

Implantación y Calibración del Presiómetro Ménard para estimación de capacidad de soporte y deformabilidad de suelos en cimentaciones de proyectos ICE.



Abstract

The pressuremeter test is used in situ soil testing. The test consist of placing a cylindrical probe in a borehole with a diameter that allows the probe to be in contact with the soil.

The active part of the pressuremeter is the probe because expands the soil cavity and measures deformations. This expansion is done by injecting air and water to the cells of the probe. The gas and water are injected by the control unit, which is a box containing several valves and gauge. The other part of the pressuremeter is the coaxial tube, this is a connector between the probe and the control unit.

The purpose of this work is to conduct a literary review on different methodologies to obtain parameters from the PMT, and it's application in geotechnical engineering investigations.

Results obtained from a serious of test performed, as well as from historical date available at ICE suggest that the most important variable at test is the limit pressure and pressiometric modulus. However pressure limit is difficult to obtain from the test it has to be calculated by extrapolating the results.

Once the pressure limit and the modulus are obtained it is possible to calculate the undrained shear strength, bearing capacity and settlements by correlations.

Keywords: Pressuremeter Ménard, pressure limit, modulus E_0 , undrained shear strength.

Resumen

El presiómetro Ménard es un equipo creado para realizar ensayos de suelos "in situ". El ensayo consiste en insertar una probeta cilíndrica hueca en una perforación cuyo diámetro debe ser cercano al diámetro de la probeta, para que ambos puedan estar contacto.

La parte activa del equipo es la probeta, ya que es la que se encarga de medir las deformaciones. Esta expansión se da mediante la inyección de agua y aire. Ambos se inyectan por la unidad de control, la cual es una caja donde se ubican varias válvulas y manómetros utilizados en el ensayo y mediante el tubo coaxial, o bien, manguera que conecta la unidad de control con la probeta.

Básicamente el proyecto se fundamenta en poner en funcionamiento el equipo e investigar metodologías para obtener los parámetros del PMT, para aprovecharlos en la investigación geotécnica.

Al estudiar los resultados obtenidos de ensayos del presente y de informes anteriores del ICE, se ha concluido que los parámetros más importantes son: la presión límite, o bien, presión a la que falla el suelo y el módulo presiométrico. A pesar que a nivel práctico resulta difícil obtener la presión límite a nivel teórico se puede calcular extrapolando los resultados.

Una vez obtenida la presión límite y el módulo se pueden obtener mediante correlaciones la resistencia no drenada, la capacidad de soporte y asentamientos.

Palabras clave: Presiómetro Ménard, presión límite, módulo E_0 , resistencia no drenada.

Implantación y Calibración del Presiómetro Ménard para estimación de la capacidad de soporte y deformabilidad de suelos en cimentaciones de proyectos ICE

PRISCILLA JIMÉNEZ DUARTE

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Enero del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	4
Objetivos.....	5
Alcances y limitaciones	5
Marco Teórico.....	6
El Presiómetro Ménard.....	6
Generalidades	9
Interpretación de curvas	9
Calibración del presiómetro Ménard	10
Interpretación de los resultados obtenidos... ..	10
Módulo presiométrico E_0	11
Presión límite p_L	12
Capacidad de carga	14
Asentamientos.....	19
Otros parámetros.....	22
Metodología	27
Calibración del equipo	27
Correcciones de las curvas	29
Pruebas realizadas en campo	31
Revisión de informes anteriores	37
Interpretación y correlación de resultados	38
Resultados.....	39
Análisis de Resultados	81
Conclusiones y Recomendaciones	90
Apéndices	94
Apéndice 1	95
Apéndice 2.....	128
Apéndice 3.....	137
Anexos.....	146
Anexo 1.....	147
Anexo 2.....	157
Anexo 3.....	164
Referencias.....	167

Prefacio

La implantación y calibración del presiómetro Ménard es un proyecto propuesto por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y consiste en realizar las pruebas y estudios necesarios para poner en funcionamiento el equipo. El presiómetro Ménard es un aparato que se utiliza para elaborar ensayos "in situ" para obtener características mecánicas del suelo.

El presiómetro Ménard propiedad del ICE se compró en el año 1986 para la actual Unidad de Experimentación Geotécnica (UEG). Con él se hicieron algunos ensayos a lo largo del tiempo, siendo los más recientes los realizados en el Proyecto Eólico Tejona, el Edificio de San Pedro y la Ampliación del Edificio Central del ICE. No obstante, dejó de utilizarse en el año 2002, después de las pruebas hechas para la Ampliación del Edificio Central. Sin embargo, dada la variedad de proyectos y estudios que tiene la unidad se planteó la posibilidad de volver a ponerlo en funcionamiento para con él contar con parámetros o caracterización de los suelos a cimentar.

El estudio de este tema se debe a que el equipo se está desperdiciando por estar en desuso. Además, es necesario estudiar y correlacionar toda la información existente entre sí, puesto que en el ICE no se tiene base de datos o información clara acerca de su uso, operación e interpretación de resultados. Por lo tanto, se busca facilitar esta labor y poner en funcionamiento el equipo para así tomarlo como un instrumento más en la investigación geotécnica para los proyectos de la institución.

Es así que la idea va fundamentada en cuanto a generar confianza hacia los resultados obtenidos mediante el ensayo presiométrico, y esto se puede lograr almacenando los estudios realizados, además de capacitarse y documentarse tanto como sea posible en la operación y funcionamiento del presiómetro Ménard (PMT).

Se considera importante tener en cuenta la utilidad y versatilidad de los ensayos

geotécnicos "in situ" en un programa de investigación del suelo, por lo que es necesario, siempre y cuando se escoja el método adecuado a la situación, que los equipos y procedimientos permitan la obtención de datos repetibles y fiables.

Con la ejecución de este proyecto, a pesar que no se ha podido generar una amplia investigación con ensayos anteriormente realizados, se ha puesto en marcha recopilar y guardar la información, para que a futuro se pueda volver a conjuntar todo lo recopilado y generar conclusiones concretas.

Se considera imprescindible brindar un reconocido agradecimiento, en general, al Instituto Costarricense de Electricidad por la aceptación inicial y la apertura de puertas ante la necesidad y la motivación de llevar a cabo esta práctica profesional dirigida. Más en concreto, se le agradece a todo el grupo de Ingenieros(as), técnicos y demás participantes del área de Ingeniería Geotécnica, del Centro de Servicio Diseño, UEN PYSA por la colaboración brindada durante los meses de práctica.

El agradecimiento es muy general ya que cada persona tuvo la bondad y generosidad de desplegar una mano hacia las necesidades que se fueron presentando durante la elaboración del proyecto, colocando con carisma y entrega su grano de arena. La oportunidad brindada y el tiempo invertido convirtieron los meses de práctica en un lapso agradable y de mucho valor en cuanto a aprendizaje, por ello se gratifica enormemente la disposición presentada.

Dedicado a mis padres, hermanos y demás familiares, por su apoyo incondicional.

Resumen ejecutivo

Los estudios y la investigación geotécnica constituyen un campo de vital importancia para la ingeniería, ya que el conocer las propiedades físico-mecánicas de un suelo es lo que realmente sustenta la posibilidad de cimentar una obra sobre el terreno y le da la viabilidad a la misma. Por ello, el conocimiento de las condiciones del suelo debe producir gran interés de parte de los encargados de realizar las obras así como de los clientes.

El adecuado estudio geotécnico evita un sin fin de problemas que se podrían prevenir, ya sea conservando vidas humanas, integridad estructural, deterioros o colapso de obras; es decir, el conocer si un subsuelo es apto para servir como cimentación es una necesidad de toda obra sin importar su complejidad o importancia, evidentemente discerniendo entre los métodos a utilizar en cada obra. Por lo tanto, se considera que el trabajo realizado es valioso no sólo para la Institución generadora (ICE), sino también para la comunidad estudiantil, ya que hace el estudio de uno de los equipos más comunes en relación con los ensayos geotécnicos "in situ". Dando una perspectiva de la variedad de parámetros y características que se pueden obtener a partir de una prueba presiométrica.

El planteamiento del tema corresponde a la necesidad de aprovechar el equipo para solventar labores de la institución de manera efectiva, lo cual ha creado un gran interés por la corta duración de la prueba y la importancia de los resultados para la geotecnia en general.

