RESUMEN

El presente trabajo consta de 59 paginas distribuidas en 4 capítulos, los cuales corresponden a un penetrómetro para medir la resistencia a la penetración del suelo, construido en nuestra provincia, consiste en un análisis de los principales penetrómetros construidos y utilizados hasta la fecha. Sus principios hidráulicos de trabajo, el diseño y cálculo para su construcción, un prototipo del mismo, las pruebas de campo y su comparación en su trabajo con otros modelos mecánicos.

РЕЗЮМЕ

Эта работа состоит из 59 страниц разделена на 4 глав, которые соответствуют пенетрометра для измерения проникновения сопротивления почвы, построенный в нашей провинции, является анализ основных пенетрометра построено и используется до настоящего времени. Его рабочий гидравлический принципы, проектирования и расчета для создания прототипа этого, полевые испытания и сравнить их в своей работе с другими механическими моделями.

SUMMARY

The present work consists of 59 you paginate distributed in 4 chapters, which correspond to a penetrómetro to measure the resistance to the penetration of the floor, built in our county, it consists on an analysis of the main built penetrómetros and used so far. Their hydraulic principles of work, the design and calculation for their construction, a prototype of the same one, the field tests and their comparison in their work with other mechanical models.

Introducción

En estudios realizados al impacto que causó en nuestro país la desaparición del campo socialista y cómo esta grave situación, a pesar del significado trascendental que tuvo, se adoptaron las decisiones y se tomaron las medidas indispensables, entre ellas, las relacionadas con el combustible, los equipos para las importaciones en general con el objetivo de resistir y paulatinamente irnos desarrollando. . Se llamó la atención sobre las nuevas dificultades y el espíritu de combate que tenía que prevalecer entre todos los ciudadanos de este país. También, en sus palabras iniciales, el Primer Secretario se refirió a las consecuencias del bloqueo de Estados Unidos hacia Cuba y que a partir de ese momento sería más fuerte y sus consecuencias mayores.

Dentro de los efectos del bloqueo imperialista y la caída del campo socialista se creó una situación con los instrumentos de medición para investigaciones y para la enseñanza, con respecto a su disponibilidad, existencia, posibilidades de compra o adquisición. (Existen equipos e instrumentos, e incluso laboratorios completos pero su costo no esta al alcance de los recursos disponibles en nuestro país en la actualidad).

Problema científico: Se hace necesaria la utilización de penetrómetros o durómetros en múltiples investigaciones relacionadas con la resistencia a la penetración del suelo, como son: en la agricultura, trabajos de la construcción en general, la docencia entre otros, que den los resultados con la máxima precisión posible.

El caso que nos ocupa es la determinación de la dureza del suelo para evaluar la calidad del laboreo del suelo o para determinar la dificultad de elaboración del mismo con una precisión aceptable como una de las cuestiones a las que se debe dar solución pero partiendo de las condiciones económicas de nuestro país.

El **objeto de investigación** para nosotros es el Durómetro o Penetrómetro para la determinación de la dureza o resistencia a la penetración del suelo.

El campo de investigación o realización de este trabajo se fijo en el departamento de mecanización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciego de Ávila

Hipótesis: La construcción de un penetrómetro con materiales adquiridos en nuestro país de forma que resulte económica, resolverá el problema de la medición de la dureza del suelo en las investigaciones con suficiente precisión y se podrá utilizar en las investigaciones, practicas de laboratorio de la asignatura Teoría de Maquinas Agrícolas y en otras que lo requieran.

El **objetivo** es la construcción de un penetrómetro con la precisión necesaria para la determinación de la dureza del suelo en las investigaciones de laboreo de suelos y en la docencia.

CAPITULO 1

Estado actual del tema. (Antecedentes).

1.1 Generalidades.

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

De los tipos y modelos que han sido creados damos a continuación una descripción.

1.2 El Durómetro de Dorni.

Representa en si un tubo metálico con un embolo o pistón por el cual se mueve una pesa de masa 2.5 kg (fig. 1) en la parte inferior y superior del tubo se tienen limitadores para el levantamiento y la caída de la pesa con una distancia entre ellas de 40 mm, para mantener el tubo en posición vertical el aparato posee en un lado una plomada.

Fig. 1 Durómetro de Dorni

Como órgano de trabajo se utiliza un pistón cambiable de un largo de 100 mm, y un área de sección transversal de 2, 3, y 4 cm^2 (16; 19.6 y 22.6 mm de diámetro).

El aparato se pone en posición vertical respecto al suelo. la pesa se suspende hasta el tope de la parte superior, en su caída hacia abajo la misma realiza un trabajo de (1 kg x m) igual a (9.8 julios), realizando esto el pistón se encaja en el suelo la dureza se determina por la cantidad de golpes necesarios para introducirlo totalmente el pistón en el suelo (100 mm) o se cuenta la profundidad de penetración del pistón en un solo golpe de la pesa, la determinación se realiza siempre con una sola humedad del suelo si la humedad del suelo durante los experimentos es diferente entonces para cada medición de dureza del suelo se determina la humedad .

