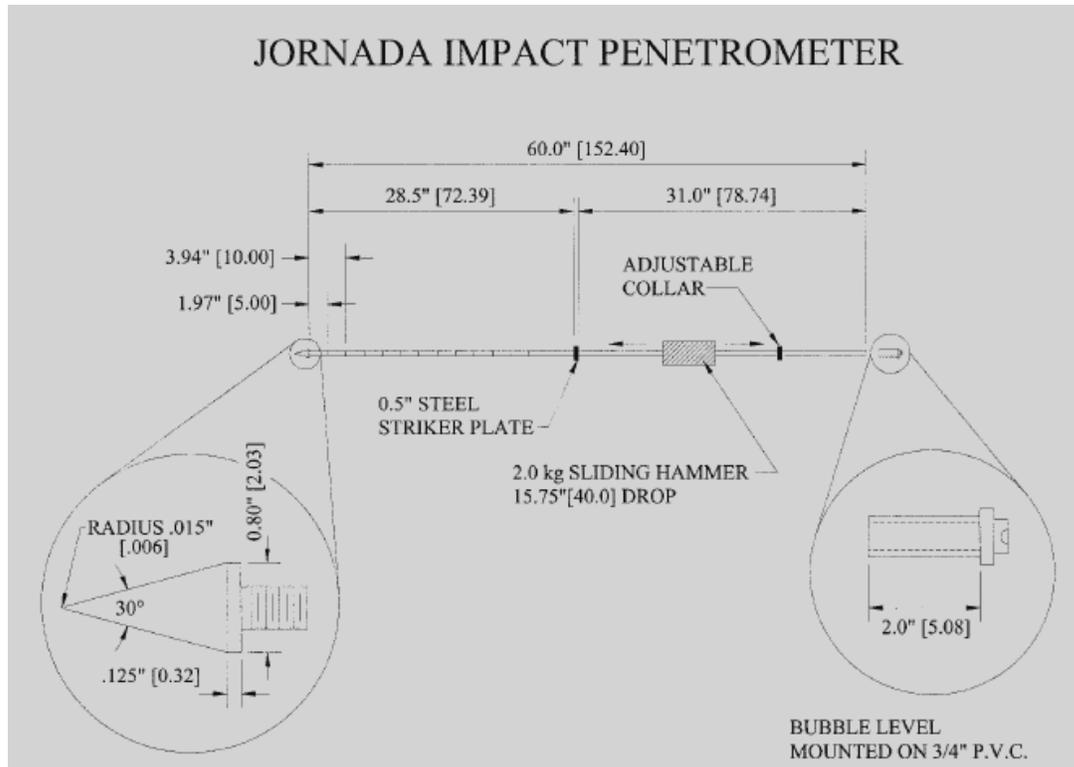
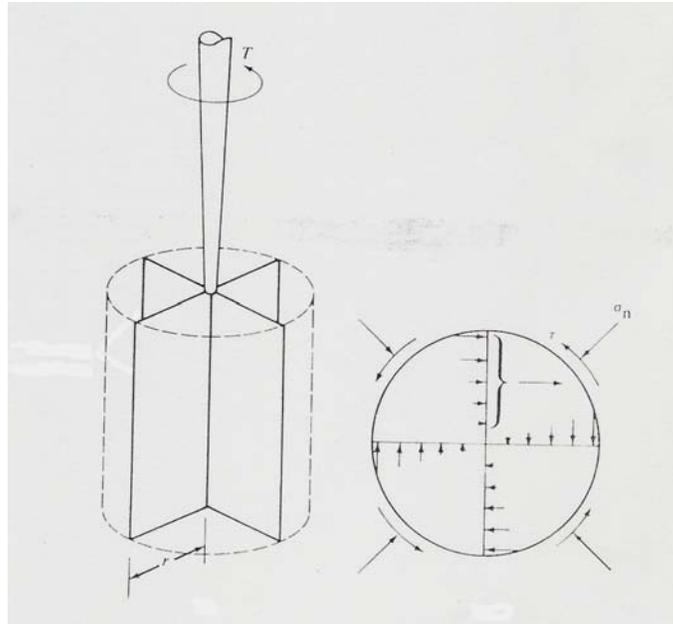


Fig. 1

Partes principales de un Penetrómetro estándar.

Además de los penetrómetros (manuales o de accionamiento hidráulico) existen también los penetrógrafos. Estos aparatos, tienen el mismo principio físico que los penetrómetros; con la variante de que en lugar de mostrar una lectura en una carátula tipo manómetro en unidades de presión o fuerza (Bar, Pa, N/m<sup>2</sup>; etc.), nos muestran una grafica equivalente de resistencia a la penetración o índice de cono. Uno de los instrumentos muy utilizado en su momento fue la *Caja de Torsión*, el principio de funcionamiento consiste en romper una muestra de suelo someténdola a un par de torsión M. El equipo consta de una caja circular que dispone de unas pequeñas placas radiales en su interior. Esta caja se introduce en el suelo y se le aplica una carga vertical Q.



**Fig. 2 Caja de torsión para prueba directa de resistencia al corte del suelo.**

El *Anillo de Torsión* es otro de los aparatos usados para medir resistencia del suelo en campo, es similar a la caja. Fue desarrollado por Bekker (1969), consta de un anillo en cuya parte inferior y de forma radial lleva una serie de aletas definidas por los radios interiores  $r_i$  y exterior  $r_e$ . Similar a la figura 2. Ambos aparatos miden el esfuerzo cortante del suelo

Otros aparatos usados para medir resistencia del suelo directamente en campo, son los torsiómetros, estos miden la relación de tensión del suelo sometido a una carga de momento, como el torsiómetro de aletas de *Vane*, desarrollado por Schaffer (1960), consta de 4 aletas alargadas y dispuestas perpendicularmente cuya altura ( $h$ ) es 1.5 a 2 veces el diámetro que forman cada dos de ellas. Se utiliza con éxito en suelos blandos cohesivos y para grandes profundidades como en el caso de las obras de ingeniería civil. El par de torsión, que se aplica para producir la rotura, consta de dos sumandos. Por un lado el que requieren los laterales de las aletas, y por el otro el de los fondos superior e inferior.

## 1.2 Justificación

El Departamento de Maquinaria Agrícola del a UAAAN, tiene el objetivo de establecer un laboratorio de pruebas para evaluación de sembradoras e implementos agrícolas (arados, sembradoras, cultivadoras, subsoladoras, etc.), por lo que se hace necesario contar con instrumentos y/o aparatos que permitan conocer parámetros físicos y mecánicos del suelo. Una de las prioridades para la evaluación de implementos agrícolas, es contar con instrumentos para satisfacer los requerimientos de prueba de los diferentes parámetros de compactación del suelo. Conocer la resistencia a la penetración del suelo, requiere la utilización de un Penetrómetro, para encontrar el **esfuerzo normal** del suelo, que al final nos darán la capacidad de inferir de manera confiable en que o cuales son las condiciones y características del medio que afectan los diferentes equipos de labranza agrícola. Con el diseño de este instrumento se está aportando la parte mecánica, y la analógica-digital es aportada por Gallegos (2004), en ese trabajo se desarrolló un software y/o modulo de registro computarizado, que servirá para obtener y digitalizar información directa sobre la resistencia a la penetración del suelo en un determinado momento. El uso de este equipo facilitará la recopilación de información, cuando sea necesario realizar varias pruebas, de la misma forma que eliminaremos errores en la toma de lecturas.

### **1.3      Objetivos e Hipótesis**

## **Objetivo general**

Diseño de un aparato para la medición de la resistencia del suelo a la penetración, que permita un proceso rápido y exacto de recolección y análisis de la información; así como también que tenga una gran capacidad de trabajo, de profundidad y de fuerza.

## **Objetivos Específicos**

Diseñar la estructura de soporte de un sistema para un Penetrómetro hidráulico (Pistón, transductor de fuerza, válvulas, varilla y cono) de velocidad controlada, para montarlo a los tres puntos de un tractor agrícola.

Desarrollar el instrumento con materiales o piezas existentes en el mercado para conseguir fácilmente los repuestos en caso de la falla de algún elemento.

Basar totalmente el desarrollo del sistema, en las especificaciones de la norma estandarizada S313.1 de ASAE.

Que la Universidad cuente con un instrumento dinámico de medición de la resistencia del suelo a la penetración.

## ***Hipótesis***

*Es factible diseñar un aparato que de forma rápida nos proporcione información precisa y exacta de las condiciones y de las características físicas de laboreo de suelos agrícolas.*

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Tecnologías de tractores

El rendimiento de la maquinaria agrícola puede ser expresado de muchas formas, el criterio que mejor describe el rendimiento depende de gran parte del uso que se le dará al tractor. Los agricultores se refieren comúnmente al tamaño de un tractor en términos del número de discos de arado que puede arrastrar, aunque este sistema obviamente presenta desventajas, sin embargo; es fácil de entender en la práctica.

#### 2.1.1 Tipos de enganches

El enganche de tres puntos es el más utilizado por la mayoría de los fabricantes de tractores en el mundo. En 1935, Harry Ferguson desarrollo el enganche de tres puntos del tractor agrícola, y las dimensiones fueron reglamentadas por la ASAE y SAE.

#### 2.1.2 Sistema hidráulico del tractor

Un tractor agrícola debe trabajar con una gran cantidad de equipos, sean implementos o maquinas, en condiciones muy variadas. El aspecto más importante, que además es determinante en la eficacia del trabajo, es la relación que existe en la unión tractor-equipo. Las bombas que frecuentemente encontramos en los tractores son:

**Tabla 1. Características de las bombas más comunes en el sistema hidráulico.**

Bomba	Engranajes	Paletas	Pistones
Caudal (l/min)	1 a 600	2 a 950	2 a 1700
Presión (kg/cm <sup>2</sup> )	15 a 175	15 a 175	50 a 350

Velocidad (rpm)	800 a 3500	1200 a 4000	600 a 6000
-----------------	------------	-------------	------------

Las funciones más observadas del elevador hidráulico del tractor son:

*Control de posición*, en altura; del equipo con relación al suelo. *Control de carga*, llamado también de *esfuerzo de tracción* que los equipos ejercen sobre los tractores, para evitar sobre esfuerzos que puedan provocar averías. *Control mixto*, consiste en mezclar los dos anteriores, de forma que actúen, simultáneamente en una proporción determinada para cada uno de ellos. *Control de profundidad* por debajo del suelo, por ejemplo para los arados suspendidos. *Trabajo en posición flotante*, para aquellos equipos que al trabajar deban adaptarse al contorno del suelo y que poseen autorregulación, por ejemplo; las sembradoras. *Regulación de la velocidad de descenso*, depende del peso del equipo que va enganchado a los tres puntos del tractor.

## 2.2 Teoría de la mecánica de suelos

Esta teoría, indica que para herramientas de labranza con geometría simétrica tales como cinceles, subsuelos, cultivadores, etc., las fuerzas significativas son las componentes de tiro (paralelo a la dirección horizontal de avance) y las fuerzas de succión o vertical (que son perpendiculares a la dirección de avance). Otros implementos presentan una componente, dado que su geometría no es simétrica con respecto a la línea de avance y/o trabajo; como en el caso de los arados de discos y vertedera, los cuales presentan reacciones de fuerzas laterales con ángulos de acción no predecibles.

## 2.3 Resistencia a la penetración

Baver y Gardner (1973), mencionan que la resistencia de un suelo a la penetración de un instrumento de sondeo es un índice integrado de la *compactación de suelo, contenido de humedad, textura y tipo de mineral de arcilla*, en otras palabras; es un índice de la resistencia del suelo en las condiciones de la medición. La cantidad de penetración por unidad de fuerza aplicada a un suelo

determinado varía con la forma y el tipo del instrumento usado. A medida que el penetrómetro entra en el suelo, encuentra la *resistencia a la compresión, la fricción suelo-metal, y la resistencia al esfuerzo cortante*, que implica *la fricción interna y la cohesión*. Estas condiciones se manifiestan en la punta del instrumento, allí donde existen fallas. Farrel y Greacen (1966); Greacen, Farrel y Cockroft (1968), encontraron que en la magnitud de la resistencia a la penetración influyen la compresión y la fricción entre el suelo y el metal. Cañavate (1989), menciona que la resistencia a la penetración nos da una idea de la dureza del suelo, en un determinado momento. Aunque 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, siempre se puede encontrar una relación entre la resistencia a la penetración y la que opone el suelo a una acción diferente producida bien por un neumático, arrastrado o motriz, o una determinada herramienta de trabajo agrícola. El conocimiento de las propiedades físicas del suelo permite conocer mejor las actividades agrícolas como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y aguas y el manejo de los residuos de cosecha. Esta propiedad del suelo es muy importante para las plantas, y su valor nos proporciona información del impedimento mecánico que tendrán las partes vegetales subterráneas para crecer, es decir; las raíces para explorar un mayor volumen de suelo, las plantas para emerger, los tubérculos, bulbos y raíces carnosas para desarrollarse.