Este proyecto se basa en una recolección de información acerca del presiómetro Ménard, información que sirvió de guía para conocer la operación, el funcionamiento, los pasos, cuidados y recomendaciones a seguir para poder ejecutar un ensayo de manera correcta, así como las ecuaciones existentes para poder realizar los cálculos de presión límite, módulo presiométrico, resistencia al corte no drenada, capacidad de soporte y asentamientos.

El presiómetro Ménard es un aparato que mide la deformabilidad de los suelos con base en una expansión volumétrica. En resumen, el ensayo consiste en insertar la probeta en la perforación, una vez que se ubique a la profundidad deseada se le aplica presión y agua a la probeta mediante el tubo coaxial. La probeta tiene una membrana, la cual tiene dos cavidades internas, una que se le denomina celda central y otra que se llama celda de guarda, estas cavidades albergan lo que es el agua y el gas durante el ensayo.

La prueba consiste en llenar la probeta con gas y agua para que la funda metálica y la membrana entren en contacto con las paredes de la perforación. La inyección de gas se realiza incrementando la presión en la unidad de control. Dichos incrementos de presión se pueden realizar cada 60 segundos, dejando que el agua fluya libremente por el cuerpo de la membrana, en específico, por la celda central de la misma, alcanzado un volumen cercano a los 600cc o 700cc (volumen permisible). A este volumen se considera que la prueba ha terminado y el suelo ha llegado a su falla.

Con las lecturas de volumen y presión tomadas en campo se puede proceder a graficar la curva presiométrica y con ella calcular los resultados correspondientes; no obstante, antes de realizar los cálculos se debe corregir cada dato debido a la pérdida de volumen que existe por la deformabilidad interna del aparato y a la pérdida de presión causada por la inercia de la probeta, ambas correcciones se realizan con las curvas respectivas de calibración.

Existen dos ensayos de calibración, uno se realiza con la probeta al aire para poder inflarla hasta su máximo volumen y otra en un tubo rígido (indeformable), cuyo fin es tener una restricción para inflar la probeta y así lograr una deformación del tubo coaxial y mangueras internas de la unidad de control.

La calibración por volumen puede ejecutarse una vez para cada membrana, esto mientras no haya transcurrido largo tiempo

después de la última vez utilizada, mientras que la calibración por presión debe realizarse cada vez que se realice una prueba, puesto que la pérdida de presión es diferente en cada sitio, esto porque es afectada por la temperatura del lugar.

Teniendo las curvas corregidas se procede a realizar los cálculos de presión límite y módulo presiométrico, para luego con las correlaciones existentes obtener parámetros tales como: resistencia al corte no drenada, capacidad de soporte y asentamientos.

La mayoría de las pruebas en su curva presiométrica muestran la parte elástica, lo que indica el valor del módulo presiométrico; sin embargo, la presión límite se obtuvo a partir de extrapolación de los valores, ya que el volumen límite es mayor que la presión alcanzada en el ensayo, es decir, durante los ensayos realizados se ha podido percibir que el volumen permisible no permite la obtención de la presión límite según los métodos estudiados, método de Ménard, presión límite de Ménard, método gráfico y método de la Norma Francesa P94-110, por ello, si una prueba no permite el valor de la presión límite se alude que el suelo no ha fallado ante la imposición de esfuerzos ocasionados por la expansión de la probeta. No obstante, para obtener la presión límite se puede extrapolar los valores.

Con el valor de presión límite se obtuvo la capacidad de soporte de un suelo y también la resistencia al corte no drenada, estos cálculos se realizaron para cada método de presión límite con el fin de encontrar cual método se acercaba más al resultado con otros ensayos, esto se logró calculando la resistencia no drenada con ensayos de SPT y con ensayos de triaxial UU. En el caso de la capacidad de soporte se hizo un análisis de la capacidad de soporte neta de un suelo, ésta se calculó mediante el método de Ménard y con la ecuación de Vésic para cada resistencia no drenada (PMT, triaxial UU, SPT) de manera que al final se optó por la escogencia de la presión límite de Ménard (método 2) para realizar los cálculos futuros. Con los resultados obtenidos la presión límite 2 (como se le ha denominado en el desarrollo del trabajo) es la que brinda resultados más cercanos a los resultados de pruebas cercanas a las del presiómetro.

También se realizaron cálculos del módulo presiométrico y con él de los asentamientos según los métodos del Ménard, de manera que se pudieron comparar con los

resultados de asentamientos elásticos y por consolidación calculados con los métodos convencionales; no obstante, este tema debe ser mejor desarrollado y documentado, debido a que los asentamientos calculados con métodos del presiómetro resultaron menores con respecto a los asentamientos elásticos y por consolidación.

Es importante mencionar que los datos tomados en campo no brindaron curvas que tuvieran una tendencia legible y bien definida, en general, esta variabilidad se debe al manejo de la probeta dentro el agujero, al tipo de suelo predominante, a la cantidad de pares de presión-volumen obtenidos con el ensayo, al valor de los incrementos de presión que se realicen y al método de perforación utilizado, es decir, se debe escoger el método que genere menos alteración del medio. Por ello más variedad de pruebas sería lo ideal para poder crear correlaciones y hacer más eficiente y fiable una prueba de este tipo. Cuando se menciona más pruebas se pretende que se entienda que realizar una prueba presiométrica por sí sola, no genera información valiosa para la creación de una base de datos, ya que lo correcto es realizar la prueba pero también tomar muestras para analizar en laboratorio y aplicarle otros ensayos (en este caso triaxiales UU) y así respaldarse bajo los resultados de pruebas más conocidas en el ambiente de la experimentación geotécnica.

Ante esta situación es conveniente rescatar que las pruebas del presiómetro elaboradas a distancias relativamente cercanas a los ensayos con otros métodos, consideraron cierta similitud y acercamiento en cuanto a los resultados. No obstante también hubo resultados algo abruptos que posiblemente lo que falló no fueron los métodos de cálculo sino la ejecución de la prueba, es decir, el error humano en el momento del ensayo, ya sea por lectura de mediciones, inserción de la probeta, o condiciones ajenas.

Como conclusión final de este trabajo, se proponen ecuaciones y relaciones, exclusivas para los proyectos analizados, para relacionar el ensayo presiométrico con el ensayo de laboratorio triaxial UU y con el SPT; no obstante, la incertidumbre es muy amplia, por ello se consideran pobres en cuanto a fiabilidad.

Introducción

La calibración e implantación del presiómetro Ménard es un proyecto propuesto por el Área de Ingeniería Geotécnica, en adelante AIGT, del ICE y consiste en realizar los estudios teóricos y prácticos para volver a poner en funcionamiento el equipo, de manera que con la generación e interpretación de resultados éste se disponga a la UEG, para ejecutar los diversos estudios de suelos que realiza el área, en relación con la investigación de las propiedades mecánicas del suelo "in situ".

Este proyecto lo que pretende es reunir la literatura existente en la institución acerca del uso, operación e interpretación de los resultados del equipo en valoración, esto con el fin de facilitar a los ingenieros y técnicos del AIGT el trabajo respectivo. Esta literatura comprende libros, documentos generados por Louis Ménard, inventor del presiómetro e informes previamente elaborados por ingenieros geotecnistas del ICE.

En el marco teórico se describirá acerca de los tipos de presiómetros (GB, E y GC) y sus principales diferencias. Además se incluye una descripción de las partes vitales del equipo, es decir, la unidad de control, la probeta y el tubo coaxial.

Esta sección contiene la importancia de las correcciones de las curvas de calibración del equipo, esto para asegurarse de evaluar los esfuerzos directamente aplicados al suelo. Existen dos tipos: la calibración por inercia de la probeta o calibración por presión, la cual se logra realizando pruebas al aire de la probeta, con el fin de inflar la probeta sin restricción alguna para evaluar la resistencia de la membrana; y la calibración por deformabilidad interna del aparato o calibración por volumen, esta prueba se realiza con la probeta dentro del tubo rígido, con la finalidad de ejercer presión contraria a la probeta y limitar la libre expansión, con ello se logra la deformación del tubo coaxial y las mangueras internas de la unidad de control, generando así, la deformabilidad del aparato.