En consecuencia de la mezcla de perfiles del suelo para obtener la dureza se deben realizar de 50 a 100 repeticiones. (Dospiejov 1977).

1.3 Durómetro del Visjon (Instituto Superior de Mecanización de la Agricultura)

El Durómetro del Visjon es más complejo por su construcción y su manejo pero permite obtener datos de la dureza del suelo en distintas profundidades. El aparato (fig. 2) consta de un soporte en forma de tubo unido a una base, un carrete desplazable, un mecanismo de tensión por bandas con un dispositivo de escritura y una varilla con un pistón cambiable, al aparato se adicionan tres pares de muelles que resisten un esfuerzo de 25, 50 y 100 kg. Cada uno de los muelles tiene una tabla de calibración por la cual se construye la curva de calibración del durómetro para el correspondiente par de muelle y en el proceso de explotación del aparato periódicamente se realiza su comprobación.

El aparato se coloca en una superficie preparada dos hombres cuyo peso debe ser mayor que la suma de la fuerza de resistencia al muelle, se paran sobre una superficie de madera, dándole vuelta al mando a razón de 1 vuelta por segundo introducen el pistón en el suelo a una profundidad determinada, pero para sacar el pistón se le da vuelta en sentido contrario, después del inicio del movimiento del pistón hacia abajo durante la distancia S_0 y hasta el momento de contacto del pistón con el suelo en el diagrama de la cinta se dibuja una curva en el tramo S_0

con una inclinación de la posición inicial igual a 2F, esta inclinación esta condicionada a la acción de todas las fuerzas de fricción que surgen en el durómetro. La dureza media del suelo (P; kg/cm^2) se calcula por la formula:

P = hn/s donde h – es magnitud de la ordenada media calculada por el diagrama (se puede para esto tomar h – a cualquier profundidad de introducción del pistón) cm; n – es la calibración del muelle en kg/cm; s – es el área del pistón en cm^2; Durante el trabajo con pistones cilíndricos el calculo de la dureza se realiza en la unidad de volumen de penetración. P = hn/v. Donde v – es el volumen de penetración es decir el área del pistón multiplicado por la profundidad de introducción. la dureza del suelo se debe determinar en no menos de 5 repeticiones en un área de 1 m^2. (Dospiejov 1977).