#### **2.4 Propiedades del suelo que influyen sobre la resistencia del suelo a la penetración**

Algunos autores coinciden en que las variables más importantes que influyen en la resistencia a la penetración del suelo son:

### **2.4.1 Compactación**

Por compactación entendemos el proceso por el cual se genera la variación de volumen de suelo, bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico o naturales. Las fuerzas de origen mecánico fundamentalmente son debidas al paso de vehículos, maquinas no suspendidas, aperos de labranza y maquinaria agrícola en general. Gil y Vanden Berg (1967), mencionan que la compactación del suelo es un comportamiento dinámico del suelo por el cual el estado de compactación aumenta. Gardner (1973), describe la compactación como el aumento en la densidad de un suelo como resultado de cargas aplicadas o de presión. Esto implica que el suelo tiene cierta densidad o estado de compactación antes de la aplicación de fuerzas.

### **2.4.2 Estado de consistencia del suelo**

La consistencia, se refiere a la resistencia para la deformación o ruptura. Según la resistencia, el suelo puede ser suelto, suave, duro, muy duro, etc. Esta característica tiene relación con la labranza del suelo y los instrumentos a usar. A mayor dureza; será mayor la energía (animal, humana o mecánica) requerida para la labranza. El concepto de consistencia del suelo incluye las manifestaciones de una serie de fuerzas internas que se producen en la masa del suelo para diferentes grados de humedad. Gavande (1982), menciona que la consistencia del suelo comprende los atributos del material del suelo que está expresado en grado y clase de cohesión y adhesión o en su resistencia a la deformación. Dos fuerzas principales son las causantes de la consistencia del suelo, cohesión y adhesión.

#### **2.4.2.1 Cohesión**

Es la atracción molecular que se lleva a cabo por las cargas superficiales de las partículas de arcilla y por la atracción de partícula a partícula, conocida también como fuerzas de Van Der Waals. La consistencia, como resultado de la atracción molecular, será grande solamente si las partículas del suelo están muy cerca unas de otras y tienen superficies relativamente grandes en común. Este es el caso de las arcillas, es mayor en los suelos secos y decrece al entrar el agua entre las partículas, ya que hace que se separen.

#### **2.4.2.2 Adhesión**

La tensión superficial es la causa de este fenómeno. Su efecto de mantener juntas las partículas del suelo depende tanto de la proporción de agua como de aire en el suelo. La adhesión se refiere a la atracción de la fase líquida sobre la superficie de la fase sólida. Las moléculas de agua pueden adherirse a la superficie de las partículas del suelo o a los objetos que estén en contacto con el suelo.

#### **2.4.3 Esfuerzo Normal**

Hibbeler (1998), menciona que cuando se aplica una fuerza sobre una área específica conocida, se dice que se está haciendo trabajar a esfuerzo normal al cuerpo al cual se le está aplicando la fuerza. El esfuerzo normal se define como la intensidad de la fuerza, o fuerza por unidad de área:

$$\sigma = P/A \quad (1)$$

$\sigma$  = Esfuerzo normal promedio en cualquier punto del área de la sección transversal

$P$  = Fuerza normal aplicada en el centroide del área de la sección transversal

$A$  = Área de la sección transversal en la que se aplica la fuerza

#### **2.4.4 Fricción interna**

En los procesos de laboreo, fundamentalmente cuando la herramienta de trabajo penetra en el suelo, la fricción generada contra una herramienta; teniendo áreas de contacto relativamente grandes, representa una componente significativa de los requerimientos de la fuerza de penetración. La fricción entre dos cuerpos es usualmente supuesta para seguir la ley por fricción simple.

#### **2.4.5 Textura**

El análisis del tamaño de partículas, llamado también análisis mecánico; determina el porcentaje de las tres fracciones minerales en el suelo: arena, limo y arcilla. Por consiguiente su clase textural o los tipos de minerales que componen dicho suelo. La textura es su característica más permanente, se refleja directamente en otras propiedades del suelo, tales como: estructura, régimen hídrico, permeabilidad, tasa de infiltración, tasa de escurrimiento, erodabilidad, manejo, penetración de raíces y fertilidad, etc. y como tal es un parámetro básico que debe ser determinado siempre. Gavande (1982), menciona que la textura del suelo esta relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo.

#### **2.4.6 Contenido de humedad**

Dentro del sistema suelo-agua existen tres fases, sólida (hielo), líquida y vapor. Bajo condiciones semi-áridas, la fase líquida es la de mayor interés ya que refleja las propiedades físicas del suelo en su estado natural o de laboreo. El suelo retiene agua de dos maneras: humedad libre en poros y espacios que existen entre las partículas sólidas, y como humedad adhesiva, por absorción de la superficie sólida de arcillas y partículas orgánicas. Del mismo modo resulta importante para los estudios de labranza puesto que la firmeza del suelo esta directamente relacionada con su contenido de humedad. El contenido de humedad libre de un suelo es determinado en el laboratorio y es presentado como porcentaje de peso de un suelo secado al horno. En la práctica agrícola, se desea

a menudo conocer el contenido de humedad como porcentaje en volumen de un suelo no disturbado.

#### **2.4.7 Densidad**

Gavande (1982); considera que la densidad, es una medida común e importante en la relación entre los sólidos y los poros en un momento dado. La densidad se refiere al peso por volumen del suelo, y está en relación con la porosidad. La densidad del suelo indica la firmeza del suelo, y con ella la resistencia que presentara a los implementos de labranza o raíces de las plantas cuando penetren. La densidad aparente es definida como la masa por unidad de volumen de suelo seco en su estado no disturbado. Los suelos con un alto espacio total de poros tienen baja densidad aparente e inversamente la baja porosidad indica alta densidad aparente.

### **2.5 Teoría sobre penetrómetros**

La penetrometría es una de las herramientas más utilizadas en el estudio de la calidad física del suelo, de igual manera se ha señalado que la principal ventaja de la penetrometría es la rapidez en la obtención de datos; esta característica le permite ser una herramienta de diagnóstico inicial sobre las condiciones físicas del suelo Bruñe et al. (1996), menciona que el penetrómetro es un aparato que permite obtener el valor de resistencia a la penetración del suelo. Esta es la fuerza por unidad de superficie necesaria para introducir una punta cónica hasta cierta profundidad del suelo. El índice de cono es el valor medio de los valores de la resistencia a la penetración ha determinada profundidad.

#### **2.5.1 Principio físico de los penetrómetros**

Estos se basan en el principio físico de conservación de la cantidad de movimiento. Se supone además que el choque de la masa con la cabeza de impacto es completamente plástico, es decir no se produce el rebote o amortiguamiento de la masa al impactar. Aplicando posteriormente otro de los principios de mecánica "La diferencia de energía cinética es igual al trabajo efectuado". En este caso la maza pasa de poseer una energía potencial en el momento inicial a tener energía cinética en el momento final que transmitirá finalmente al cono que penetrará en el suelo recibiendo de éste una resistencia a la penetración que deriva de este concepto.

### **2.5.2 Ensayos de penetración**

Herrick y Jones (2002), coinciden en mencionar que hay dos tipos de penetrómetros de cono: el estático y el dinámico. La distinción entre los dos penetrómetros esta en como se aplica la fuerza al cono para que penetre. El penetrómetro de tipo Estático, esta sujeto a una fuerza hidráulica, mecánica, o eléctrica constante (vía: camión, tractor, u otra fuente motorizada), los datos tomados a una profundidad en el perfil del suelo; se guardan, almacenan y analizan mediante un sistema de adquisición de datos analógico-digital. El ensayo de penetración dinámica consiste en una punta que es golpeada repetidamente para así penetrar en el suelo y conocer la resistencia de este a la penetración. Dicha punta consta de un cono cuyo ángulo suele ser  $30^\circ$  denominado también puntaza. En un principio estos instrumentos fueron concebidos para apreciar la compactación de los suelos sin tomar en cuenta la cohesión del suelo, de los cuales era muy difícil tomar muestras inalteradas. El penetrómetros de cono dinámico (DCPs, por sus siglas en ingles), trabaja aplicando al cono una cantidad conocida de energía cinética, que introduce al penetrómetro una distancia a través del suelo. Los penetrómetros dinámicos no tienen una velocidad de penetración constante.

### **2.5.3 Índice de cono**

El índice de cono, es medido usando un penetrómetro apropiado en conformidad con estándares reconocidos, es un indicador de la dureza del suelo y es expresado como la fuerza por  $\text{Kg/m}^2$  (o KPa). El índice de cono bajo las mismas condiciones del suelo varía con el ángulo de la punta y el área de la base del cono. Debe especificarse el ángulo de la punta y el diámetro de la base usados. La fuerza de penetración es medida a profundidades pre-establecidas y los resultados son presentados en graficas o como índice de cono. El índice de cono (IC) se define como la fuerza aplicada por unidad de área a una profundidad  $p$ , bajo ciertas condiciones físicas y mecánicas del suelo.

## **2.6 Teoría sobre transductores**

Moo (1999), consultado por Marín (2003), señala que los transductores o sensores, son elementos de transformación de una variable física correspondiente a un evento ocurrido, a una señal eléctrica que describe el comportamiento de ese evento o fenómeno y su desempeño se debe a los elementos de captura, estos solo trabajan con señales eléctricas. Mojica (2000), menciona que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza. Generalmente los transductores son empleados en la medición de magnitudes físicas, como por ejemplo, temperatura, presión longitud, fuerza, entre otras.

### **2.6.1 Transductores de fuerza**

Dieck (2000) consultado por Hinojosa (2003), menciona que los transductores de fuerza cubren toda la gama de dispositivos que convierten un esfuerzo mecánico a una cantidad eléctrica como voltaje o corriente. Cuando una fuerza se aplica a un cuerpo, este se deforma y produce una extensión debido a las fuerzas de tensión

o una compactación debido a fuerzas de compresión. Campos (1993), señala que uno de los transductores mas apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido. El transductor de fuerza más importante en el estudio de la instrumentación es la galga extensiométrica.

### 2.6.2 Galgas extensiométricas

Stanley (1992), citado por Mendoza (2004), menciona que las galgas extensiométricas se denominan así porque al deformarse longitudinalmente (estiradas, o aplicar fuerza de tensión o compresión) cambian su resistencia. La deformación se define como un cambio en su longitud de un material debido a un esfuerzo aplicado externamente.

### 2.6.3 Puente de Wheatstone

Las mediciones realizadas con más precisión de la resistencia, se obtienen con el puente de Wheatstone. Este circuito debe su nombre al físico británico Charles Wheatstone. Este (fig. 4) se considera como un sistema muy sensible a cambios pequeños en resistencias, y es el dispositivo más común para sensar cambios generados por galgas extensiométricas.

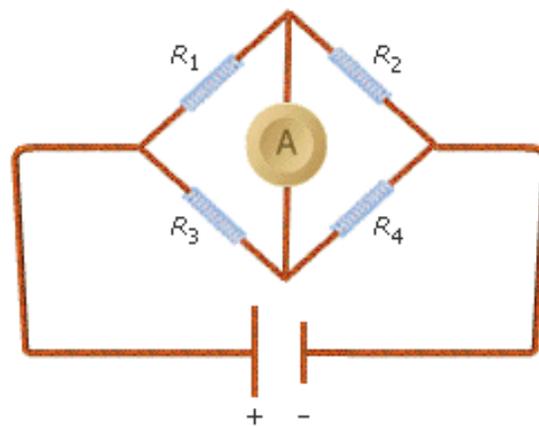


Fig. 3 Puente de Wheatstone.

El puente de Wheatstone es un circuito que se emplea para determinar el cambio de resistencia que una galga sufre cuando esta sujeta a una deformación. Holman (1981), estableció que el rango de resistencia que puede medir, varía entre  $1\Omega$  a  $1M\Omega$ .

## **2.7 Oleohidráulica**

El estudio de la hidráulica tiene que ver con el uso y características de líquidos (viscosos, como los aceites). La hidráulica se define como parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los líquidos, prácticamente ésta se puede definir como la utilización de los líquidos bajo presión controlada, para realizar trabajo. El principio fundamental de la hidráulica es debido a Pascal, este físico determinó que: la presión aplicada a un fluido confinado se transmite sin disminución de fuerza en todas direcciones, y actúa con fuerzas iguales en áreas uniformes en el contenedor en que se encuentre. Serrano (2002), identifica algunas de las ventajas que ofrecen los medios de transmisión oleohidráulicos frente a soluciones mecánicas:

- Movimientos suaves y silenciosos.
- Posibilidad de invertir fácilmente el sentido de la marcha.
- Regulación sencilla de las velocidades de trabajo.
- Control simple de las fuerzas y pares en los cilindros y en los actuadores de giro.
- Posibilidad de conseguir arranques y paradas progresivas en los movimientos.
- Fácil protección contra sobrecargas.
- Autolubricación de todos los componentes.