Dentro de los aspectos más relevantes que comprende el marco teórico está la interpretación de la curva presiométrica, es decir, las secciones en que se divide y los parámetros que se pueden obtener de cada una de ellas. Por lo tanto, también se describen las ecuaciones y diferentes métodos para obtener los parámetros generados por la prueba, tales como el módulo presiométrico, la presión límite, la resistencia al corte no drenada, la capacidad de soporte y los asentamientos. Cada uno de estos parámetros conlleva distintos cálculos, por lo cual se describen uno a uno a lo largo de la sección comentada.

La metodología de este proyecto comprende los cuidados, maneras y algunas recomendaciones para realizar una prueba presiométrica de manera correcta, dando al lector una esquematización de los pasos a seguir en forma secuencial al ejecutar el ensayo, se procura dejar claro cada paso y el porqué es necesario realizarlo. Además se hace un breve resumen de los ensayos realizados en campo durante la ejecución de la práctica, los cuales se ejecutaron en el sitio Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico El Diquis y en Villa Briceño para el proyecto de torres de telecomunicación GSM-BT's. Así como un resumen de los informes revisados y ejecutados en proyectos anteriores, tales como el proyecto Eólico de Tejona y la propuesta a Ampliación del Edificio Central del ICE Sabana.

Más adelante se tabulan los resultados de los cálculos realizados, tales como: presión límite, módulo presiométrico, resistencia no drenada, obtenidos con los métodos empíricos encontrados en la literatura y con triaxiales UU, capacidad de soporte con el método de Vésic y con el método del presiómetro, así como los asentamientos según la teoría del presiómetro y según los métodos convencionales. Además se presentan gráficos de dispersión obtenidos con los mismos resultados, cuyo fin es agrupar los cálculos generados, para así obtener

correlaciones entre los ensayos del presiómetro y los ensayos de laboratorio.

Finalmente el trabajo concluye en las recomendaciones de la escogencia de métodos para el cálculo de los parámetros, así como un manual de operación del equipo, tomado del mismo manual de la empresa Roctest, quienes son los proveedores del presiómetro Ménard.

Objetivos

Se tiene como propuesta para el presente trabajo concluir con la totalidad de los siguientes objetivos.

Objetivo general

- Evaluar la condición actual de operación del presiómetro Ménard para realizar las acciones correctivas necesarias a fin de que funcione correctamente, realizando además las calibraciones necesarias y pruebas, de manera que, en un plazo de 4 meses se pueda utilizar en la estimación directa de la capacidad de soporte y características de deformabilidad de suelos que se utilizarán para las cimentaciones de proyectos ICE.

Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual del equipo, presiómetro Ménard, propiedad de la Unidad de Experimentación Geotécnica del ICE y ejecutar los ajustes y reparaciones necesarias para hacerlo funcionar nuevamente. Haciendo las pruebas en laboratorio necesarias.
- Revisar información bibliográfica sobre los aspectos teóricos del presiómetro Ménard de modo que sirva de insumo para su puesta en práctica. Presentando un resumen de los métodos para realizar los cálculos correspondientes.
- Revisar información bibliográfica sobre la operación del equipo para evitar situaciones riesgosas en su utilización en campo y laboratorio.
- Ejecutar, una vez que el equipo este en condiciones de operar, una serie de

pruebas en varios sitios, para calibrar sus resultados en función de investigación de referencia realizada con otros medios de investigación geotécnica.

- Preparar el manual de operación y mantenimiento del equipo con el fin de lograr su correcta utilización. Este manual se basará en el manual dado por los proveedores del equipo.
- Preparar hojas de cálculo para procesar la información obtenida del equipo. Esta hoja puede ser con programaciones en una hoja de Excel y con macros de Visual Basic.
- Establecer correlaciones entre los parámetros obtenidos con el equipo y los métodos tradicionales, revisando informes y literatura técnica existente, además crear gráficos para observar la dispersión de los resultados.

Alcances y limitaciones

Se pretende cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos por el AIGT, para poder solventar las necesidades que se les presenta en los diferentes proyectos de ingeniería geotécnica que tiene la Institución. No obstante con el transcurso del proyecto y su culminación se podrá corroborar el cumplimiento de los mismos.

Una limitación en este proyecto sería el daño físico del aparato, es decir, el daño de alguna válvula que sea necesario cambiarla y que no se encuentre en el país, lo que provocaría atrasos y demoras de uso del aparato. También otra limitación sería que no se pueda programar ensayos en campo para los distintos proyectos en ejecución, ya sea porque no son necesarios o porque no es posible acomodar giras por motivos adversos. Sin embargo, la limitación más firme se encuentra en el momento de realizar las correlaciones que se pretende, debido a que la idea es evaluar los resultados del PMT con los resultados de pruebas de laboratorio como triaxial UU y otros ensayos de campo, en este caso el más común que es el SPT; no obstante, para tener una correlación es importante realizar la prueba del presiómetro en el mismo sitio que los ensayos propuestos, aspecto que es difícil de concretar, ya que cada prueba debe ser programada por el geotecnista del proyecto, según sean sus necesidades.

Marco Teórico

El Presiómetro Ménard

El presiómetro Ménard es un equipo para realizar ensayos de suelo "in situ". Consta de tres componentes principales, los cuales son:

- La Unidad de Control
- El Tubo Coaxial
- La Probeta

En las Figuras 1 y 5 se pueden apreciar cada una de estas partes debidamente rotuladas:

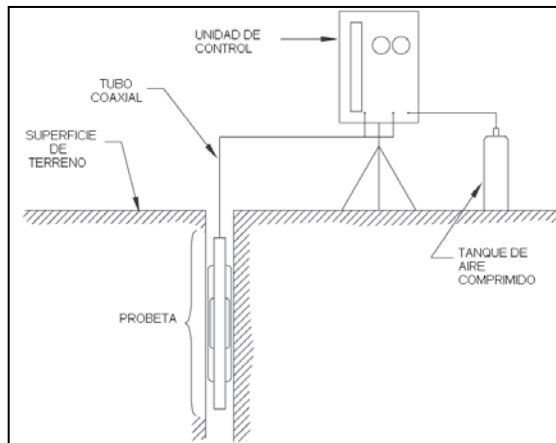


Figura 1. Esquema de las partes del Presiómetro Ménard (Roctest, 1983).

Partes del presiómetro

A continuación se hace una descripción de cada una de las partes principales del presiómetro, estas explicaciones son basadas en lo descrito en el manual del equipo. (Roctest, 1983).

Unidad de Control

La unidad de control es una caja de fibra de vidrio con un panel frontal en el cual hay varios reguladores, calibradores de presión y válvulas, como se observa en la Figura 2. Dentro de la unidad de control hay un reservorio el cual supe

de agua la celda central de la probeta. La variación de volumen inyectado durante el ensayo es leído a partir de este regulador de volumen. Una importante característica del sistema es que existen dos rangos de presión según el tipo de suelo a ensayar:

- 0-2500 kPa para la mayoría de las aplicaciones en suelos, es decir, suaves y medios.
- 0-10000 kPa para ensayos en suelos densos y rocas.
- También se usan presiones de 0 a 5 bares para casos de suelos muy suaves.

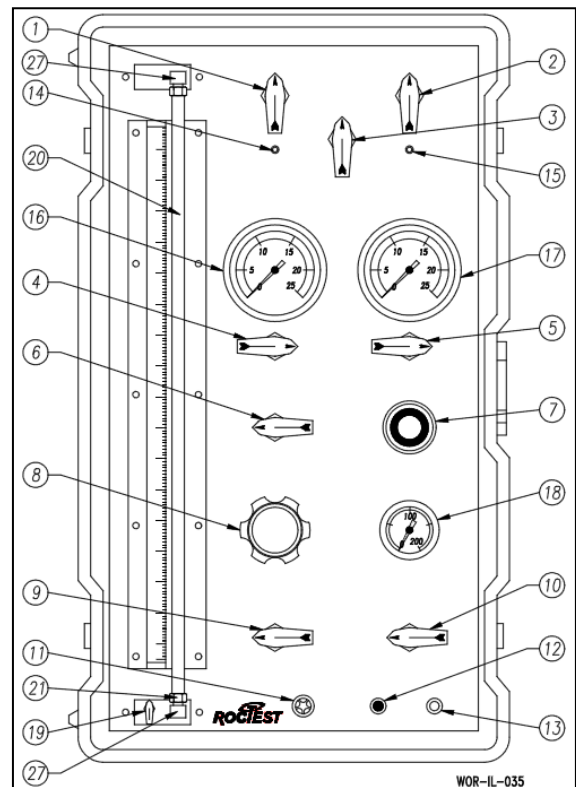


Figura 2. Esquema de la unidad de control (Roctest, 1983).