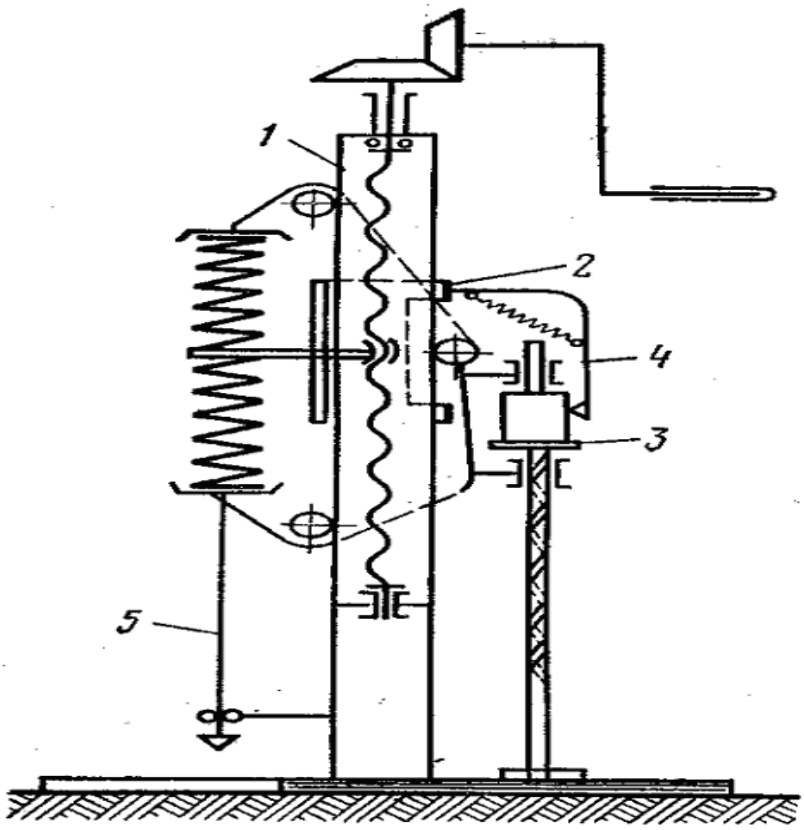


Fig. 2 Durómetro del VISJON

1.4 Durómetro de I. F. Gulubiev.

Tiene un pistón en forma de cono con un largo de 10 cm y un área de sección en su base de 2 cm^2. El pistón cónico esta unido a una varilla que esta colocada dentro de la falda de un cuerpo cilíndrico con tapa, en la parte inferior de la varilla esta puesta una escala y además tiene montado un dispositivo de señal en la parte superior de la varilla están puestos tres muelles con distinta elasticidad (fig 3). La dureza del suelo se determina en el siguiente orden. El indicador móvil en la varilla se coloca en la posición inferior de tal manera que la corredera para marcar coincida con la desviación cero de la marca en la varilla, simultáneamente (espárrago, clavija, perno indicador) se mueven hasta la hendidura o ranura, el aparato se coloca vertical a la superficie del suelo., durante la introducción del cono a 10 cm, funciona el perno indicador, se oye que cae en la ranura y termina la medición. El cálculo de la resistencia del suelo se realiza según la posición del anillo en la ranura a trazar y la división en la escala. Si la ranura donde esta el anillo coincide con la división en la cifra 25 entonces la dureza del suelo va a ser igual a 25/2 = 12.5 kg/cm^2 ya que el área de la sección transversal del cono en su base es de 2 cm^2. Durante la determinación de la dureza del suelo con el aparato de I F Golubiev es necesario evitar presionar bruscamente y golpes para no obtener magnitudes casuales. (Dospiejov 1977)

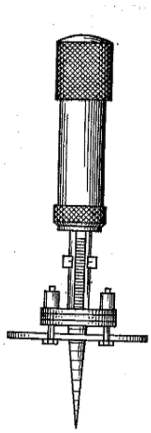


Fig. 3 Durómetro de I. F. Gulubiev.

1.5 Durómetro de Alexeyev

En este aparato la resistencia del suelo a la penetración se mide con un dinamómetro hidráulico (manómetro) (fig. 4), el aparato se comprende de un cuerpo cilíndrico en la parte inferior del cual se introducen un pistón metálico con un cono, en la parte superior o desde arriba en el cuerpo del pistón entra y se desplaza el pistón con una agarradera y un manómetro, en calidad de liquido de trabajo con el cual se llena el aparato de liquido de frenos, el aparato se coloca perpendicular a la superficie del suelo y presionando sobre las agarraderas con las manos, se introduce el cono en el suelo, la presión necesaria para vencer la resistencia del suelo a la penetración en el del cono se transmite a través del pistón y el liquido de trabajo y se mide por el Manómetro (Dospiejov 1977).

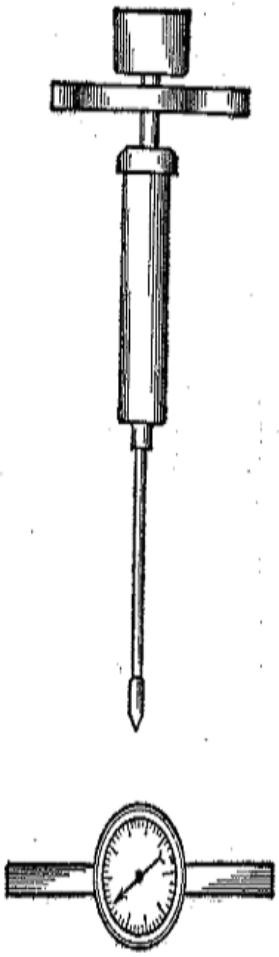


Fig 4. Durómetro de Alexeyev

1.6 Durómetro de Tilyonov. (Polaco)

El aparato (fig. 5) esta compuesto de una placa de trabajo hecha de acero atornillado a un eje telescópico el cual se puede desplazar a través de cada 50 mm la que da la posibilidad de introducir la paleta de trabajo a diferentes profundidades.

En la parte superior del eje telescopio se sujeta un cabezal medidor con un manómetro y unas agarraderas, el cilindro hidráulico con un pistón y un tornillo regulador sirven para llevar el manómetro a la posición 0, en el tiempo de la medición el aparato se apoya en 4 apoyos, las placas de trabajo son cambiables y tienen un área de 100, 50 y 25 cm^2, con anterioridad se establece el ancho de trabajo de la placa y la profundidad de medida de la dureza del suelo, se une la placa de trabajo con el eje telescópico y se regula la profundidad .

El aparato se coloca vertical a la superficie del suelo y presionando con las manos en las agarraderas se introduce la placa a la profundidad necesaria. Con anterioridad se determina la dureza del suelo y se coloca el cilindro hidráulico frente a aquel empujador que de una inclinación de la aguja del manómetro de hasta ¾ de su escala, después de esto se comienza la determinación de la dureza del suelo. Para esto el aparato se coloca en un punto determinado y bien despacito (aproximadamente en el curso de 10 seg.) se gira la agarradera 180^0, sobre la dureza del suelo se juzga por la magnitud del momento torsor medido a través del sistema de los empujadores y el cilindro hidráulico, mientras mayor contacto del suelo así será mayor la resistencia a la cual debe vencer la placa de trabajo a esto se exige el desarrollo de un gran momento torsor con la ayuda de una presión complementaria a los agarradores del aparato (Dospiejov 1977).