Carnicer y Mainar (2000), establecen que la Oleohidráulica, nos otorga la facultad de transmitir la energía mediante un líquido a presión. La diferencia con la neumática es que en esta se usa aire comprimido a presión de 7 bar, limitado por la presión máxima servida por el compresor, y en la Oleohidráulica, se logran

presiones superiores de trabajo que pueden alcanzar de 100 a 600 bar, aunque ambas metodologías se basan en los mismos principios fundamentales de la mecánica de fluidos e hidráulica. El funcionamiento de los sistemas oleohidráulicos es muy sencillo: la bomba se encarga de producir presión continuamente en el líquido, que recorre una red de tuberías que forman un circuito y que conectan en los cilindros (de simple o de doble acción) que ejecutan el trabajo hacia el exterior del sistema y por lo tanto son los que consumen la energía del fluido, provocando con ello una disminución de la presión del líquido, el cual retorna a la central hidráulica y vuelve a comenzar el ciclo.

### 2.7.1 Conceptos generales de oleohidráulica

Una fuerza  $F$  que actúa uniformemente sobre la superficie  $S$ , crea cierta presión. Dicha presión  $p$ , es igual al cociente entre el número que mide la fuerza y la superficie:

$$p = \frac{F}{S} \quad (2)$$

La presión, también; es proporcional a la fuerza, e inversamente proporcional a la superficie de contacto. Por lo tanto, la fuerza de presión sobre una superficie es igual al producto de la presión por la superficie:

$$F = p \times S \quad (3)$$

La presión relativa del aceite, en cualquier punto del circuito, es la carga que ha de vencer hasta llegar al depósito. Las unidades de presión dependen de las unidades de fuerza y de superficie que se utilicen. El control de velocidad y de presión, son fundamentales en cualquier circuito oleohidráulico que desarrolle un trabajo. El de velocidad permite regular la velocidad de traslación o de giro de los ejes de los componentes que realizan el trabajo, y el de presión permite regular la fuerza de actuación, o lo que es lo mismo, lo que se controla en general es la potencia del proceso.

## **2.8 Válvulas hidráulicas**

El control de una instalación hidráulica se realiza mediante válvulas. Es misión de estas regular la presión, el caudal, distribuir el aceite o cerrar cierta parte del circuito, o sea, regular la potencia que debe transmitir la instalación procurando que sus pérdidas sean mínimas. Serrano (2002), menciona que, las válvulas direccionales son componentes oleohidráulicos encargados de dar paso al fluido hidráulico por un conducto, impedir dicho paso o cambiar la dirección y sentido del mismo en un circuito cualquiera.

## **2.9 Cilindros hidráulicos**

Cuando la energía hidráulica debe convertirse en un desplazamiento lineal (trabajo lineal), deben utilizarse como elementos transformadores, los cilindros hidráulicos. Estos constan de un cuerpo, un cabezal posterior y otro anterior que presenta un agujero para permitir que el vástago se deslice a través del cabezal anterior. La parte móvil del cilindro consta de: el embolo y el vástago que transmiten la posición del embolo al exterior. La cámara posterior no presenta problemas, pero en la anterior existe el agujero de salida del vástago, por lo que ésta debe equiparse con las correspondientes juntas o empaques. Esto se basa en que toda presión aplicada sobre un aceite contenido en un recipiente rígido y cerrado se transmite uniformemente en todas direcciones. Los cilindros hidráulicos son los brazos de los sistemas hidráulicos. Estos elementos mecánicos son actuadores lineales. Entendemos por línea (en hidráulica), simplemente; a que la salida de un cilindro se convierte en un movimiento o fuerza, o ambos en línea recta. De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos como de simple efecto y de doble efecto, y en diferenciales o no diferenciales. Entre sus variantes encontramos los diseños en forma de émbolos o de vástago o pistón; los vástagos además pueden ser sólidos o telescópicos. Los cilindros hidráulicos de los tractores suministran presión de aceite externa a las maquinas e implementos

con cilindros hidráulicos, de simple y de doble acción y a motores hidráulicos orbitales.

El caudal (Q) en un cilindro se calcula por medio de la siguiente formula:

$$Q = S \times V \quad (4)$$

Donde:

Q en l/min. o en cm<sup>3</sup>(m/s)

S (superficie) en cm<sup>2</sup>

$$S = A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.1)$$

V es velocidad en m/seg

El caudal se expresa también en cm<sup>3</sup>/seg

$$Q = 6 \times S \times V \quad (5)$$

## 2.10 Circuitos hidráulicos

Las aplicaciones de los principios y componentes hidráulicos existentes en el mercado, son innumerables; como lo es también la combinación de los componentes dentro de un sistema. Muchos de los circuitos se presentan en diagramas pictóricos o de corte para facilitar el recorrido del fluido en un sistema. Los diagramas gráficos mostrados para todos los circuitos, se elaboran para ayudar a entender el sistema con mayor facilidad. Los circuitos hidráulicos son diagramas físicos dibujados a base de la simbología de los componentes que lo forman. En estos se especifican las válvulas, cilindros y demás elementos, así como también las líneas de presión y descarga de la misma. Los circuitos nos dicen la forma, posición y ubicación de cada componente para la correcta operación de los circuitos y en conjunto de la maquina de la que forme parte dicho diagrama.

## **2.11 Conexiones y mangueras**

Carnicer y Mainar (2000), señalan que cuando el uso de tubería rígida no resulta aconsejable por la presencia de vibraciones, o cuando desde de un punto de vista fijo a otro móvil se ha de transportar el fluido, se recurre a un tipo de tubería que además de soportar altas presiones, puede enrollarse, pandearse o flexarse fácilmente, siendo conocida como tubería flexible o manguera. La estructura de estas tuberías consiste en una disposición alternada de capas de tejido de caucho sintético, y como refuerzo trenzas de acero tratado superpuestas. Según la gama de presiones a la que se destina, se fabrican tipos con una o más. Para la unión de conexiones y demás órganos, las mangueras; llevan en sus extremos coples rápidos. La mayoría de los coples o conexiones usados para las salidas del sistema hidráulico de los tractores, son de tipo ISO o estándar. Estas conexiones conocidas también como coples, son de acoplamiento fácil y rápido.

## **2.12 Teoría sobre diseño de estructuras**

En el diseño de una estructura intervienen la determinación de las fuerzas en los distintos miembros y la elección de las formas y dimensiones adecuadas para resistir esas fuerzas. Fitzgerald (1990), menciona que todas las estructuras de ingeniería, ya sean maquinas, automóviles, aeroplanos, edificios, o puentes, se construyen ensamblando partes, generalmente llamadas *miembros*. Una estructura se diseña determinando las dimensiones adecuadas a los distintos miembros de manera que puedan soportar las cargas aplicadas sin deformación excesiva ni fractura. La mecánica de materiales es la ciencia aplicada que proporciona los principios básicos para el diseño. En el diseño de estructuras, además de la resistencia y de los requisitos de rigidez, se necesitan otras consideraciones. Algunas de ellas son costo, accesibilidad, lubricación, durabilidad, etc. La interrelación entre esos requisitos y los principios de la mecánica de materiales se analiza con los procedimientos de diseño de

mecanismos y de estructura. Hibbeler (1998), señala que en una estructura es indispensable calcular las cargas internas resultantes y las que generan estas:

$$\sigma_{MAX} = -((M \times c)/I) \quad (6)$$

donde:

$\sigma_{MAX}$  = Esfuerzo normal máximo en el miembro que ocurre en el punto de la sección transversal más alejado del eje neutro

$M$  = Momento interno resultante, determinado con el método de las secciones y con las ecuaciones de equilibrio; se calcula respecto a al eje neutro

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal calculado con respecto al eje neutro

$c$  = Distancia perpendicular del eje neutro al punto mas alejado de este eje y sobre el cual actúa  $\sigma_{MAX}$

Es importante calcular también:

$$\tau = ((VQ)/(It)) \quad (7)$$

$\tau$  = Esfuerzo cortante en el miembro en un punto situado a una distancia  $y'$  del eje neutro. Se supone que este esfuerzo es constante y por tanto promediado a través del ancho  $t$  del miembro

$V$  = Fuerza cortante interna resultante, obtenida con el método de las secciones y las ecuaciones de equilibrio

$$I = 1/12(b \cdot h^3) \dots \dots \dots 7.1$$

$I$  = Momento de inercia de toda la sección transversal de interés respecto al eje neutro, para el caso de secciones rectangulares

$t$  = Ancho de la sección transversal del miembro en el centroide de la placa.

$Q = \bar{y}' A'$  Donde  $A'$  es la porción superior (o inferior) del área transversal del miembro considerada desde la sección en que se mide  $t$ , y  $\bar{y}'$  es la distancia del centroide de  $A'$  al eje neutro

Faires (1999), establece que uno de los parámetros importantes a considerar y tomando en cuenta el caso particular del tipo de viga en análisis, es la deflexión máxima ( $y_{max}$ ) en el centro de la viga o placa:

$$y_{max} = ((FL^3)/(192EI)) \quad (8)$$

Donde:

$F$  = Fuerza normal aplicada en el centro de la viga

$L^3$  = Longitud de la viga al cubo

$E$  = Modulo de elasticidad del material propuesto o en análisis

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal de interés en análisis

### **2.13 Sistema de adquisición de datos**

Los sistemas de adquisición de datos que se utilizan para medir y registrar lecturas o señales obtenidas, son básicamente de dos maneras:

1) Aquellas que se originan a partir de la medición directa de cantidades eléctricas que pueden incluir voltaje de corriente directa (CD) y de corriente alterna (CA), frecuencia o resistencia; suelen hallarse en las áreas de prueba de componentes electrónicos, estudios ambientales y trabajos de control de calidad.

2) Señales que se originan a partir de transductores como galgas extensiométricos y termopares.

Los sistemas de instrumentación se pueden clasificar en dos grupos principales: Analógicos y Digitales. Los sistemas analógicos tratan la información de mediciones o lecturas, en forma analógica. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una grafica de voltaje contra tiempo, o desplazamiento contra presión. Los sistemas digitales manejan la información en forma digital. Una cantidad digital puede entenderse como un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad.

Un sistema análogo de adquisición de datos consta de algunos o todos los siguientes componentes:

1. Transductor. Para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.
2. Acondicionador de señal. Para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
3. Dispositivo de presentación visual. Para el monitoreo continuo de las señales de entrada. Estos dispositivos pueden incluir osciloscopio de varios canales o de un solo canal, osciloscopio de almacenamiento, panel de medidores, desplegados numéricos, etc.
4. Instrumento de registro de graficas. Para obtener un registro permanente de los datos de entrada.
5. Instrumentación de cinta magnética. Para guardar los datos de entrada, conservar una forma eléctrica original y reproducirlos para posterior análisis.

Un sistema digital de adquisición de datos, puede incluir algunas o todas las siguientes partes:

1. Transductor. Transforma parámetros físicos en señales aceptables para el sistema de adquisición. Algunos parámetros son la temperatura, presión, aceleración, desplazamiento de cargas y velocidad. Es posible medir directamente también cantidades eléctricas como voltaje, resistencia o frecuencia.
2. Acondicionador de señal. Por lo regular incluye todos los circuitos de soporte para el transductor. Esta circuitería puede proporcionar la energía de excitación, circuito de equilibrio y elementos de calibración.
3. Explorador multiplexor. Acepta múltiples entradas analógicas y las conecta secuencialmente a un instrumento de medición.
4. Convertidor de señales. Transforma la señal a una aceptable para el convertidor analógico-digital. Un ejemplo claro de este dispositivo es un amplificador de voltaje de bajo nivel generado por termopares o por galgas extensiométricos.
5. Convertidor analógico-digital (A/D). Convierte el voltaje analógico a su forma digital equivalente. La salida del convertidor A/D se puede desplegar

visualmente y esta disponible como voltaje en pasos discretos para procesamiento posterior o grabación en registro digital.

6. Registro digital. Registra información digital en tarjetas perforadas, cinta de papel perforado, cinta magnética, páginas mecanográficas o una combinación de acoplamiento que transforma la información digital en forma apropiada para la entrada del registro digital seleccionado.
7. Equipo auxiliar. Esta sección contiene instrumentos para funciones de programación de sistemas y procesamiento digital de datos.