Donde:

- 1: válvula para el llenado del reservorio.
- 2: válvula para hacer un ciclo (por lo general no se usa).
- 3: válvula para poner en modo de transporte el equipo.
- 4 y 5: válvulas para escoger el rango de presión a trabajar.
- 6: válvula para escoger el rango de profundidad a trabajar.
- 7: regulador de presión.
- 8: regulador de presión diferencial.
- *Los reguladores 7 y 8 invierten su función si la profundidad del ensayo es mayor que 11m.
- 9: válvula de la celda de central (agua).
- 10: válvula de la celda de guarda (gas).
- 11: conector de agua (celda de central).
- 12: conector de gas (celda de guarda).
- 13: conector del cilindro de gas.
- 14 y 15: válvulas para ensayos en suelos densos y rocas (el presiómetro de UEG no los tiene).
- 16 y 17: relojes para medir la presión inyectada y la presión diferencial respectivamente (celdas de medición).
- 18: reloj de medición del gas en el cilindro.
- 19: válvula de ensamble principal
- 20, 21 y 22: piezas del reservorio, tubo y sujetadores.

Probeta

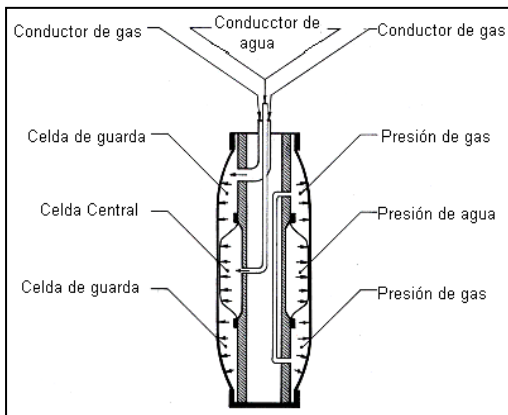


Figura 3. Representación esquemática de la probeta (Roctest, 1983).

La probeta es una de las partes esenciales del equipo. Ésta, como se representa en la Figura 3, es un cilindro metálico hueco, alrededor del cual hay una membrana de hule ubicada en la parte central, esta membrana tiene una protección, la

cual se extiende sobre la totalidad de la longitud de la probeta. Esta parte es la que está en contacto directo con las paredes de la perforación cuando la probeta es presurizada.

Para minimizar los riesgos de perforado de la membrana, se utilizan unas tiras de metal adheridas a la cara exterior de la membrana de hule. La función de las tiras es mantener la membrana de hule protegida mientras está siendo inflada en el momento del ensayo.

La membrana es la parte activa de la probeta, ya que es la que se infla bajo los incrementos de presión y volumen causando las deformaciones por agua y presión reguladas por las válvulas de la unidad de control.

Se considera que la celda central es la que deforma al material en su longitud, no obstante es importante tomar en cuenta la deformación realizada por las celdas de guarda, o bien, membranas donde se inyecta la presión de gas, por lo tanto como se observa en la Figura 3 hay una división interna entre ambas membranas, esta división permite que la presión de gas sea aplicada fuera de la protección interna de la membrana, para así extenderse a lo largo de la probeta. Así, cuando la membrana de hule entra en contacto con la protección metálica se trasmite la carga al material ensayado. En la Figura 4 se puede observar la expansión que se da en cada celda.

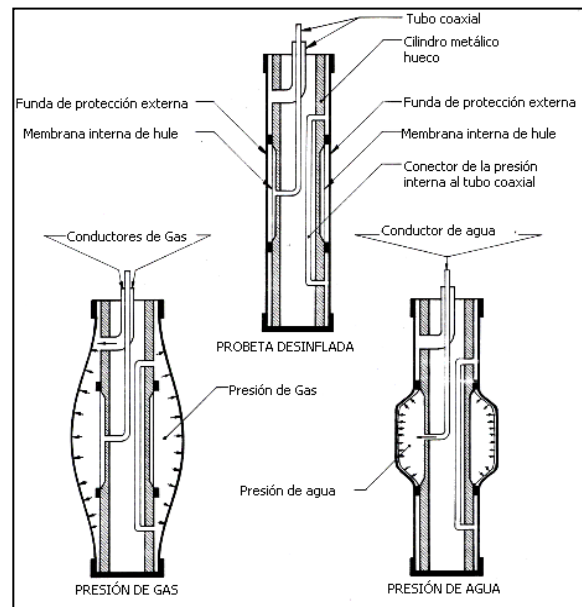


Figura 4. Esquema de la expansión de la probeta (Roctest, 1983).

Para poder obtener resultados precisos y reales se debe hacer que el diámetro de la perforación se ajuste con el diámetro de la probeta, por ende existen diferentes tamaños de probeta en el mercado, los cuales se mencionan en el cuadro 1:

CUADRO 1. DIÁMETROS DE LAS PROBETAS (Roctest, 1983)			
Tipo	Diámetro de la probeta (mm)	Diámetro del agujero (mm)	
		Mínimo	Máximo
EX	32	32	38
AX	44	46	52
BX	58	60	66
NX	70	74	80

EXCEL 2007

Celda central y celda de guarda

Las celdas son partes internas de la probeta del presiómetro (ver Figura 4). Cabe destacar que para medir la deformación exacta del material durante el ensayo debe tenerse en cuenta que:

- La celda central de la membrana de hule debe estar siempre en contacto absoluto con la funda metálica (**Baguelin, 1978**).
- La membrana no debe deformarse axialmente con los incrementos de presión realizados (**Baguelin, 1978**).

Estas condiciones se cumplen si la presión en la celda de medida menos la inercia de la membrana, excede la presión de gas en la celda de guarda producto de la presión diferencial constante.

Tubo coaxial

El tubo coaxial consiste en 2 tubos conectados de manera concéntrica, de la unidad de control a la probeta. El tubo interno es utilizado para aplicar el agua a presión mientras que el tubo externo se utiliza para aplicar la presión de gas a las celdas de guarda.



Figura 5. Presiómetro Ménard de la UEG.

Tipos de Presiómetros

Existen diferentes tipos de presiómetros, entre ellos se pueden mencionar el presiómetro tipo GB, la particularidad de este presiómetro es que todas sus celdas se llenan con agua a presión, y está adaptado para realizar ensayos en roca. El tipo E es el presiómetro en el que la presión en la celda de guarda se mantiene igual que la presión en la celda central, es decir, una vez que la celda de guarda se llena con el gas, la presión automáticamente se iguala en ambas celdas (**Baguelin, 1978**).

El presiómetro GC consta de dos celdas, celda de guarda y celda central, ambas presurizadas con gas y agua respectivamente. Este tipo requiere una presión más alta en la celda de central con respecto a la celda de guarda. Este diferencial de presiones es

requerido para asegurarse que la celda de central deforma la probeta con la presión marcada y que la celda de guarda permanece en contacto con la funda. La magnitud de la diferencia de presiones depende del tipo de material usado por la membrana y el esfuerzo del suelo. Para la mayoría de los suelos y las membranas estándar se recomienda una diferencia de 110kPa, no obstante si el ensayo se realiza a más de 11 metros la presión hidrostática del agua en el tubo provee esta presión diferencial, por lo tanto en este caso en particular la prueba puede ejecutarse con igual presión en ambas celdas (**Baguelin, 1978**).

Es importante recalcar que todos los tipos de presiómetros funcionan de manera similar, las modificaciones aparecen en el procedimiento, básicamente las diferencias aparecen en las duraciones de las presiones y en los incrementos de ellas (**Baguelin, 1978**).

Dadas estas explicaciones de los tipos de presiómetro que existen en el mercado, se tiene que el Presiómetro Ménard propiedad de la UEG es del tipo GC, ya que es presurizado con agua y gas y además necesita tener la presión diferencial para cada ensayo a ejecutar.