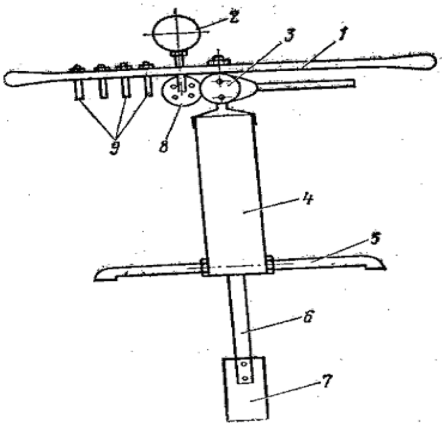


Fig.5 Durómetro de Tilyonov.

1.7 Durómetro de Reviakin.

Esta compuesto de un pistón con una sección de 2 cm^2 el cual se atornilla en la parte inferior de la varilla de 12 mm de diámetro y un largo de 400 mm, en la parte superior de la varilla se une las agarraderas, entre las agarraderas y la varilla se coloca un muelle calibrado, la escritura que hace el aparato se debe a un aditamento de escritura en el complejo del aparato entran muelles cambiables con un diámetro del alambre de 3, 4 y 5 mm. Durante la introducción del terminal en el suelo el brazo con el dispositivo de escritura a lo largo de la línea o trazado en el papel milimetrado y se levanta transversalmente a la línea en correspondencia con el esfuerzo para la compresión del muelle. Sabiendo la magnitud del esfuerzo para la compresión del muelle en 1 mm (calibre) kg y la altura escrita en el diagrama, se puede colocar la dureza del suelo en kg/cm^2 (Dospiejov 1977).

1.8 El Compactómetro

La capacidad del suelo de ofrecer resistencia a la introducción de un cuerpo duro, una de las formas de determinarlo es con un instrumento llamado Compactómetro del suelo (fig. 6) (Silveira, 1987) que se compone de una varilla, un muelle, un manubrio y el terminal. Cuando ejercemos presión en el manubrio, esta se transmite al suelo a través del muelle, la varilla y el terminal.

La resistencia del suelo es igual a la presión del terminal y se mide por la deformación (Y) del muelle y la deformación (h) lineal del suelo según la

profundidad de introducción del terminal. Con la ayuda de un compactómetro moderno que posea un mecanismo de registro obtendremos un diagrama (p) en función de (h), donde (p) es la resistencia que ofrece el suelo a la introducción del terminal. (Silveira 1987).

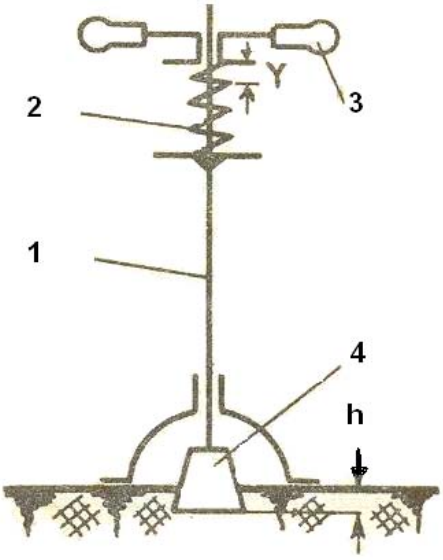


Fig.6 Compactómetro

1.9 Penetrómetros Fabricados en la Republica Bolivariana de Venezuela.

En publicación en Internet por Silvana Nacci e Ildefonso Pla Sentis en septiembre de 1991, con el titulo: Estudio de la resistencia a la Penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. El cual describe como se trabajó con tres equipos de penetración, dos de los cuales son penetrómetros de impacto y el otro de resorte. Todos son equipos de campo, muy livianos y completamente desarmables, para facilitar su transporte. Las Figuras 7, 8 y 9 muestran las características generales de los equipos.

El Penetrómetro de impacto (fig. 7) con punta cónica utiliza una punta de forma cónica con un ángulo de 30°, un área basal de 6 cm^2 y una longitud de 4 cm. El impacto es producido por un mazo de 2 kg que cae libremente desde 50 cm de

altura. Este equipo necesita que el horizonte de suelo a ser evaluado esté expuesto y en contacto directo con la punta de metal.

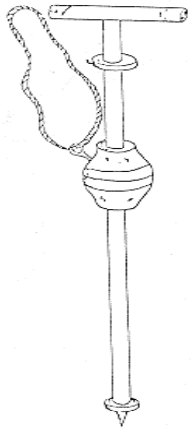


Fig. 7 Penetrómetro de Impacto

El Penetrómetro de profundidad (fig. 8) funciona también por impacto, y utiliza una punta cónica con un ángulo de 25°, área basal de 0,8 cm^2 y una longitud de 1 cm. A esta punta se anexan varillas de acero de 50 o más centímetros de longitud y 0,7 cm de diámetro, enroscadas en el extremo superior, con marcas cada 5 cm, lo cual permite obtener un registro continuo de la resistencia a la penetración que ofrece el suelo, en sucesivas profundizaciones de 5 cm de la punta en el suelo. Esto permite la exploración de 50 o más centímetros de profundidad con muy poca disturbación del suelo.