Los sistemas de adquisición de datos se utilizan en un gran número de aplicaciones, en una variedad de áreas científicas de la investigación. El tipo de sistema de adquisición de datos, analógico o digital; depende del uso de los datos registrados. En general, los sistemas de adquisición de datos analógicos se utilizan cuando se requiere un amplio ancho de banda o cuando se puede tener tolerancia en la exactitud de la medición. Los sistemas de adquisición de datos digitales se emplean cuando el proceso físico en estudio varía poco (ancho de banda angosta) y cuando se necesita una exactitud alta y bajo costo por canal. Los sistemas digitales varían en complejidad desde sistemas de un solo canal para medición y registro de voltajes de CD de parámetros de entrada, los compara 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.

### **III. Materiales y métodos**

#### **3.1 Materiales**

El presente trabajo fue desarrollado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con la colaboración de personal del Departamentos de Maquinaria Agrícola.

Para la realización de este trabajo se utilizo una computadora *Compaq presario 1200*, con capacidad de 9.35 gigas en disco duro, procesador *Intel Celerom*, capacidad de memoria RAM de 124 MB y 776 MHz de velocidad. A dicho equipo se le instalo el software *AutoCAD* (versión 2002) para la creación de la memoria física del dibujo o prototipo para el proyecto, así como las acotaciones correspondientes. También se necesito el paquete *Visio Technical* (versión 2000) para la configuración del circuito hidráulico para el accionamiento del equipo propuesto. Los elementos para la estructura de soporte de los componentes del penetrómetro, se propone que sean de materiales comerciales y de buena calidad.

#### **3.2 Metodología**

##### **3.2.1 Generalidades del diseño mecánico**

El diseño en ingeniería es el procedimiento de idear sistemas, componentes o procesos para satisfacer alguna necesidad existente dentro de un sector de la sociedad. Es un proceso de toma decisiones en el que las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería, se aplican para convertir los recursos disponibles y óptimos, a fin de cumplir un objetivo previamente establecido. Los pasos que comúnmente encontramos en los procesos de diseño, están: el establecimiento de objetivos, criterios, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación entre los más importantes. El diseño mecánico comprende objetos y sistemas de naturaleza mecánica, tales como: maquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte el diseño mecánico hace uso de

las matemáticas, la ciencia de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas. La etapa de diseño es una especie de mapa que nos guía desde la concepción de una idea hasta la obtención del producto final de manera que se puedan ir tomando las decisiones más viables a través de dicha etapa a fin de obtener un producto que cumpla con los estándares de calidad, y que sea desarrollado rápida, correcta y económicamente. Se han definido varios procesos de diseño para ayudar a organizar la búsqueda de soluciones a una situación problemática no estructurada de algún sector de la sociedad, aquel para el cual (refiriéndose al problema), la definición del mismo aun es vaga y para el cual puede haber una gran cantidad de soluciones. La metodología empleada para el desarrollo de cualquier maquina, mecanismo, implemento, estructura, etc. se podrá basar en los tantos procedimientos que hoy día existen en el ramo del diseño. Shigley y Mishke (1990), mencionan que diseñar es formular un plan para satisfacer una demanda o necesidad humana.

### **3.2.2 Iniciativa de la propuesta**

Como ya se ha explicado en apartados anteriores, la necesidad que tenemos de conocer todos los aspectos físicos, agronómicos, mecánicos, etc. de los suelos usados para producción agrícola y pecuaria. Estos en conjunto son importantes para saber la necesidad de fuerza y potencia que demanda los implementos y que los tractores pueden generar, para poder recomendar la fuente apropiada.

Los terrenos del país son muy variados en sus características agronómicas, por lo que presentan diferencias en los parámetros del suelo y que repercuten en el desempeño de los tractores e implementos usados en la agricultura. En el parque de maquinaria agrícola de la Universidad, contamos con múltiples implementos de labranza tradicional, algunos de los cuales han sufrido averías, a consecuencia de la dureza de los suelos. En otro caso característico observado en campo; de implementos trabajando es que, los implementos no hacen una labor 100% efectiva sobre el suelo o que el tractor no proporciona la suficiente potencia requerida por el implemento para superar las fuerzas opuestas por el suelo. Todas

estas situaciones no deseadas se pueden encontrar en todo el país, ya que no existe información reciente de resistencia a la penetración para hacer frente a estos problemas; y con la variada cantidad de tipos de suelos que encontramos en la república mexicana, los problemas se hacen más críticos en cada una de las regiones. Esto a raíz de no conocer las características de dichos suelos, al hacer trabajar implementos en terrenos demasiado compactados o el implemento a demasiada profundidad, en terrenos muy secos y duros, con tractores demasiado grandes comparados con el tamaño de los implementos, etc.; es como hacemos gastos económicos desmedidos en compra de maquinaria y equipo así como estar explotando inadecuadamente dichas adquisiciones.

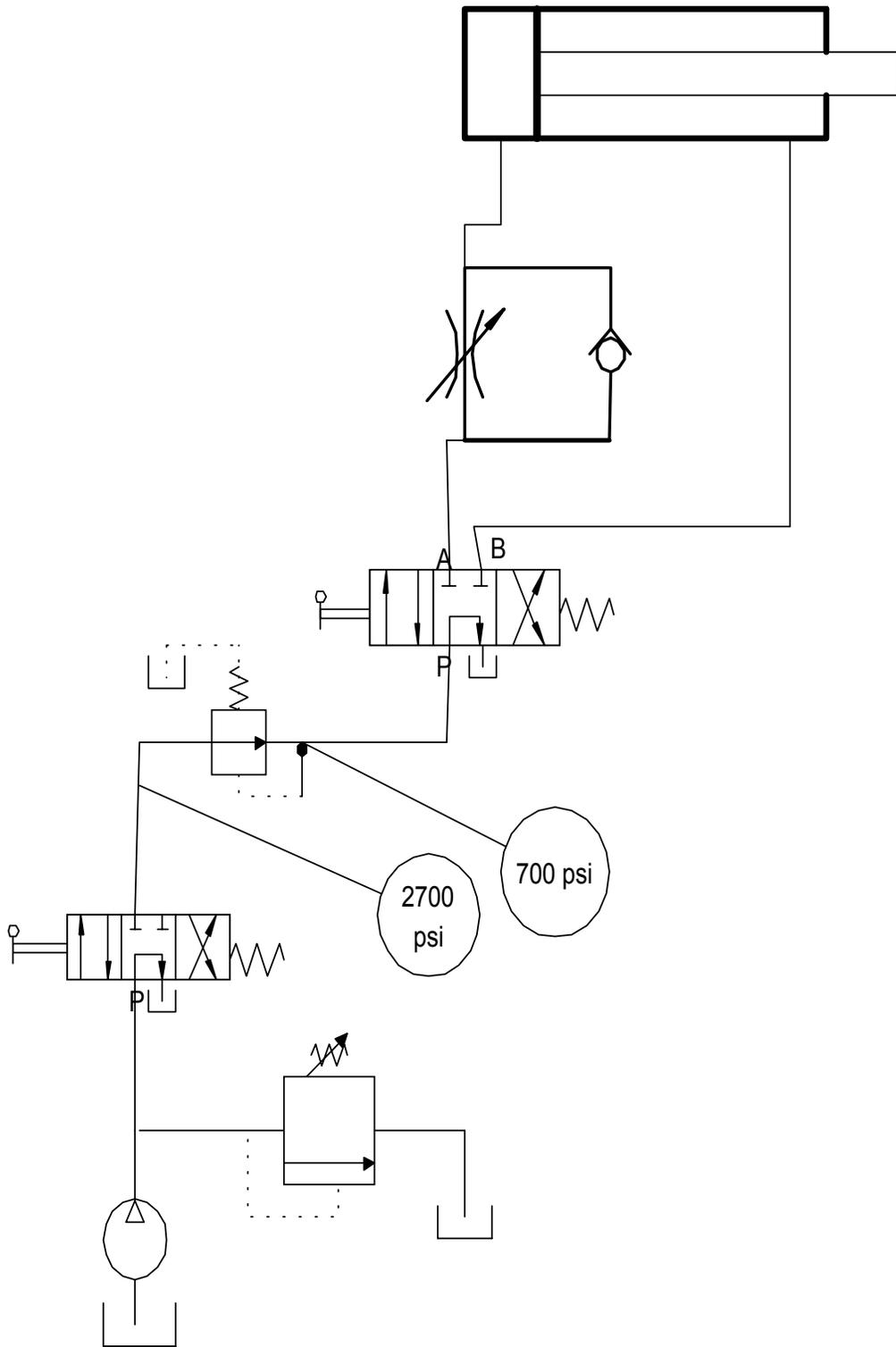
El tema de la resistencia del suelo a la penetración, no está muy desarrollado con relación al grado de investigación y tecnología generada en el mundo en los últimos 20 años o por lo menos no se tienen registros. Los equipos más sofisticados que actualmente están en el mercado, son de poco uso en nuestro país por el alto costo que representan desde el punto de vista de adquisición e importación. Así como también, por la baja capacidad de trabajo que manejan, aun cuando tienen grandes ventajas como la capacidad de almacenaje de datos obtenidos en las pruebas. Los penetrometros más usados son los de impacto, y máquinas especiales adecuadas a las condiciones requeridas y aptas para realizar mediciones de índice de cono. Además, estos aparatos son de accionamiento manual; con lo que los errores humanos se ponen de manifiesto. Analizando esta información y teniendo en cuenta la falta de investigación sobre la resistencia a la penetración, además de la escasez de equipos que existen en el mercado nacional para medir este parámetro directamente en campo. Según lo observado y analizando la información encontrada, necesitamos un aparato versátil, preciso, de fácil y rápido manejo y que tenga una fuente de potencia ilimitada y de gran capacidad de carga. Por lo que decidimos que nuestro equipo tenga como fuente de potencia el sistema hidráulico del tractor y que vaya montado a los tres puntos de enganche de dicha máquina. El sistema hidráulico de los tractores con tipo de enganche de categoría II, manejan una capacidad máxima en presión de

operación de alrededor de 2756 psi (tractor NH 4010) con una bomba tipo engranes, con un caudal de 8.7 gpm o 32.8 lpm. Con lo que no tendríamos problemas, puesto que la presión de operación del penetrómetro es de 750 psi como máxima, esto de acuerdo a la norma S313.1 de ASAE.

### **3.2.3Fuente de accionamiento del sistema penetrómetro**

A partir de las especificaciones de presión establecidas por ASAE (norma S313.1), se busco un actuador comercial tal que nos proporcionara la presión buscada para penetrar el suelo, que tuviera una carrera larga; esto con el fin de alcanzar una profundidad de prueba acorde con la profundidad de laboreo del suelo. Además de estos requisitos, para fines de buena presentación del prototipo, se requería un pistón no muy robusto. Los tractores agrícolas categorías II manejan una presión nominal de hasta 2756 psi de fuerza en el sistema hidráulico.

Con el siguiente circuito se pretende accionar el cilindro para el penetrómetro sin que se perjudique ningún componente hidráulico como pueden ser válvulas y mangueras principalmente.



**Fig. 4** Circuito hidráulico para accionar el penetrómetro.

### **3.3 Características generales de la penetrometría**

#### **3.3.1 Norma ASAE S313.1 para penetrómetros de cono de 30°**

Esta norma establece los principios de uso y prueba con penetrómetros de operación manual, publicada en el libro de estándares de ASAE 1983-1984. Los penetrómetros (estáticos y dinámicos) posteriores a esta fecha, se basan en las especificaciones de dicha norma. Todas las pruebas realizadas con penetrómetros que generen cambios a la norma, como la ASAE 1999a y la 1999b, están basadas en las especificaciones de la S313.1 de ASAE.

##### **3.3.1.1 Alcance y Propósitos de la norma**

#### **Alcance**

El penetrómetro de cono para suelos, se recomienda como un dispositivo de medición para proporcionar un método uniforme y normal de prueba para conocer las características de la resistencia a la penetración del suelo. La fuerza exigida para insertar en el suelo, el cono de 30°; puede ser expresada en lb/plg<sup>2</sup> (psi) o KN/m<sup>2</sup> (KPa), que es un índice de fuerza del suelo, llamado "índice de cono."

#### **Propósitos**

La Norma se establece o se entiende para los siguientes propósitos:

- 1) Proporcionar un método general y común de prueba para suelos, que exprese las condiciones mecánicas de los mismos, así como también la interpretación de estos datos por los diferentes investigadores relacionados con el tema.

2) Ayudar a aquellos que trabajan con los diferentes suelos bajo diferentes condiciones; y quién necesite una medición de las propiedades mecánicas de terrenos de cultivo para los propósitos comparativos.