Generalidades

El ensayo presiométrico, consiste en la introducción de un campo radial de presiones por medio de la aplicación de una presión hidráulica que llena por completo la perforación en una longitud conocida. Este ensayo, se efectúa sobre el mismo terreno que posteriormente sufrirá los estados tensionales producidos por la estructura (**Roctest, 1983**).

Las variaciones de volumen registradas durante el ensayo se convierten en deformaciones del suelo, y son las que permiten medir el módulo elástico y la presión límite a partir de la curva presiométrica.

Interpretación de curvas

Una vez terminada la prueba del presiómetro es posible proseguir con la interpretación de los datos tomados en campo. En un inicio se genera una curva a la que se le denomina curva presiométrica, en esta curva la relación presión-

volumen crecerá dependiendo de las propiedades del material.

Con los datos de la prueba es posible obtener la siguiente curva típica:

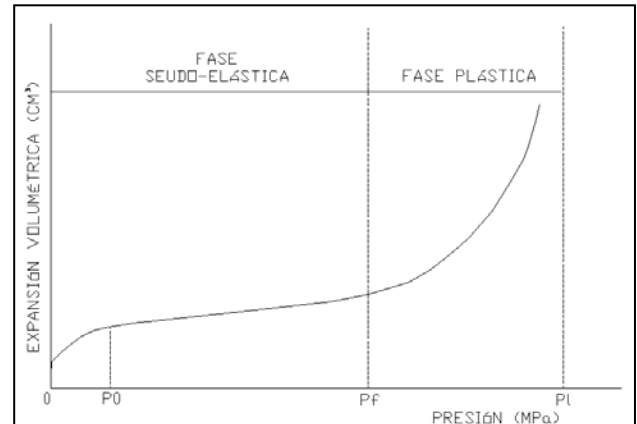


Figura 6. Curva característica presiométrica (**Roctest, 1983**).

En la Figura 6, se indica que el rango de presión de 0 a P₀ corresponde a la interacción de la probeta contra la pared de la perforación. En esta parte de la curva puede influir la alteración de la pared del agujero, inducida por el manejo de la probeta en el sitio, así como la diferencia de diámetros entre el agujero y la probeta. Esto podría afectar de manera considerable los resultados obtenidos (**Roctest, 1983**).

En el rango de P₀ a P_f se tiene la representación gráfica del comportamiento seudo-elástico del material cargado, en esta porción la probeta está en contacto con las paredes del agujero y la carga es uniforme a lo largo de toda su longitud activa. Esta porción de la curva permite definir el módulo de deformación del suelo bajo la carga, el cual puede ser utilizado para la evaluación de los asentamientos.

Si la probeta está en contacto con las paredes de la perforación antes de iniciar la aplicación de presiones, el suelo puede mostrar el comportamiento del módulo seudo-elástico desde el inicio de la prueba (**Roctest, 1983**).

Finalmente se tiene la porción que va desde P_f a P_l, en esta parte se tiene que la presión P_f, por definición es la presión a la cual el suelo entra al estado plástico, sobre esta presión se da la deformación del suelo bajo una carga acelerada, y P_l es la presión límite, por definición, cuando la curva toma una forma asintótica al eje de las ordenadas se da la falla del suelo y la

presión a la cual se da este comportamiento corresponde a la presión límite (Roctest, 1983).

Calibración del presiómetro Ménard

El presiómetro Ménard es un equipo que debe ser calibrado por deformabilidad interna del aparato, o bien, expansión intrínseca del sistema y por la inercia de la probeta. A continuación se presentan las razones por las que se debe calibrar este equipo antes de realizar los ensayos en campo.

Calibración debida a la expansión intrínseca del sistema completo

Cuando se realiza un PMT las variaciones de volumen medidas en la unidad de control son una combinación de los cambios de volumen debidos a la deformación de los materiales, a la deformación que sufre el tubo coaxial, a la expansión de la unidad de control y a la compresibilidad de la membrana de hule y de la protección metálica.

El volumen perdido es inyectado dentro del sistema pero éste no corresponde a ningún incremento en el volumen la probeta, una vez que la probeta haya alcanzado su saturación en el tubo rígido, por lo tanto este no corresponde a incrementos en el volumen de la cavidad de suelo durante el ensayo.

Calibración debida a la inercia de la probeta

Al final de la calibración por volumen, la probeta es desinflada y el volumen se pone en cero, con ello es posible extraer la probeta del tubo rígido. Es conveniente tener en cuenta que este procedimiento debe repetirse como mínimo tres veces para trabajar la membrana.

Elaborado esto, se puede dar inicio a la calibración por resistencia de la membrana. Esta consiste en posicionar la probeta al aire y al nivel del terreno e inflarla con incrementos de presión hasta alcanzar un volumen de 600cm^3 o 700cm^3 ,

la relación de volumen-presión se grafica con las lecturas de presión tomadas del manómetro.

Para cada volumen leído hay una presión, tal como se muestra en la Figura 7, la cual se trata de una curva de calibración por inercia típica, sin embargo esta presión existe dentro de la probeta pero no fuera de ella, por ende se considera que esta presión no es ejercida en la paredes de la cavidad de suelo durante el ensayo. Por ello, esta presión de inercia debe ser sustraída a cada una de las lecturas de presión tomadas en campo.

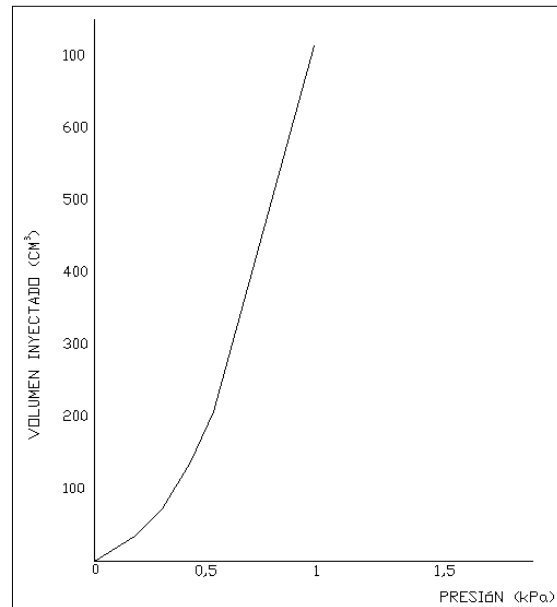


Figura 7. Curva típica presión versus volumen para la calibración de la probeta (Roctest, 1983).

En la sección de metodología se explica el procedimiento para realizar las calibraciones y además las correcciones que se le hacen a la curva presiométrica a partir de los resultados de estas calibraciones.

Interpretación de los resultados obtenidos

Este apartado está basado en las referencias: (Ménard, 1975) y (Briaund, 1992) que se indican al final del trabajo, y se trata de una reelaboración de las explicaciones encontradas.

Características de los resultados

A partir de las curvas de presión-volumen obtenidos en cada ensayo es posible conocer las características mecánicas del suelo tales como el módulo presiométrico y la presión límite.

El módulo presiométrico E_0 es una variación del módulo del suelo, es característico de la fase pseudo-elástica de la curva del ensayo, no debe confundirse con el módulo del odómetro. La obtención del módulo presiométrico es esencial en los cálculos del asentamiento de las fundaciones (Ménard, 1975).

La presión límite se define como la presión que sucede cuando se da la falla del suelo. Esta presión es una característica mecánica fundamental que entra en el análisis de la estabilidad de fundaciones (Ménard, 1975).

El ensayo también permite los cálculos de otras características del suelo tales como: la fluencia del suelo y el estado elástico límite, coeficiente de fluencia y la presión natural (descanso, reposo), sin embargo, según la teoría estas características salen con estudios especiales y no aparecen en las pruebas usuales.

Cálculo del módulo presiométrico y la presión límite

La teoría en la que se basa la interpretación de la curva presiométrica es la expansión de una cavidad cilíndrica en un medio elástico. Ofreciendo una solución por la mecánica de medio continuo.