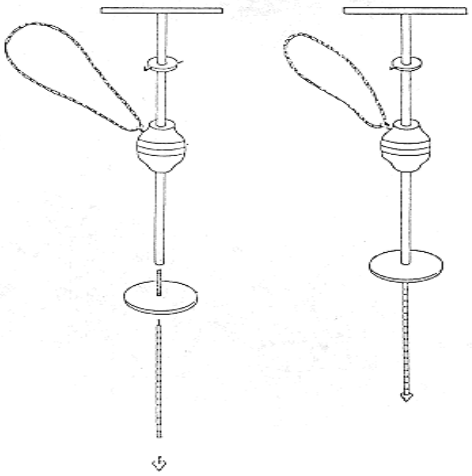


Fig. 8 Penetrómetro de Profundidad

El penetrómetro de resorte (fig. 9) tiene una punta de metal que es introducida en el suelo por la presión ejercida a través de un resorte. Se diseñaron diferentes tipos de punta intercambiables entre sí, incluyendo puntas muy delgadas tipo aguja y puntas cilíndricas, de diferentes diámetros, así como resortes de diferente sensibilidad. Los resortes más sensibles permiten que este equipo pueda evaluar la resistencia de la costra superficial.

En la construcción de los equipos se utilizaron tubos galvanizados (lisos y sin costura) para las estructuras y de aluminio (camisa del resorte); las puntas fueron hechas de acero reforzado para la máxima dureza. El peso promedio no excede en ninguno de los casos los 3,5 kg y tienen una altura de aproximadamente 75 cm pare facilitar las labores del operador. En los penetrómetros de impacto las lecturas pueden ser expresadas en unidades físicas, o simplemente en número de golpes necesarios pare que la punta penetre hasta una profundidad dada.

El penetrómetro de resorte fue calibrado con la ayuda de una balanza, lo que permitió establecer una escala, donde a cada esfuerzo aplicado se le hizo corresponder una lectura en kilogramos de fuerza. / /(http://www.ceniap.gov.ve/trabajos.html).

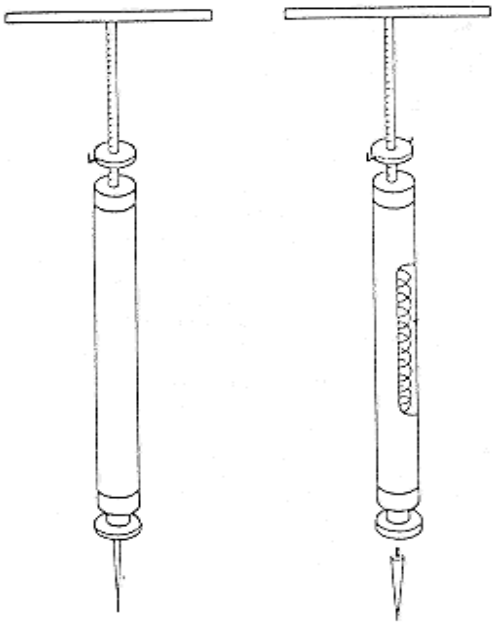


Fig. 9 Penetrómetro de Resorte

1.10 Penetrómetros de cono dinámicos (DCP)

Según se nos describe en publicación en Internet con fecha 4 de marzo del 2004, titulada Investigación de la medida de tiesura del suelo en terraplén con un penetrómetro de cono dinámico (fig 10), su cuerpo es una varilla de 1800 mm de largo y 16 mm de diámetro, con dos topes uno su parte superior y otro a la mitad a una separación de 575 mm uno del otro, del tope del centro al cono hay una distancia de 1000 mm, el ángulo del cono 60° de lado a lado, el aparato se coloca en posición vertical, desde el tope de arriba se le deja caer un martillo de masa 8 kg uno de 4.5 kg (según el tipo de suelo), esta caída realiza un trabajo en el aparato introduciendo el cono en el suelo a una determinada profundidad, al lado del equipo se coloca una regla milimetrada que muestra la profundidad de penetración, este penetrómetro realiza mediciones de hasta 1000 mm de profundidad. Todo lo antes expuesto da lugar a los cálculos pertinentes para determinar la resistencia a la penetración del suelo / / www.durhamgeo.com, www.csir.co.za