3) Proporcionar un sistema común de caracterización para las propiedades del suelo, con lo que puede ser posible desarrollar actuación y predicción de las relaciones que puedan existir.

4) La norma sirve como un medio para medir, describir e informar la resistencia del suelo a la penetración compuesta, no proporciona los valores específicos de las fuerzas existentes en el suelo y que afectan al instrumento de prueba; como la cohesión, el ángulo de fricción o coeficiente de fricción del suelo-metal.

### **3.3.1.2 Definiciones**

*Penetrómetro de cono.* Formado por un cono redondo de 30° de acero con un acabado liso, una varilla o árbol graduado, una cabeza o masa y un medio de lectura tipo manómetro.

*Área de la base.* El área transversal de la base o el diámetro del cono expresada en  $\text{plg}^2$  o en  $\text{cm}^2$ .

*Índice de cono.* La fuerza por unidad de área, necesaria para empujar e insertar el cono (penetrómetro) a través de una pequeña superficie específica del terreno. Pueden expresarse los valores en psi ( $\text{lb/plg}^2$ ) en X y Y en pulgadas, es la profundidad de penetración. La fuerza en psi en X promediada en Y o Z en pulgadas (o mm) de profundidad, o  $C_{I_y}$  o  $C_{I_{y-z}}$ . Debe establecerse el tamaño de cono que se usa o se uso para los datos graficados.

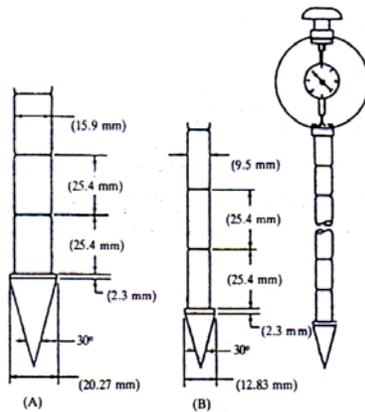
*Perfil de profundidad.* La relación de resistencia de profundidad-penetración graduada de una condición y situación específica.

### 3.3.1.3 Aparato y Procedimiento de Prueba

El penetrómetro de cono para suelo, operado manualmente tiene un cono estándar y una varilla o árbol graduado. Dos conos de tamaño pequeño son los recomendados: 0.5 plg<sup>2</sup> y 0.798 pulgadas de diámetro (3.2 cm<sup>2</sup> y 20.27 mm de diámetro) y 0.625 pulgadas (15.9 mm) de diámetro en la varilla, para suelos suaves. El otro con 0.2 plg<sup>2</sup> y 0.505 pulgadas diámetro (1.3 cm<sup>2</sup> y 12.83 mm de diámetro) con 0.375 pulgadas (9.5 mm) de diámetro en la varilla, recomendado para suelos duros. El Instituto Americano del Hierro y del Acero (AISI), determinó que el acero AISI 416, con acabado liso y limpio (63 micropulgadas máximo) es el que se recomienda para maquinar el cono. El cono de área 0.2 plg<sup>2</sup> (1.3 cm<sup>2</sup>) es el ideal para los instrumentos operados manualmente y, recomendado para suelos duros, si la varilla no excede una longitud de 18 pulgadas (457 mm) de longitud. En los suelos sumamente duros, mecánicamente sé a manejado el cono del área de 0.5 plg<sup>2</sup> (3.2 cm<sup>2</sup>), es recomendable debido a que la varilla es más resistente. Las graduaciones en esta, son de 1.0 plg (25.4 mm) por cada parte y se usa para identificar la profundidad en los dispositivos operados manualmente. El dispositivo de medición de unidades operadas manualmente debe tener una capacidad de índice de cono de aproximadamente 300 psi (21 kg/cm<sup>2</sup>) para el cono de 0.5 plg<sup>2</sup> (3.2 cm<sup>2</sup>). Se recomienda que el penetrómetro no exceda 750 psi (53 kg/cm<sup>2</sup>) para el cono de 0.2 plg<sup>2</sup> (1.3 cm<sup>2</sup>), para que resulte conveniente para más condiciones de terrenos agrícolas. Deben informarse los datos tomados con penetrómetros no estandarizados pero, deben acompañarse por una descripción del penetrómetro que ha utilizado y el método de uso. En suelos muy suaves, al operar a gran profundidad, debe tenerse cuidado para que el árbol o varilla no arrastre. Una varilla de diámetro más pequeño puede ser necesaria en algunos casos. Debe reemplazarse el cono del Penetrómetro cuando el uso del diámetro bajo excede 3% y por consiguiente afecta el índice del cono en 5%. El desgaste de 0.06 pulgadas (1.5 mm) en la base del cono proporciona la vida más larga del cono sin afectar la exactitud de las lecturas. La opinión personal en base en la observación debe usarse para desechar los conos deteriorados por factores como la

brusquedad excesiva o el uso anormal. El suelo provoca que rápidamente se modifique la forma del cono y termine su vida útil, pero se sugiere cambiar el diámetro de acuerdo a criterio personal para el desecho de dicha pieza.

El registro de los datos y mecanismos de los penetrómetros pueden tener formas diferentes, pero el cono, el tamaño de la varilla, y la velocidad de penetración deben coincidir con las especificaciones de esta Norma. El cono se introduce en el suelo a una velocidad uniforme de aproximadamente 72 pulgadas por minuto (1892 mm por minuto). Deben hacerse las lecturas subsecuentes continuamente o tan frecuentemente como sea posible mientras se mantengan una velocidad de penetración de 72 plg/min (1892 mm/min) en la proporción de penetración. Deben hacerse las lecturas de los penetrómetros manuales a los incrementos de profundidad de 2 pulgadas (50 mm) o menos. La profundidad se indica por las señales en la varilla del penetrómetro. Si debe ser necesario detener el penetrómetro a alguna profundidad (como probablemente sería el caso donde sólo una persona este realizando la prueba de resistencia a la penetración), puede reasumirse la penetración medida sin introducir los errores. En los terrenos muy duros no es posible lograr una proporción tan alta como 72 pulgadas por minuto (1892 mm por minuto), pero las velocidades algo más lentas no producirán errores significativos. Los penetrómetros operados manualmente pueden exigir un operador para el instrumento y un ayudante que registre los datos. Deben tomarse cinco a siete lecturas para establecer el índice del cono y verificar la presencia de capas compactadas en el perfil del suelo.



**Fig. 5 Especificaciones de la norma**

### 3.3.1.4 Guía para la interpretación y presentación de datos

El índice de cono puede expresarse como una fuerza contra profundidad. Pueden expresarse los valores medios del índice de cono por los incrementos específicos del perfil o en las relaciones de profundidad-penetración. Cuando se caracteriza el incremento del perfil, deben informarse; el tamaño y situación de los incrementos para los valores de índice de cono correspondientes. El área perfil de cualquier plano de prueba puede construirse gráficamente conectando puntos de índice del cono; igual para las áreas específicas de interés. Los datos disponibles de la humedad del suelo, densidad o clasificación pueden ser incluidos con los datos del penetrómetro para mejorar la interpretación de los resultados.

### 3.4 Cálculos y resultados

El diámetro del embolo del pistón seleccionado es de 2.5 plg. y el área de 4.90875 plg<sup>2</sup>. La presión es  $P = F/A$ : por lo que la fuerza en el pistón será:

$$F = 750 \times 0.2 = 150 \text{ lb}$$

El cono pequeño esta diseñado para soportar 53 Kg/cm<sup>2</sup> o 750 psi, el cual producirá una presión P en el pistón de:

$$P = 150 / 4.90875 = 30.558 \text{ psi con ambos conos.}$$

La velocidad estándar de penetración es de 72 plg/min

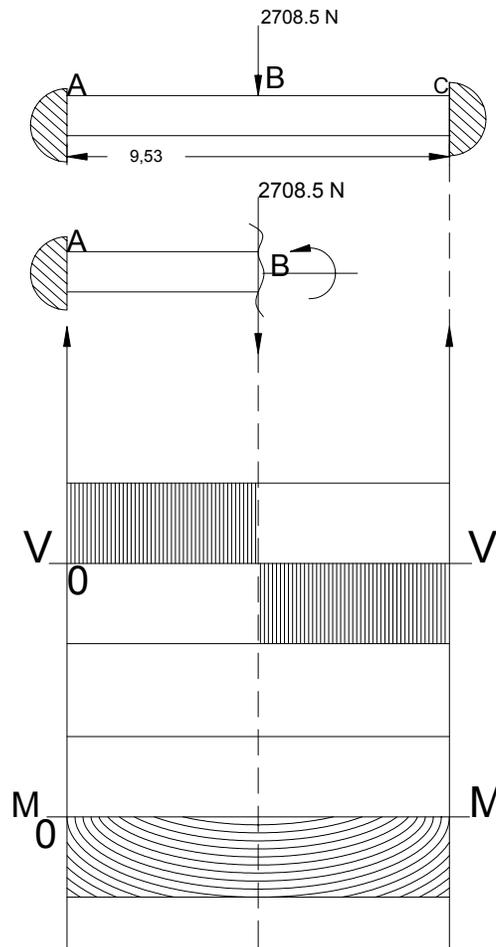
El gasto (Q), en el pistón es (A x V):

$$Q = 4.90875 \times 72 = 353.43 \text{ plg}^3/\text{min}$$

$$Q = 353.43 / 231 = 1.53 \text{ GPM}$$

Todos los elementos de interés, que puedan llegar a estar en riesgo de flexión o corte en una estructura, deben de analizarse de acuerdo a los procedimientos que para estas fuerzas, la literatura establece; tomando en cuenta las fuerzas muertas y de trabajo actuantes sobre los elementos que nos interesen analizar.

Análisis de la placa, corte en B, diagrama de corte y de momentos. Se considera como una viga empotrada en ambos extremos.



**Fig. 6 Análisis de la placa de soporte.**

Cálculos:

Puntos A y C

$$V_A = F/2 = 2708.5/2 = 1354.25 \text{ N}$$

$$V_C = -F/2 = -(2708.5/2) = -1354.25 \text{ N}$$

$$M_A = M_C = -((FL)/8) = -((2708.5 \times 9.525)/8) = -3224.8 \text{ N/cm}$$

Punto B

$$V_B = \Sigma F_Y = 0$$

$$1354.25 - 2708.5 = V_B$$

$$V_B = -1354.25 \text{ N}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_B = -((1354.25 \times 9.525)/2) + 3224.8 = -3224.8 \text{ N/cm}$$

Análisis del área transversal de la viga en su parte de aplicación de cargas, (el centro). Acotaciones en centímetros (cm).

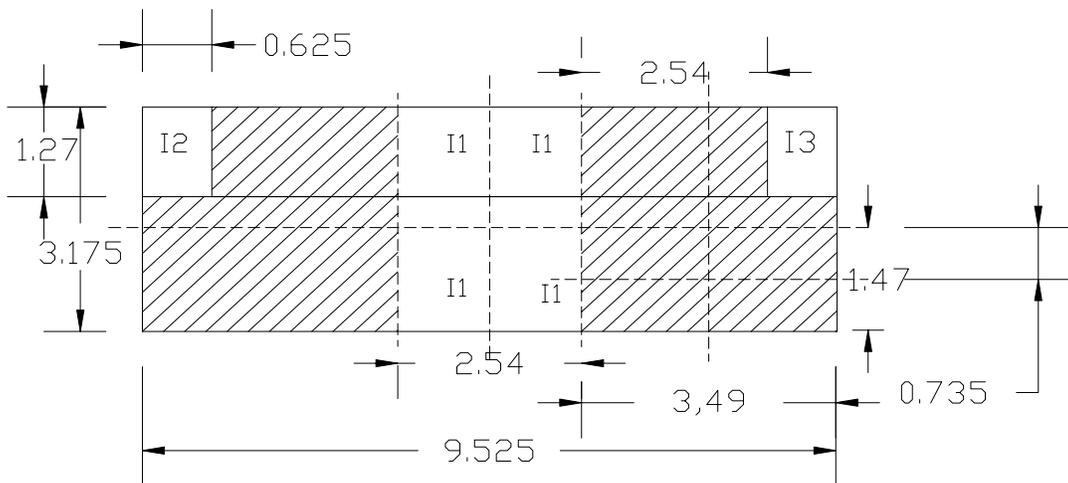


Fig. 7 Sección transversal de la placa de soporte

Momento de inercia (I) en el centro de la placa, para una placa rectangular es:

$$I = 1/12 (b \times h^3)$$

$$I_{\text{COMPLETO}} = 1/12 (9.525 \times 3.175^3) = 25.4 \text{ cm}^4$$

$$I_1 = 1/12 (2.54 \times 3.175^3) = 6.77 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = I_3 = 1/12 (1.27 \times 0.635^3) = 0.0271 \text{ cm}^4$$

$$I_2 + I_3 = 0.0542 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{INTERES}} = I_{\text{COMPLETO}} - (I_1 + I_2 + I_3)$$

$$I_{\text{INTERES}} = \underline{18.576 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma = M \times c/I = ((-3224.8 \times 1.47)/18.576) = \underline{-254.73 \text{ N/cm}^2}$$

$$\tau = ((VQ)/(It))$$

$$Q = \bar{y}'A' = (0.735 \times (3.49 \times 1.47)) \times 2 = \underline{7.54 \text{ cm}^3}$$

$$t = 6.985 \text{ cm}$$

$$\tau = ((-1354.25 \times 7.54) / (18.576 \times 6.985)) = \underline{-78.7 \text{ N/cm}^2}$$