Módulo presiométrico E_0

En un medio elástico, la expansión radial de la cavidad cilíndrica es calculada por la ecuación (Ménard, 1975):

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{(1+\mu)}{E_0} \Delta p \quad \text{Ecuación 1}$$

$$E_0 = (1 + \mu) \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

μ = coeficiente de Poisson y se le asigna un valor arbitrario de 0,33.

Cuando se sustituye el radio y se expresa en función de volumen, la ecuación se convierte en (Ménard, 1975):

$$E_0 = (1 + \mu) 2V \frac{\Delta p}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

V = volumen en la cavidad al instante en que $\frac{\Delta p}{\Delta v}$ es medido. Esta razón significa los cambios de volumen y presión provenientes de la fase pseudo-elástica del ensayo.

El módulo que se deriva de la ecuación 3 es denominado módulo presiométrico.

En el ensayo del presiómetro el volumen V depende del tamaño de la probeta y es una suma de dos componentes (Ménard, 1975):

$$V = V_0 + V_m \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

V_0 = volumen inicial (cm^3)

V_m = volumen adicional inyectado, leído directamente de la curva, es el promedio del cambio de volumen de la fase elástica (cm^3)

El volumen inicial se puede calcular de cualquiera de las maneras que se mencionó anteriormente, no obstante se considera mejor opción la propuesta por la norma ASTM D4719 (American Standard Test Method) ya que toma en consideración el volumen inyectado en la probeta en el momento de la calibración, es decir, es único para esa probeta bajo las condiciones del sitio:

$$V_0 = \frac{\pi}{4} L D_i^2 - V_i \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

L = longitud inflable de la probeta (cm)

D_i = Diámetro interno del tubo indeformable (cm)

V_i = volumen de intercepción con el eje de las ordenadas a cero presión en la curva de calibración por volumen (cm^3)

Dadas estas recomendaciones se plantea que la ecuación 3 puede ser expresada por (Ménard, 1975):

$$E_0 = k \frac{\Delta p}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

k = coeficiente dimensional de la probeta y

$$k = (1 + \mu) 2(V_0 + V_m) = 2,66(V_0 + V_m)$$

Es importante mencionar que los resultados del módulo presiométrico no son iguales que los resultados del módulo odométrico, sin embargo se pueden correlacionar mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{E_0}{\alpha} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

E= módulo odométrico (kg/cm²)

α= depende del tipo de suelo y E₀/p_L (ver cuadro 6)

Además de estas ecuaciones hay un gráfico de dispersión para el cálculo de módulo, este gráfico no tiene una tendencia ni el trazo de una curva de mejor ajuste, sólo es un bosquejo de investigaciones de ensayos realizados con el presiómetro. En la Figura 8 se muestran los valores de la resistencia no drenada contra el módulo presiométrico. Nótese que en esta figura se utilizan unidades del sistema inglés "tsf" (tons square feet) por lo tanto la conversión es: 1tsf=98,5kPa. Cabe resaltar que en esta figura hay una importante dispersión de los datos.

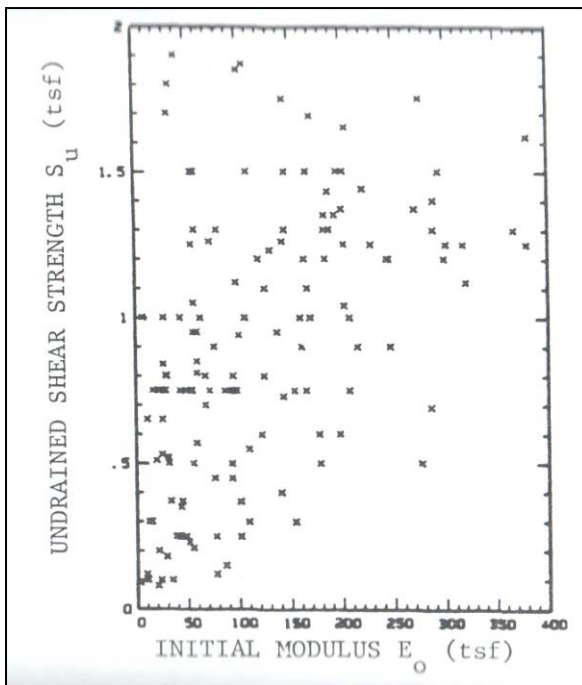


Figura 8. Valores de módulo presiométrico vrs resistencia no drenada (Briaud, 1992).

Presión límite p_L

Por definición la presión límite está en el eje de las abscisas y es asintótica a la curva presiométrica. Ésta puede ser determinada directamente de la curva, cuando la misma es clara, sin embargo se plantean otros métodos que son útiles cuando la curva no refleja claramente este valor. Es importante tener en cuenta que el valor de presión límite se obtiene a partir de la curva presiométrica corregida.

Método Ménard (método 1)

Ménard recomienda definir una presión límite convencional, como aquella que produce un incremento de volumen ΔV igual al doble del volumen inyectado en la probeta. El volumen límite se denomina como el volumen inyectado para obtener una sección de perforación igual al doble de la inicial, es decir (Ménard, 1975):

$$V_l = V_0 + 2V_i \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

V_l= volumen límite (cm³)

V_i= volumen inyectado en el comienzo de la fase elástica (cm³)

V₀= volumen inicial (cm³)

Cabe destacar que el volumen límite es el volumen al cual se va a obtener la presión límite. En la curva presiométrica es más fácil medir volúmenes que presiones, ya que con ellos se visualiza un cierto comportamiento en cuanto a la cantidad de inyección. Además, el ensayo se limita a un valor de centímetros cúbicos, mientras que la presión no se limita, pues esta depende del tipo de suelo ensayado. Por ello en su mayoría las ecuaciones propuestas se basan en volumen.

Presión límite de Ménard (método 2)

Esta se calcula tomando la presión correspondiente al incremento de volumen ΔV, mismo que sería igual al volumen inicial en el agujero V, es decir (Ménard, 1975):

$$\frac{\Delta V}{V} = 1 \quad \text{Ecuación 9}$$

El volumen inicial en el agujero es posible calcularlo en la práctica como $V=V_0 + V_i$. Al ser este valor una relación lineal con el valor de ΔV se asume que a este volumen límite se obtiene la presión límite.

Se debe tener en cuenta que si durante el ensayo el incremento volumétrico alcanzado es menor que el especificado anteriormente será necesario extrapolar con precisión los valores de la presión límite, la cual ha sido excedida durante el ensayo.

Método gráfico (método 3)

Esta forma de obtener la presión límite corresponde a graficar en una escala semi-logarítmica los últimos pares de volumen y presión de la fase plástica. Al graficarlos se obtiene aproximadamente una línea recta, la cual se extiende hasta casi los 700cc, al volumen límite (ver Figura 9) se considera que se obtiene la presión límite del suelo, es decir, a (Devincenzi & Frank, 1995):

$$V_i = 2V_0 \quad \text{Ecuación 10}$$

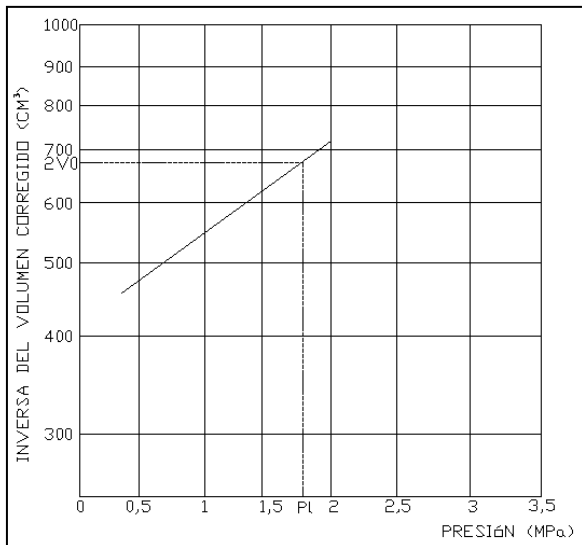


Figura 9. Cálculo de la presión límite por el método gráfico (Devincenzi & Frank, 1995).