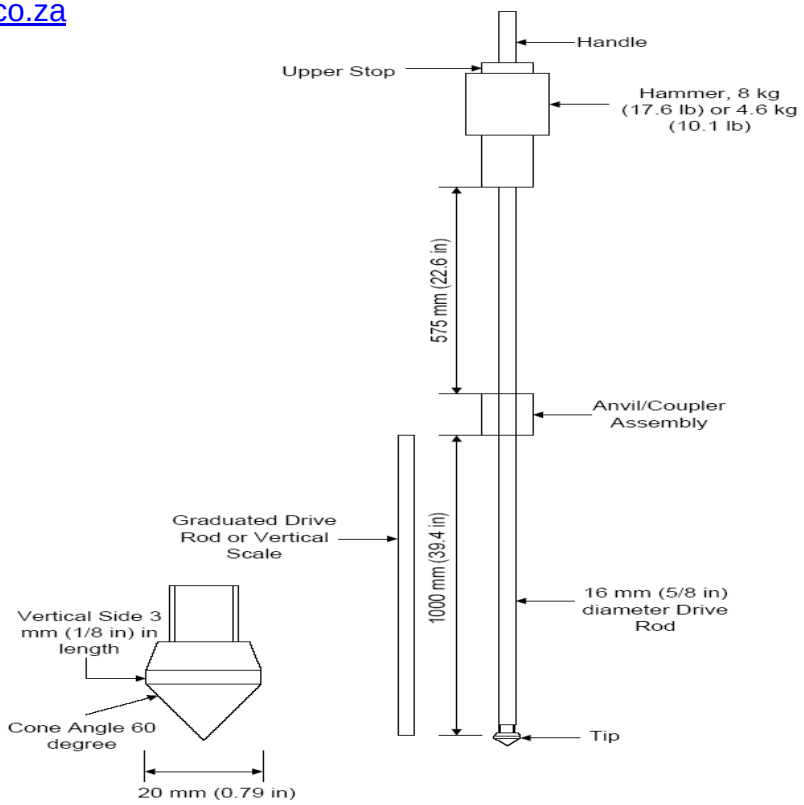


Fig 10 Penetrómetro de cono dinámico.

1.11 Penetrómetro de cono dinámico (DCP) con el mazo de 8 kg, Volado 57,5 centímetros fabricado en Italia.

Visitando Tecnotest en el articulo nombrado Penetrometri Dinamici Leggeri Manuali, se nos muestra un Penetrómetro de cono dinámico (DCP) semejante al anterior, de funcionamiento manual. Para conseguir la determinación de la resistencia a la penetración del suelo, sus características, las capas que componen el manto del camino: el DCP se ha trabajado en correlación con el índice CBR (California Bearing Ratio - Kleyn 1975).

El equipo DCP (fig 11) se constituye:

- El mazo en acero del peso de 8 kg
- El yunque, la guía y pestillo de la puerta de carrera hasta el tope, para el vuelo del mazo a 575 mm
- La subasta (varilla) diámetro 16 mm
- La longitud útil de penetración 400 mm, longitud total útil 800 mm
- La punta (cono) el diámetro 20 mm y ángulo de abrir 60°
- El plato de apoyo y línea de referencia graduada (mm)
- El peso general: 17 kg

Todas las superficies son protegidas de la corrosión. / / (www.tecnotest.it)

Fig 11 Penetrómetro Dinámico (DCP) Con el Mazo de 8 kg, Volado 57,5 mm

1.12 Césped-Tec Penetrómetro

Césped-Tec nos describe un Penetrómetro en venta (250.00 USD) para determinar la consolidación del suelo y los porcentajes de espacio del poro dentro del perfil de la tierra (fig. 12).

Según se expone en este sitio el penetrómetro es muy utilizado en los campos atléticos en el mundo, el Penetrómetro mostrará la dureza de la tierra, cuestión tal que sirve para calibrar el terreno, garantiza seguridad al jugador. Puede prevenir lesiones a los atletas, así como se chequean los terrenos para que se conserven en óptimas condiciones todo el año. / / www.turf-tec.com

Fig 12 Penetrómetro, mostrado por Turf-Tec.

1.13 Cone-penetrometer test (CPT)

Revisando encontramos también un trabajo de Ingeniería Avanzada Geology & Geotechnics, en la primavera del 2004. Relacionada con pruebas con penetrómetros de cono (CPT), describen que se utilizaron estos equipos estandarizados con una punta de 1.41 pulgadas de diámetro y ángulo de 55^0 y 60^0 de cono, se penetró la tierra subyacente a una velocidad entre 1 a 2 cm/sec. El

penetrómetro de cono fue probado de acuerdo con (ASTM D-3441, adoptado en 1974), también las ASTM D-5778, adoptadas en 1995, el articulo nos muestra un aparato colocado debajo de un camión. (fig. 13), el área del cono varia entre 10 y 20^0, en las figuras siguientes se muestran tipos y conos que utilizan.