Cálculo la deflexión o rigidez, ( $y_{\text{MAX}}$ )

$$y_{\text{MAX}} = ((FL^3)/(192EI))$$

$$y_{\text{MAX}} = ((2708.5 \times 9.525^3) / (192 \times ((200 \times 10^9)(18.576))) = \underline{3 \times 10^{-9} \text{ cm}}$$

Mott (1992), menciona que según el espesor de la placa a utilizar será el grosor de la soldadura; para una placa de mayor que  $\frac{1}{2}$ " y menor a  $\frac{3}{4}$ ", el tamaño mínimo de la soldadura debe ser de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Fitzgerald (1970), menciona que la carga máxima que soporta una soldadura en forma de filete es:

$$P = S_s A = S_s 0.707 a L$$

*Donde:*

$S_s$  = esfuerzo cortante permisible de la soldadura especificada

P = fuerza cortante permisible en lb

a = tamaño de la soldadura en plg

L = longitud de la soldadura en plg

0.707 = es el área de la soldadura que queda sometida a esfuerzo cortante

Se propone que para las secciones donde se va soldar se utilicen electrodos para soldadura INFRA 6013 con resistencia de 60,000 lb-plg<sup>2</sup>. Para el caso de la placa en diseño:

$$P = (60,000) (0.707) (\frac{1}{4}) (9) = \underline{95445 \text{ lb}}$$

Según la configuración del sistema, se clasifican las siguientes partes comerciales y partes maquinadas y sus costos totales para determinar el costo total del penetrómetro.

**Tabla 2 Presupuesto de materiales para la configuración de sistema del penetrómetro.**

Artículo o pieza	Descripción	Precio cotizado
PTR para estructura	2-1/2" x 2-1/2" Blanco 35.5 Kg	304.35
PTR para estructura	2" x 2" Blanco 24.5 Kg C-12	161.94
Cilindro hidráulico reconstruido, con placa de montaje	Carrera: 85 cm Montaje (modificado): Brida rectangular en la cabeza (4.5" x 1.5" x 1/2" con estopero y 8 perforaciones de 0.2835" de diámetro para montaje del pistón)	1190.25
Transductor de fuerzas (Anillo Extendido)	Octagonal	7500.00
Válvula reductora de presión	D03	3306.25
Válvula controladora de flujo	En línea .5	767.00
Válvula direccional	D03 de palanca	3399.00
Mangueras hidráulicas flexibles	0.5" x 2.5 m Hembras (2) 0.5" x 0.72 m Hembras (2)	304.20 158.70
Varilla o solera Para cono 1	Redonda: acero inoxidable Diámetro = 5/8"	200.00
Para cono 2	Redonda: acero inoxidable Diámetro = 3/8"	150.00
Conos (2) maquinados	COLDROLL de acero inoxidable Cono 1 (20.27 mm de diam.) Cono 2 (12.83 mm de diam.)	250.00 150.00
Placa de montaje	Acero comercial	50.00
Placa para patín de nivelación	Acero comercial	50.00
Placa para guía de los patines	PTR 2-1/2" x PTR 2-1/2"	90.00
Perno de potencia (2)	Perno comercial	250.00
Manifold	D03 1 estación	859.63
Filtro de retorno	Con base	357.08
Conector (2)	3/8" NTP A 1/2" JIC	19.84
Conector (2)	1/2" NTP - JIC	24.47
Coples rápidos (2)	1/2"	448.65
Pernos para montaje	1-1/8" estándar (2)	500.00
Angulo de acero	3/8" espesor 2.5 m	212.00

\$20,703.36

## PROTOTIPO GENERADO

Después de la revisión y el análisis de literatura, y de realizar los cálculos necesarios en las secciones de interés, se procedió a realizar el modelo en estado de arte en el Software correspondiente (AutoCAD).

En las siguientes figuras o plantillas se muestran a detalle los aspectos de dicho modelo. Las vistas consideradas son las necesarias para una perfecta comprensión de los dibujos mostrados, así como de las respectivas dimensiones mostradas en cada plantilla. En el recuadro de identificación de cada plano se encuentran los datos generales de dicha figuras.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Los cálculos realizados en las partes más propensas a falla, arrojaron resultados por demás alentadores, ya que en ningún caso los elementos tienen riesgo de fractura.

El material presupuestado para el desarrollo de este proyecto, nos totaliza una cantidad mucho menor que los penetrómetros comercialmente cotizados y que cumplen con los requisitos para la actividad que desea realizar; los cuales tienen un costo de \$ 40,000. Los más baratos o de poca calidad. Otros como el *BUS 1000 sp* de ELE Internacional por mencionar alguno, tiene un costo de alrededor de \$ 90,000.

Con la culminación de este proyecto se obtendrá un instrumento para el laboratorio de prueba y evaluación de la Universidad, ya que con esto; al realizar la evaluación se podrá recoger información verídica con respecto a las condiciones mecánicas del suelo, en el momento de la evaluación y así dictar un resultado más exacto del desempeño en campo de maquinas e implementos nuevos en el mercado o una región determinada.

## **Recomendaciones**

- Para satisfacer las numerosas necesidades existentes en el país, es necesario llevar acabo trabajos de investigación para encontrar solución a los problemas del campo, poder generar la tecnología agrícola necesaria y solucionar los rezagos del agro mexicano.
- Se debe poner mayor atención en identificar y solucionar los puntos más apremiantes para desarrollar proyectos de investigación relacionados a la prueba y evaluación de maquinas e implementos, para ser más competitivos en el ramo y estar a la altura de las Universidades nacionales e internacionales.
- Es importante culminar este trabajo (construcción y evaluación), por que con eso estaremos solucionando un problema agudamente sufrido, y así las evaluaciones serán más eficientes, los agricultores podrán hacer una mejor selección de maquinaria basándose en los tipos de suelos y de las características que estos presenten.

## Bibliografía Citada

1. Agricultural Engineers YAEARBOOK OF STANDARDS. 1984. Published by the American Society of Agricultural Engineers. ASAE.
2. Arnal Atares P. V. y Laguna Blanca A. Tractores y motores agrícolas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Ediciones Mundi-prensa. 3ª edición. España, 1999.
3. Baver, L. D., Gardner, W. H. y Gardner, W. R. Física de suelos. Editorial U.T.E.H.A. 1973. New Cork, EUA.
4. Cadena Zapata, M. Soil workability as a basis for advice on tillage activities. Tesis Doctorado. Netherlands. 1999.
5. Carnicer Royo, E. y Mainar Hasta C. Oleohidráulica. Conceptos básicos. Editorial Paraninfo, 2ª edición. 2000. Madrid, España.
6. CRANE. Flujo en válvulas, accesorios y tuberías. Traducción: Valfisa, S.A.
7. Enciclopedia científica cultural (Cap. XI). Física superior. 1980. Barcelona, España.
8. Espinosa Ramírez, Martín. Determinación del esfuerzo cortante y potencia en las labores primarias con la utilización de galgas extensiométricas, en suelos de la U.A.A.A.N. Tesis licenciatura. U.A.A.A.N. 1991. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
9. Faires Moring, Virgil. Diseño de Elementos de Maquinas. Primera edición, Editorial LIMUSA. México, 1999.

10. Figueroa Sandoval, J. M. Análisis y procedimientos para diseño de elementos mecánicos. Exposición de titulación en licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2001.
11. Fitzgerald W., Robert. Resistencia de materiales. Editorial Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Ma. E. U. A. 1967. 1970, México. Fondo Educativo Internacional, S. A.
12. Fitzgerald W., Robert. Mecánica de materiales. Edición revisada. Editorial Alfaomega. México, 1990.
13. Flamond Rodríguez, Carlos L. Introducción a la física de suelos. 2<sup>a</sup> edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, 1995.
14. Gallegos Ramírez, J. M. Diseño y evaluación de un Software para Microcontroladores PIC, para la digitalización de la señal de un penetrómetro. Tesis Licenciatura, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2004.
15. Gavande A., Sampat. Física de suelos. Principios y aplicaciones. 1982. Editorial LIMUSA. México.
16. Greene W. Richard. Válvulas: selección, uso y mantenimiento. McGraw-Hill. 1989. México.
17. Hibbeler, R. C. Mecánica de Materiales. 3<sup>a</sup> edición, editorial Prentice-Hall. México, 1997.
18. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. Mecánica de suelos. Tomo 1, Fundamentos de la mecánica de suelos. 3<sup>a</sup> edición, LIMUSA. México, 1989.

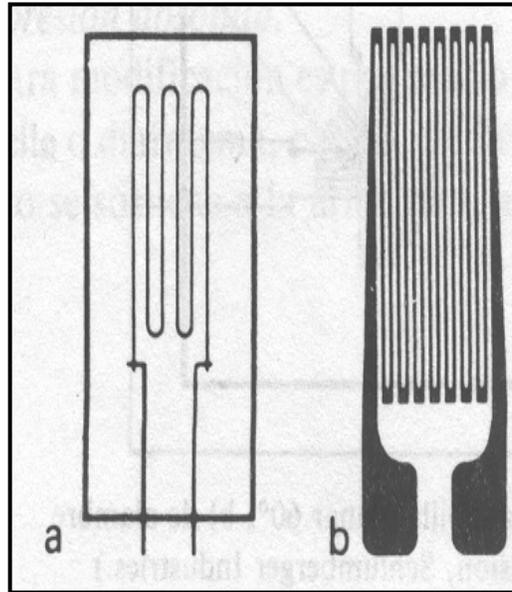
19. Manual del operador. Tractores 2300. John Deere. Industrias John Deere, S. A. de C. V. OMP59 138. Español. Litho in USA.
20. Manual de hidráulica industrial. Vickers.
21. Manual de mecánica industrial 2. Neumática e hidráulica. Ed. Cultural, S.A. 1999, España.
22. Mojica, L. E. D. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurcos para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal. Tesis licenciatura. 2000. I. T. de Veracruz. Veracruz, México.
23. Mott, L. Robert. Diseño de Elemento de Maquinas. 2ª edición, Prentice-Hall. México, 1995.
24. Moo Yam V. Desarrollo y valoración de un sistema de adquisición de datos para evaluación de implementos de labranza. Tesis licenciatura. 1999, Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
25. Ortiz, Cañabate J., Hernández J.I., 1989. Técnica de la Mecanización Agrícola. Edición Mundi-Prensa, Madrid, España.
26. D. W. Smith, B. G. Sims y D. H. O'Neil. Principios y practicas de prueba y evaluación de maquinas y equipos agrícolas, por. Boletín de servicios agrícolas de la F.A.O. # 110. Roma, 1994.
27. Serrano Nicolás, Antonio. Oleohidráulica. Editorial McGraw-Hill. Madrid, España. Primera Edición. 2002.