Método recomendado por la Norma Francesa P 94-110 (método 4)

Es utilizado cuando durante la ejecución del ensayo no se alcanza el volumen límite que brinde el resultado de presión límite, de acuerdo

a esta situación es posible tomar las siguientes indicaciones:

- Si el número de lecturas de presión de la fase elástica es igual o inferior a 2 (Devincenzi & Frank, 1995):

$$p_L = 1,7p_f - 0,7p_0 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

p_f = presión al inicio de la fase elástica (kg/cm^2) (ver Figura 6)

p_0 = presión horizontal en reposo del terreno al nivel del ensayo (kg/cm^2)

- Si el número de lecturas de presión en la fase elástica es mayor que 3, la p_L se calcula con base en la ecuación 10 (método presión límite de Ménard) y al método anteriormente descrito. Por convención se utiliza el menor de los valores calculados.

Es importante mencionar los métodos propuestos para calcular la presión horizontal en reposo en el nivel donde se ejecuta la prueba. Una manera es graficando los valores de presión corregida versus los valores de $\Delta R/R_0$ (ver apartado "Deformación"). El punto de máxima curvatura A, en la figura 10 corresponde al valor de p_0 .

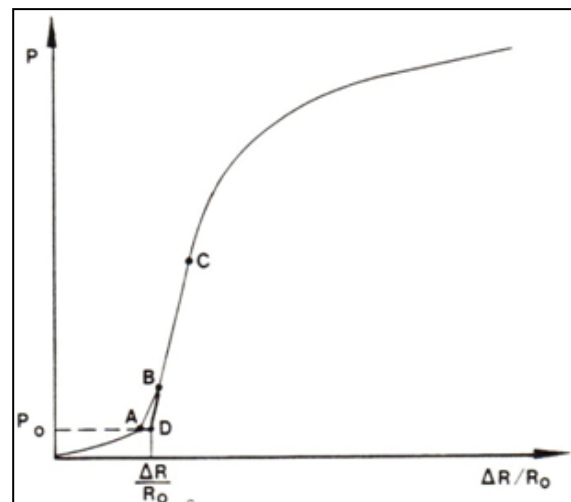


Figura 10. Obtención de la presión horizontal en reposo (Briaund, 1992).

Alternativamente esta presión también puede calcularse como:

$$p_0 = k_0 \gamma h \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

k_0 = coeficiente para la presión horizontal en reposo (se recomienda 0,5, para este trabajo).¹

H= profundidad del ensayo (m).

γ = peso volumétrico del suelo (ton/m^3).

Otros métodos

Un valor aproximado de la presión límite puede también ser obtenido considerando los siguientes resultados estadísticos (**Roctest, 1983**):

- La presión de fluencia (o al final de la fase elástica) la cual es igual a la mitad o las 2/3 partes de la presión límite.
- Para todas las formaciones geológicas, hay una constante relación entre E_0 y p_L de acuerdo al tipo de suelo.

En el cuadro 2 se tabulan los valores usuales de E_0 y p_L para los principales tipos de suelos. Estas se pueden utilizar para darse un parámetro de los valores teóricos cuando se obtienen lecturas ampliamente dispersas.

CUADRO 2. VALORES INDICATIVOS DE MÓDULO PRESIOMÉTRICO Y PRESIÓN LÍMITE (Roctest, 1983)

Tipo de suelo	E_0 (kPa)	P_L (kPa)
Barro, turba	200-1500	20-150
Arcilla suave	500-3000	50-300
Arcilla media	3000-8000	300-800
Arcilla rígida	8000-40000	600-2000
Marga	5000-60000	600-4000
Arena limosa	500-2000	100-500
Limo	2000-10000	200-1500
Arena y grava	7500-40000	1000-5000
Arena sedimentaria	7500-40000	1000-5000
Piedra caliza	80000-20000000	30-100
Rellenos recientes	500-5000	50-300
Rellenos viejos	4000-15000	400-1000

EXCEL 2007

¹ Se recomienda $k_0 \cong 1$ para $\gamma' \cong 0,55 \text{ t/m}^3$ o $k_0 \cong 0,5$ cuando $\gamma' \cong 1,1 \text{ ton/m}^3$. (**Ménard, 1975**)

Capacidad de carga

La capacidad de carga es un valor obtenido a partir de la presión límite que resulta de la curva presiométrica. A nivel experimental y teórico se pueden mostrar las capacidades últimas de carga de la fundación, misma que es proporcional a p_L , al desplante y tipo de fundación.

La manera de obtener la capacidad de carga es una relación teórica y experimental, obtenida de trabajos de investigación realizados con el presiómetro por otros autores.

La capacidad de carga calculada con el método del presiómetro depende del tipo de cimiento y el tipo de suelo, sin embargo los resultados tomados directamente de este método brindan simplicidad sobre los análisis convencionales, los cuales toman en cuenta varios parámetros tales como la resistencia no drenada y el ángulo de fricción interna. Cabe destacar que la confianza y la exactitud de la capacidad de soporte calculada con el método del presiómetro depende del valor de presión límite calculado, por lo tanto también depende del método a utilizar. Dentro de las recomendaciones que se pueden dar para este trabajo están:

- Realizar varios ensayos en el mismo sitio y corroborar la similitud entre los resultados de presión límite obtenidos, con el fin de tener la seguridad que el comportamiento de la curva presiométrica muestra el esperado cuando se da la falla del suelo.
- Corroborar los resultados de presión límite obtenidos con los valores del cuadro 2, si en caso los valores calculados están ampliamente dispersos de los rangos propuestos en dicho cuadro, se propone volver a repetir el PMT.
- Calcular el valor de resistencia al corte no drenada con la ecuación 48 o 49 y calcular la capacidad de soporte con la fórmula de Vésic (opcional).

Una vez aprobado el valor de presión límite es posible validar el método para el cálculo de la capacidad de carga, no obstante esta técnica debería emplearse en cada ensayo realizado.

La capacidad última de la fundación q_L se estima relacionado la presión límite del suelo por una función lineal (**Ménard, 1975**):

$$q_L - q_0 = k(p_L - p_0) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde

k= factor de carga que varía de 0,8 a 9 de acuerdo a la geometría de la fundación y tipo de suelo (ver figuras 11 y 12)

q₀= presión de sobrecarga en la periferia al nivel de fundación (kg/cm²)

p₀= presión horizontal en reposo en el nivel donde se ejecuta el ensayo (kg/cm²)

El valor k que se utiliza en esta fórmula puede tomarse de las Figuras 11 o 12, las cuales dividen al suelo en 4 categorías (ver cuadro 3), el eje de las abscisas corresponde a la relación del desplante equivalente o bien desplante de la fundación entre el radio del cimientto.

Las presiones p₀ y q₀ son presiones totales, el valor de p₀ se puede tomar de la Figura 10 o bien la ecuación 12.

Generalmente, la presión neta límite p_L' es la presión diferencial entre la presión límite alcanzada p_L y la presión horizontal en reposo (**Ménard, 1975**):

$$p_L' = p_L - p_0 \quad \text{Ecuación 14}$$

Según la teoría del presiómetro, la capacidad neta de carga se puede definir como (**Ménard, 1975**):

$$q' = q_L - q_0 \quad \text{Ecuación 15}$$

Así se puede simplificar la ecuación 13 como (**Ménard, 1975**):

$$q' = kp_L' \quad \text{Ecuación 16}$$

Cuando en la investigación geotécnica resulta la presencia de nivel freático la capacidad neta de carga sería (**Ménard, 1975**):

$$q_L - q_0 = k[(p_L - h) - k_0\gamma'h] \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

h= altura existente entre la mitad de la probeta y la mitad del tubo del reservorio (m)