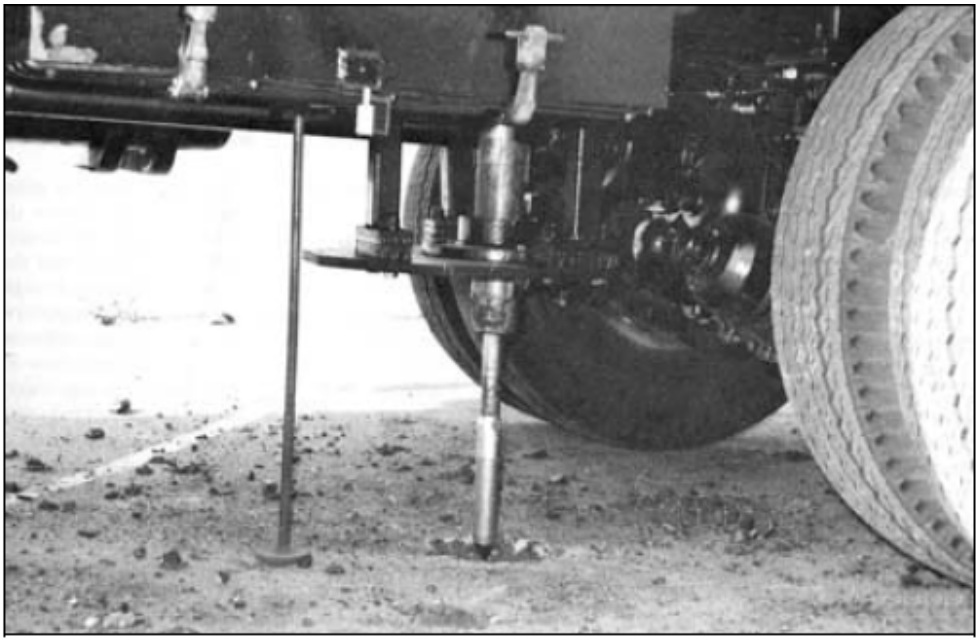


Fig. 13 Penetrómetro de cono (ASTM D 5778).