## Direcciones de Internet

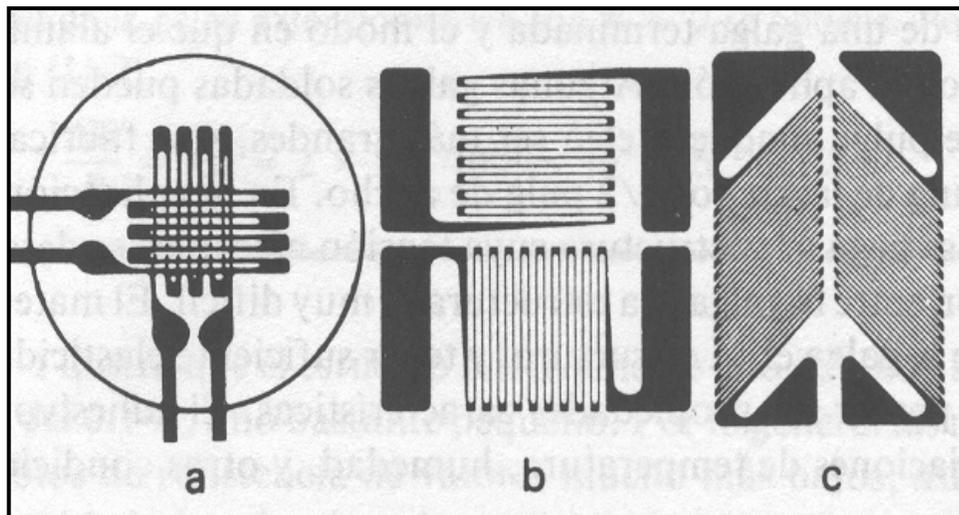
28. [http://www.peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm)  
(Consultada el 27 de Agosto de 2004)
  
29. [http://ingenieriageologica.iespana.es/ingenieriageologica/biblioteca/penetrometros/4\\_tipos\\_penetrometros\\_dinamicos.htm](http://ingenieriageologica.iespana.es/ingenieriageologica/biblioteca/penetrometros/4_tipos_penetrometros_dinamicos.htm)  
(Consultada el 27 de Agosto de 2004)
  
30. <http://usdaars.nmsu.edu/PDF%20files/Herrick%20&%20Jones%202002%20Penetrometer.pdf>  
(Consultada el 27 de Agosto de 2004)
  
31. <http://www.aei-euro.com/mecanica1.htm>  
(Consultada el 28 de Septiembre de 2004)
  
32. [http://www.cemml.colostate.edu/files/TPS\\_04\\_Sampling\\_Compaction.pdf](http://www.cemml.colostate.edu/files/TPS_04_Sampling_Compaction.pdf)  
(Consultada el 25 de Noviembre de 2004)
  
33. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/4/art303-307.pdf>  
(Consultada el 25 de Noviembre de 2004)

## Anexo A

### Configuraciones de galgas extensiométricas

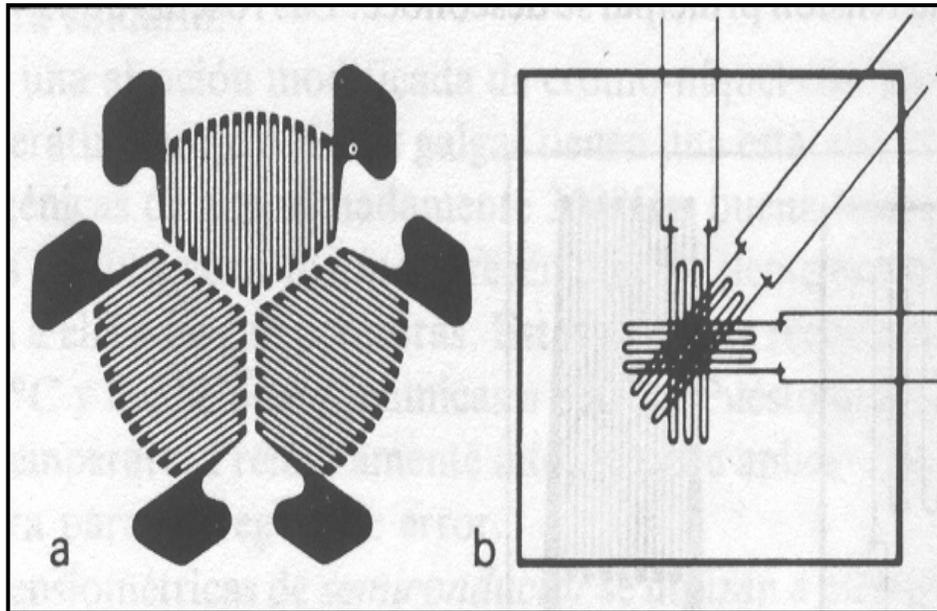


Galga extensiométrica Uniaxial: a) Alambre; b) Laminilla (Cooper,1991).

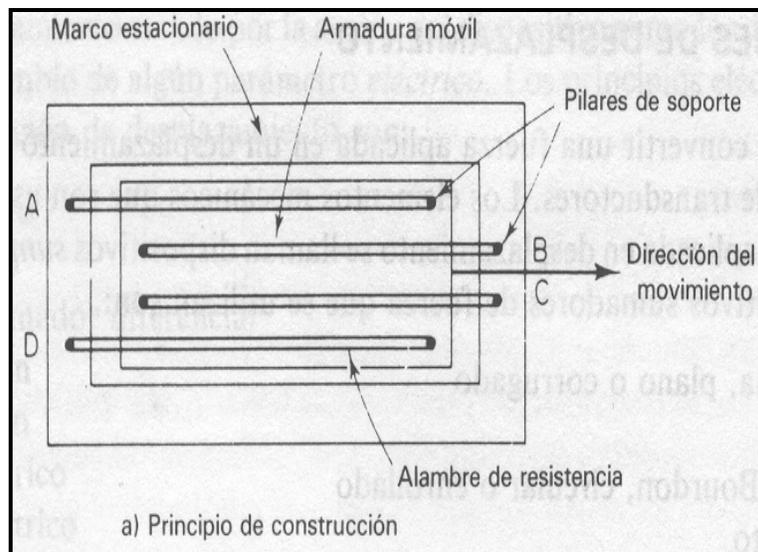


Roseta de dos elementos a) Laminillas apiladas a  $90^\circ$  ; Laminilla planar a  $90^\circ$ ; Laminilla plana sesgada a  $90^\circ$  (Cooper,1991).

## Galgas extensiométricas tipo desoldada



Roseta de tres elementos; a) Laminilla planar 60° ; b) De alambre apilado a 45°  
(Cooper,1991).



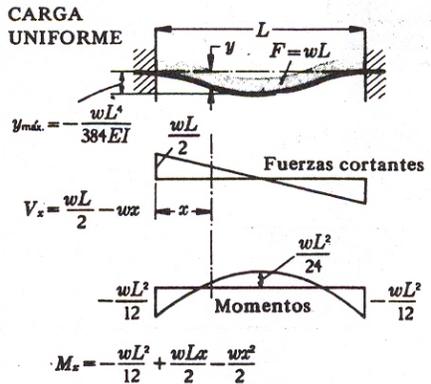
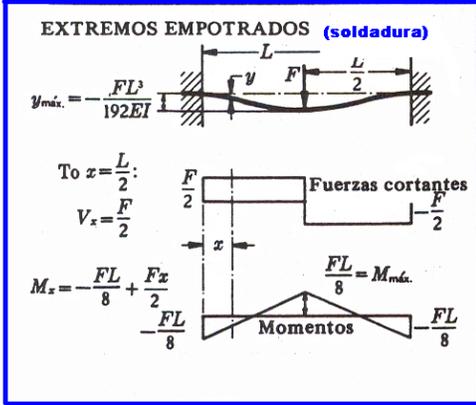
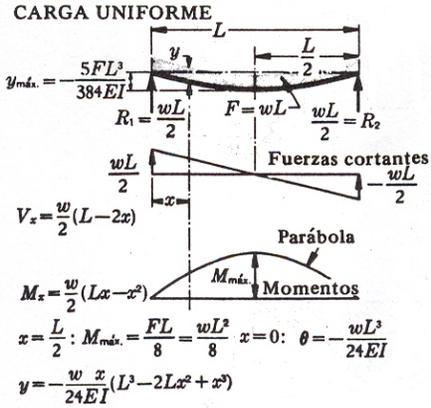
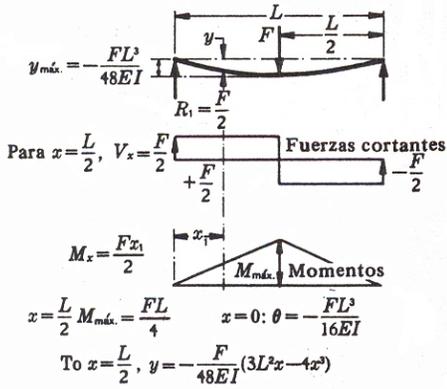
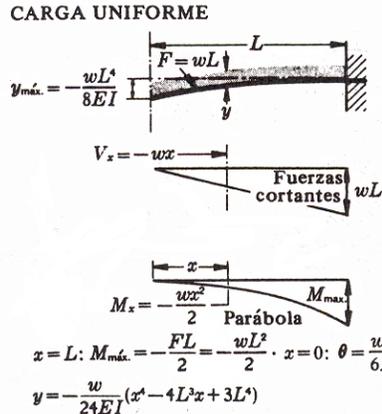
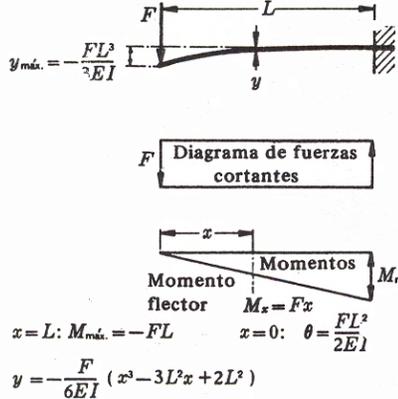
Galga extensiométrica desoldada: a) Principio de construcción del circuito puente de Wheatstone (Cooper,1991).

## **Anexo B**

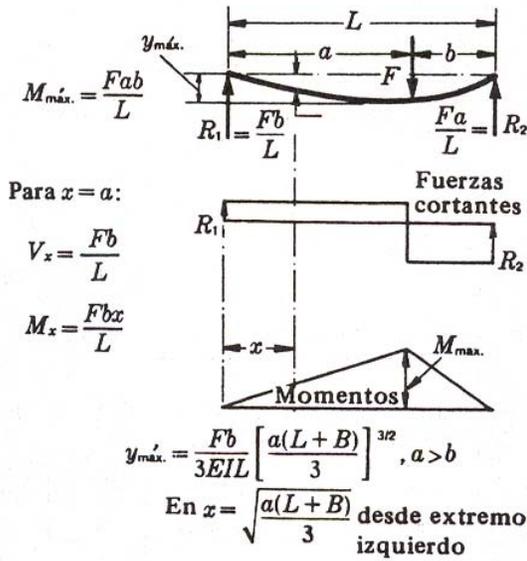
Formulas y diagramas para analizar elementos (vigas) estáticamente indeterminadas.

### MOMENTOS Y FLECHAS DE LAS VIGAS

$F$  = fuerza aislada aplicada en kilogramos (o en libras);  $w$  = carga uniformemente repartida por unidad de longitud, en kg/cm (o en lb/pulg);  $F wL$ , donde  $L$  = longitud en centímetros (o bien en pulgadas);  $E$  = módulo de elasticidad a tracción en kg/cm<sup>2</sup> (o bien psi);  $I$  = momento de inercia en cm<sup>4</sup> (o bien pulg<sup>4</sup>);  $y$  = flecha en centímetros (o en pulgadas);  $\theta$  radianes = pendiente. Para otras vigas de igual resistencia, véase § 6.24.

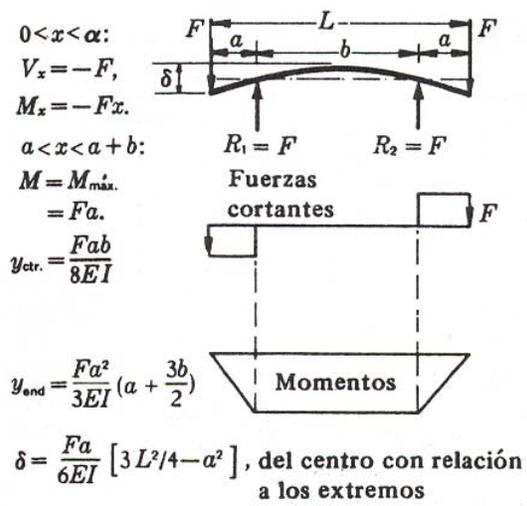


Continuación

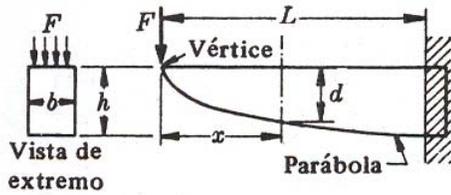


$0 < x < a: y = \frac{-Fbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2)$

$a < x < L: y = -\frac{Fa(L-x)}{6EIL} [L^2 - a^2 - (L-x)^2]$



**IGUAL RESISTENCIA A MENSULA**

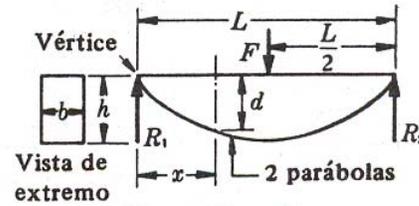


$M_x = Fx = \frac{sI}{c}$  Para  $s = C$ ,

$d^2 = \frac{6F}{bs} x = \frac{x}{L} h^2$

En  $x = 0: y_{m\acute{a}x.} = -\frac{8FL^3}{bEh^3}$

**IGUAL RESISTENCIA, VIGA SIMPLE**



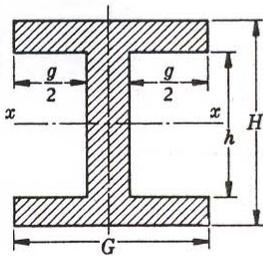
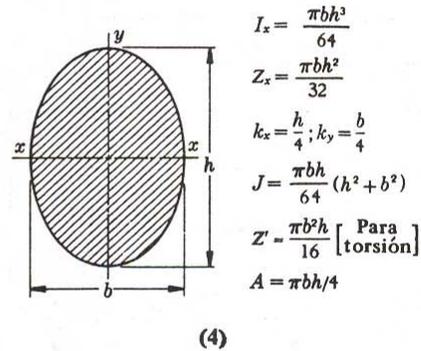
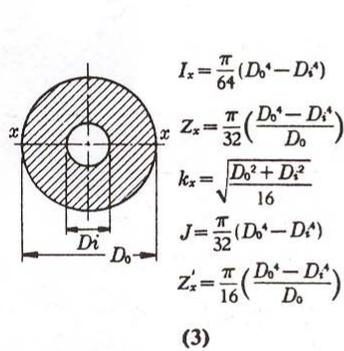
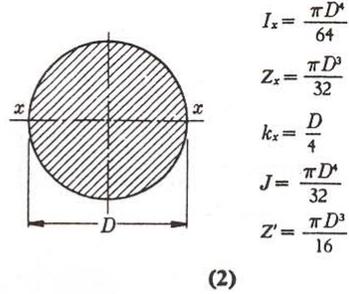
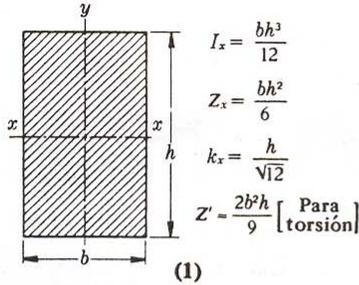
$R_1 = \frac{F}{2}, M_x = \frac{Fx}{2} = \frac{sI}{c}$  Para  $s = C$ ,

$d^2 = \frac{3F}{bs} x = \frac{2x}{L} h^2$

En  $x = \frac{L}{2}: y_{m\acute{a}x.} = -\frac{FL^3}{2Ebh^3}$

PROPIEDADES DE SECCIONES TRANSVERSALES SIMPLES

$I_x$  = momento de inercia respecto al eje  $x$ - $x$ ;  $J$  = momento polar de inercia respecto al eje que pasa por el centro de gravedad o eje centroidal;  $Z = I/c$  = módulo rectangular de sección o módulo resistente respecto a  $x$ - $x$ ;  $Z' = J/c$  = módulo polar de la sección,  $k = \sqrt{I_{\text{área}}} =$  radio de giro.

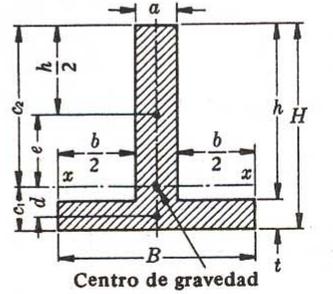


$$I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gh^3)$$

$$Z_x = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$$

$$k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right]}$$

(5)



$$c_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)}, \quad c_2 = H - c_1$$

$$I_x = \frac{Bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$$

$$\text{Area} = Bt + a(H - t); \quad k = \sqrt{I/A}$$

(6)

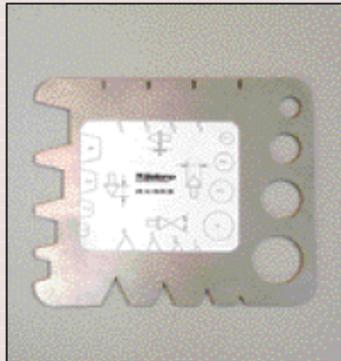
Penetrómetro comercial de operación manual, marca *eijkelkamp*, con lector de fuerza tipo manómetro y varios tipos de conos varillas.



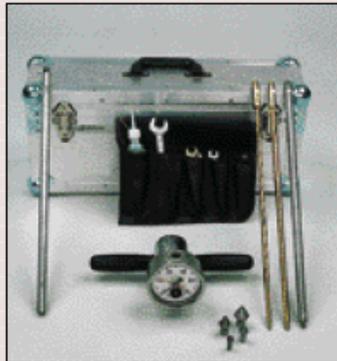
Measuring instrument with manometer



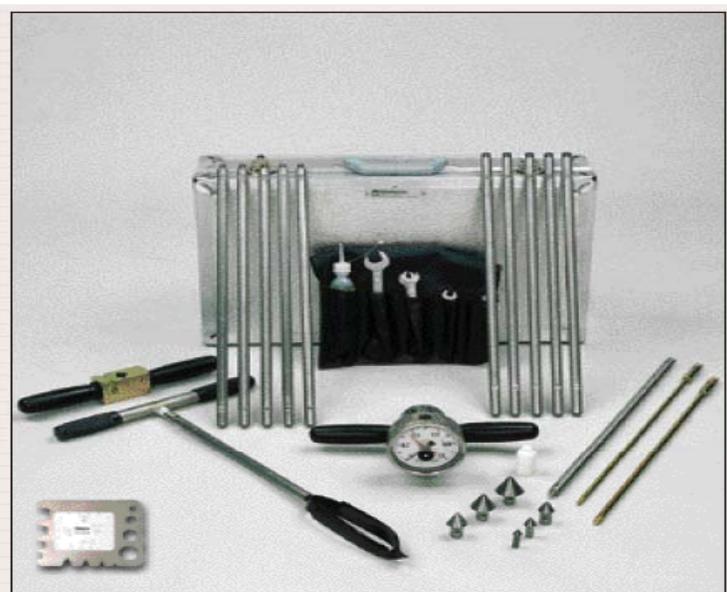
Cones and probing rods



Cone check



Hand penetrometer Eijkelkamp (SA)



Hand penetrometer Eijkelkamp (SB)

## Anexo D

## SOIL CONE PENETROMETER

Proposed by the ASAE Cultural Practices Equipment Committee; approved by the Power and Machinery Division Technical Committee; adopted by ASAE December 1968; revised February 1971; reconfirmed December 1975; reclassified as a Standard, December 1978; reconfirmed December 1980.

### SECTION 1—PURPOSE AND SCOPE

1.1 The soil cone penetrometer (Fig. 1) is recommended as a measuring device to provide a standard uniform method of characterizing the penetration resistance of soils. The force required to press the 30° circular cone through the soil, expressed in pounds per square inch or kilograms per square centimeter, is an index of soil strength called the "cone index."

1.2 The Standard is intended for the following purposes.

1.2.1 To provide a common method of expressing general soil mechanical conditions and facilitate the reporting and interpretation of soil data by different research workers.

1.2.2 To assist those who work with different soils and soil conditions and who need a measure of soil mechanical properties for comparative purposes.

1.2.3 To provide a common system of characterizing soil properties from which it may be possible to develop performance and prediction relationships.

1.3 The Standard serves only as a means of measuring, describing, and reporting the composite soil resistance to penetration, and does not provide specific soil values such as cohesion, angle of friction or coefficient of soil-metal friction. Since the measured results are influenced by the method of use, a procedural method is included.

### SECTION 2—DEFINITIONS

2.1 **Cone penetrometer:** A 30° circular stainless steel cone with driving shaft per Fig. 1.

2.2 **Base area:** The cross-sectional area at the base of the cone expressed in square inches or square centimeters.

2.3 **Cone index:** The force per unit base area required to push the penetrometer through a specified very small increment of soil. Values may be reported as X psi at Y in. depth or X psi average in the Y to Z in. depth, or  $CI_Y$  or  $CI_{Y-Z}$ . Cone base size should be stated.

2.4 **Depth profile:** The measured depth-penetration resistance relation of a specific soil condition and location.

### SECTION 3—TEST APPARATUS AND PROCEDURE

3.1 The hand-operated soil cone penetrometer shown in Fig. 1 has a cone and a graduated driving shaft. Two cone base sizes are recommended: 0.5 sq in., 0.798 in. diameter (3.2 sq cm, 20.27 mm diameter) with 0.625 in. (15.9 mm) diameter shaft for soft soils (Fig. 1a); and 0.2 sq in., 0.505 in. diameter (1.3 sq cm, 12.83 mm diameter) with 0.375 in. (9.5 mm) diameter shaft for hard soils (Fig. 1b). American Iron and Steel Institute, AISI 416 stainless steel, machined to a smooth finish (63 microinches maximum) is recommended as a suitable initial cone finish. The 0.2 sq in. (1.3 sq cm) base area cone is suitable for hand-operated instruments on hard soil if the shaft does not exceed a length of 18 in. (457 mm). On extremely hard soils, a mechanically driven 0.5 sq in. (3.2 sq cm) base area cone is suitable because of the stronger driving shaft. The overall form of the penetrometer equipment is not part of this Standard. Graduations on the driving shaft are 1.0 in. (25.4 mm) apart and are used to identify depth on hand-operated devices. The measuring device of hand-operated units should have a cone index capacity of approximately 300 psi (21 kg per sq cm) for the 0.5 sq in. (3.2 sq cm) base area penetrometers and not exceed 750 psi (53 kg per sq cm) for the 0.2 sq in. (1.3 sq cm) base area penetrometers in order to be suitable for most agricultural soil conditions. A direct readout of cone index is desirable. This Standard specifies two cone sizes. Nonstandard data should be reported but should be accompanied by a description of the nonstandard penetrometer and its method of use. In very soft soils when operating at great depths, care should be taken so the shaft does not drag. A smaller diameter shaft may be necessary in some cases. Penetrometer cones should be replaced when the base diameter wear exceeds 3 percent and therefore affects the cone index by

5 percent. A 0.06 in. (1.5 mm) shoulder on the base of the cone provides longer cone life without materially affecting accuracy of readings. Good judgment should be used to discard cones for other factors such as excessive bluntness, or abnormal wear. Soil conditions rapidly modify the cone shape and finish, but change in diameter is suggested as the criterion for discard of the cone.

3.2 Recording and mechanized penetrometers may have different overall forms, but the cone, size of driving shaft, and operating speed should conform with this Standard.

3.3 The cone is pushed into the soil at a uniform rate of approximately 72 in. per min (1829 mm per min). The surface reading is measured at the instant the base of the cone is flush with the soil surface. Subsequent readings should be made continuously or as frequently as possible while maintaining a 72 in. per min (1829 mm per min) penetration rate. Manual penetrometer readings should be made at depth increments of 2 in. (50 mm) or less. The depths are indicated by markings on the shaft of the cone penetrometer. Should it be necessary to stop the penetrometer at some depth (as would probably be the case where only one man was performing the cone index test), the penetration and measurement may be resumed without introducing errors. In very hard soils it may not be possible to achieve a rate as high as 72 in. per min (1829 mm per min), but somewhat slower rates will not result in significant errors.

3.4 Manually operated penetrometers may require an instrument operator and an assistant to record data.

3.5 Five to seven readings should be taken to establish the cone index and to verify the presence of unique layers in the soil profile.

### SECTION 4—GUIDES FOR THE INTERPRETATION AND REPORTING OF DATA

4.1 The cone index may be expressed as a function of depth. Average cone index values may be expressed for specific increments of the profile or in complete depth-penetration relations. When increments of the profile are characterized, the size and location of the increments should be reported for the corresponding cone index values. Area profiles in any plane may be graphically constructed by connecting points of equal cone index for specific areas of interest. Available data on soil moisture, density, or classification may be included with penetrometer data to enhance interpretation of the reported results.

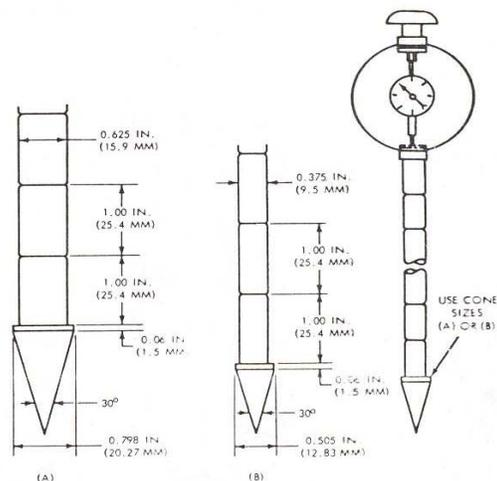


FIG. 1—SOIL CONE PENETROMETER