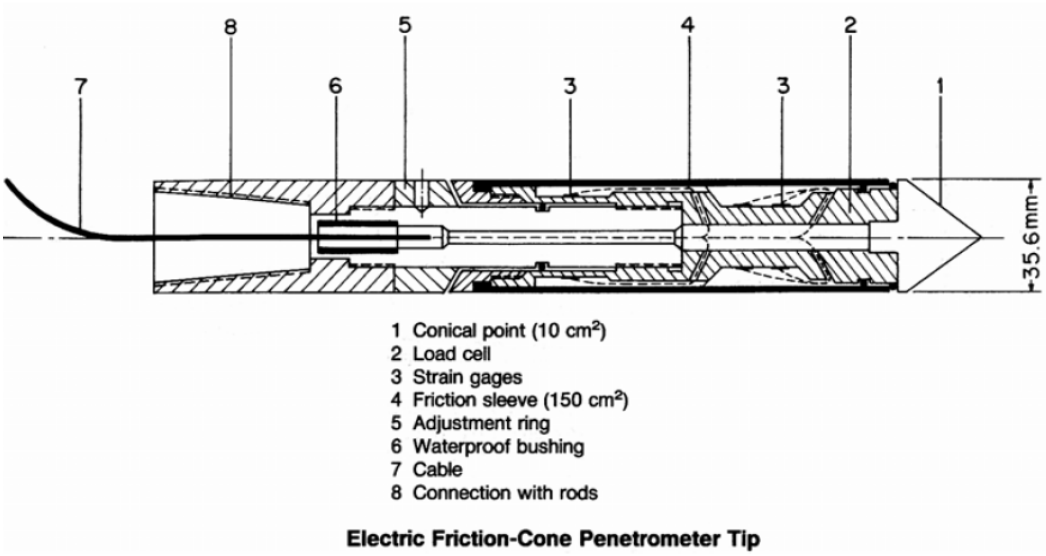
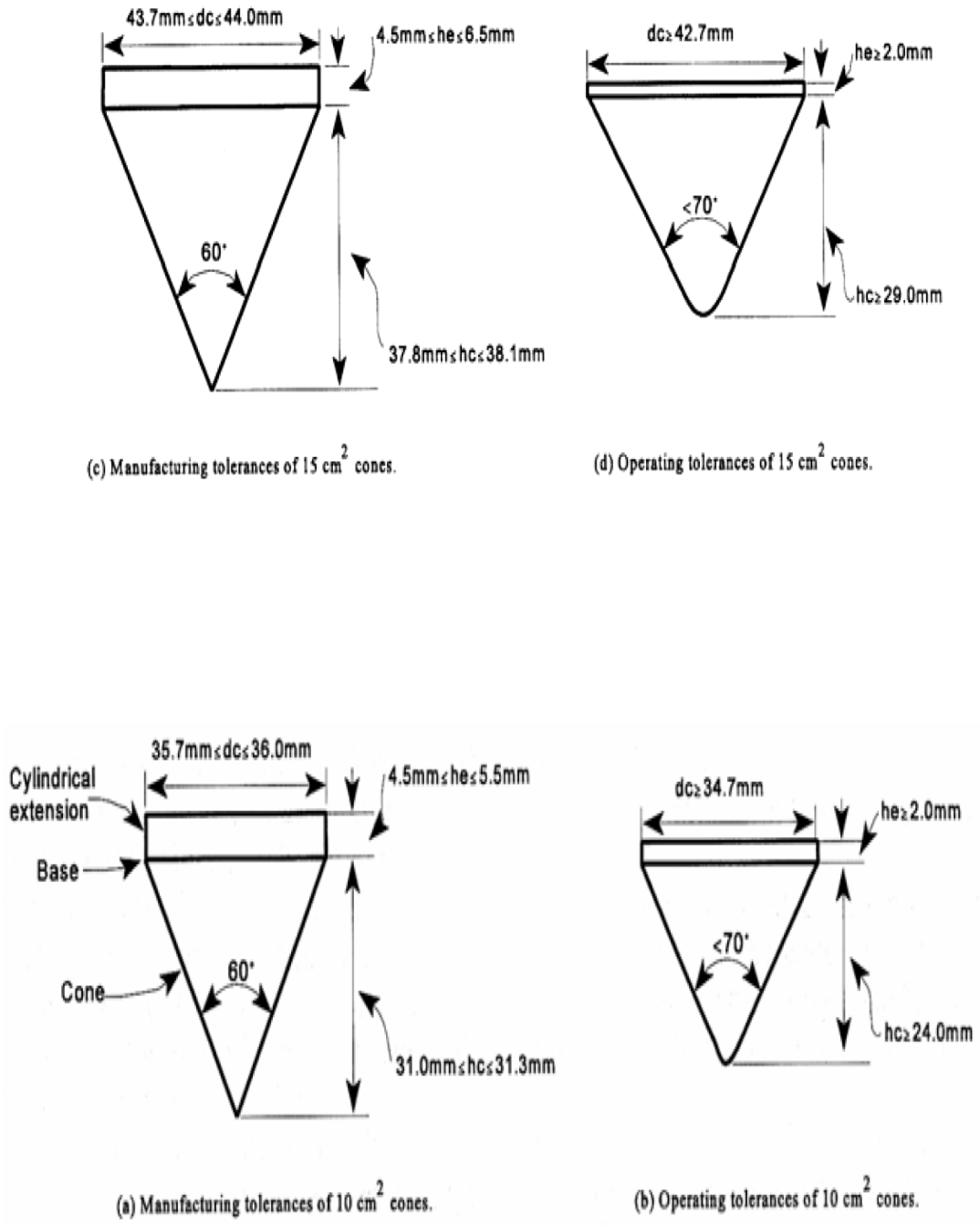
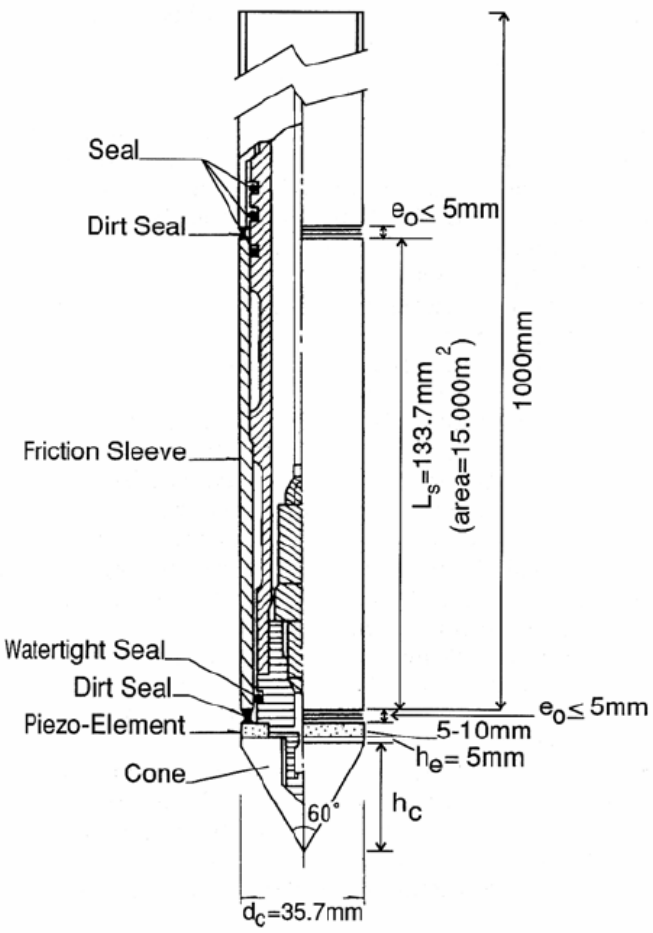


Fig.14 – Dimensiones y tolerancias del aparato, tomadas de ASTM D5778



.

Fig.15 – Dimensiones y tolerancias de los conos, tomadas de ASTM D 3441



Example of a Reference Penetrometer With a Fixed Cone and With Friction Sleeve

Fig. 16 - La sección esquemática a través de una cabeza del piezo-cono, mostrando el piezo-elemento y manga de fricción. Tomado de ASTM D5778.

La mayoría de los equipos de CPT están provistos con uno o varios programas detectores automáticos, qué clasifican los horizontes según el Sistema de Clasificación de Tierra Unificado, el más ampliamente empleado ha sido que originalmente desarrolló por Robinson y Campanella, disponible en Hogentogler & Co., Gaithersburg, MD, Las ciencias y Diseñando Concilio de la Investigación en Canadá. Una interpretación alternativa el programa se desarrolló por Dr. Richard Olsen. / / www.liquefaction.com).