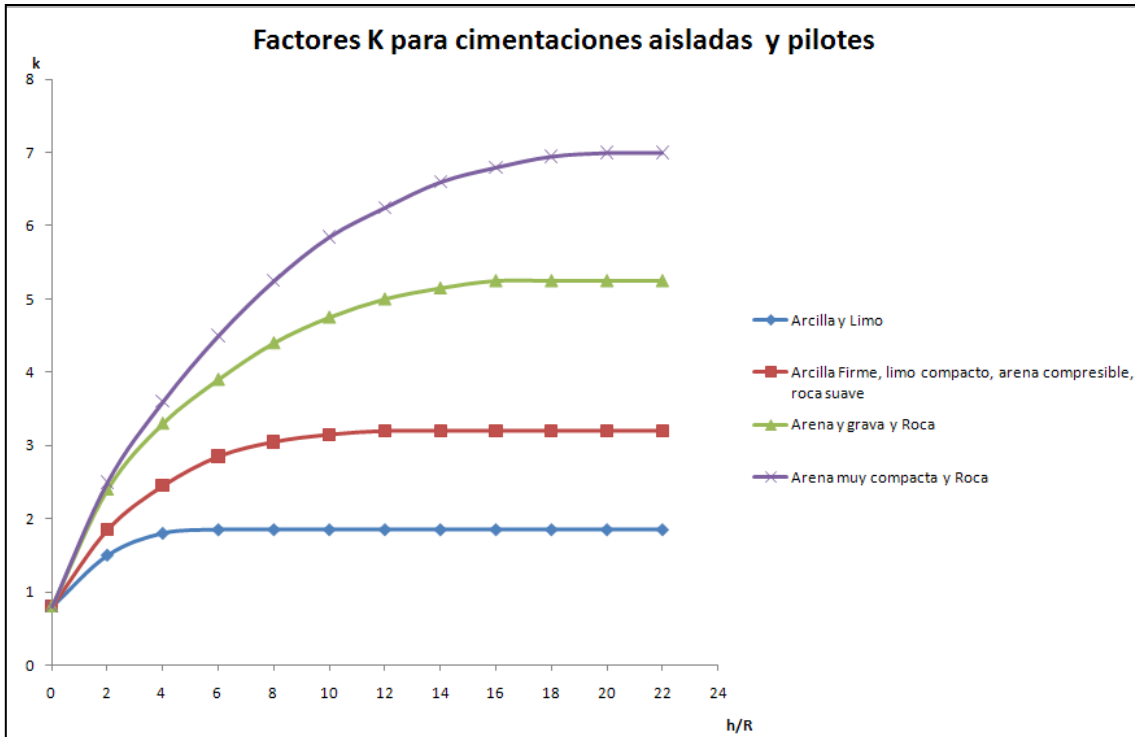
γ'= peso unitario sumergido del suelo (kg/m³)

K₀= coeficiente para la presión horizontal en reposo

p_L-h= presión límite no corregida (kg/cm²)

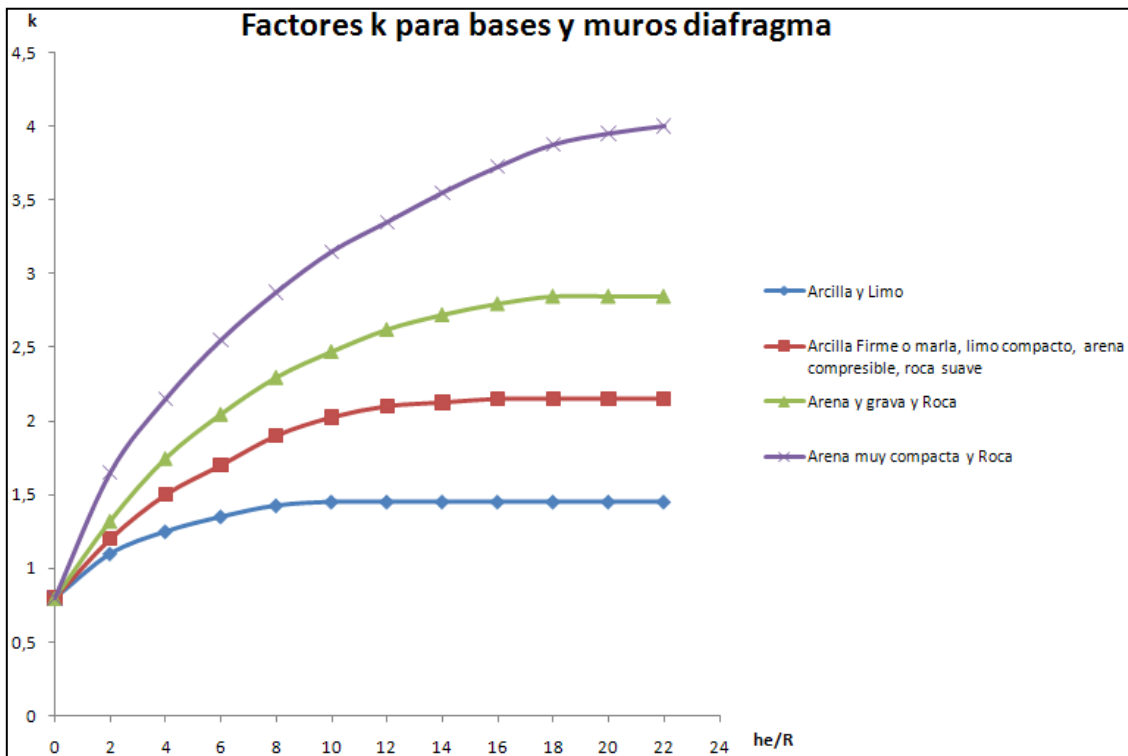
La presencia del agua influye en los resultados referidos al presiómetro, debido a que provoca incrementos en el coeficiente E₀/p_L del suelo. Un suelo seco se caracteriza por tener una relación de E₀/p_L = 20, sin embargo si está saturado puede sufrir decrementos de hasta 40% del valor de E₀. Este fenómeno debe ser tomado en cuenta cuando se trata de suelos de baja permeabilidad o situados en áreas expuestas a inundaciones o altas variaciones del nivel de agua (**Roctest, 1983**).

Cuando en el perfil geotécnico se determina la presencia de agua freática se aconseja realizar el análisis para (p_L-u₀), la cual sería la presión límite efectiva, siendo así que si el suelo está saturado u₀ sería la presión de poros.



EXCEL 2007

Figura 11. Factores k para cimentaciones aisladas y pilotes (Ménard, 1975).



EXCEL 2007

Figura 12. Factor k para cimentaciones corridas y muros diafragma (Ménard, 1975).

CUADRO 3. RANGOS DE PRESIÓN LÍMITE PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DE SUELO (Ménard, 1975)

Rangos de presión límite (kPa)	Tipo de suelo	Categoría del suelo
0-1200	Arcilla	Categoría I
0-700	Limo	
1800-4000	Arcilla firme o marla	Categoría II
1200-3000	Limo compacto	
400-800	Arena compresible	
1000-3000	Roca suave	Categoría III
1000-2000	Arena y grava	
4000-10000	Roca	Categoría IIIA
3000-6000	Arena muy compacta y grava	

EXCEL 2007

Los gráficos anteriores presentan los valores de k, estos van en función de la profundidad de desplante del cimiento para un suelo homogéneo, para el empotramiento equivalente cuando se trata de varios tipos de suelos, o bien, para el desplante crítico, el cual es el mínimo desplante que debe tener un cimiento para que cumpla con la capacidad de soporte que brinda el suelo, este empotramiento crítico depende prácticamente del tipo de suelo y de la forma del cimiento (Ménard, 1975).

Nótese que los valores de k mostrados en las Figuras 11 y 12 incrementan respecto al empotramiento del cimiento hasta tomar un valor asintótico característico de fundaciones profundas (Ménard, 1975).

El menor valor leído en estos nomogramas corresponde a fundaciones superficiales y es de 0,8; no obstante, en el cuadro 4 se tabulan los mayores valores de k, los cuales vienen dados por desplantes mayores que el empotramiento crítico del cimiento:

CUADRO 4. VALORES MÁXIMOS DE K (Ménard, 1975)			
Categoría del suelo	Pilote pre-excavado	Pilote empotrado	Cimentaciones corridas
I	1,8	2,0	1,4
I	3,2	3,6	2,1
III	5,2	5,8	2,9
IIIA	7,0	9,0	4,0

EXCEL 2007

Factor de seguridad

Los valores del factor de seguridad en Costa Rica están dados por el Código de Cimentaciones, estos se le aplican a la capacidad soportante del suelo y por lo consiguiente se obtiene una capacidad admisible (Ménard, 1975):

$$q_L = q_0 + \frac{k(p_L - p_0)}{FS} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde

k= factor de carga que varía de 0,8 a 9,0 de acuerdo a la geometría de la fundación y tipo de suelo (ver Figuras 11 y 12)

q₀= presión de sobrecarga en la periferia del nivel de fundación (kg/cm²)

p₀= presión horizontal en reposo al nivel donde se ejecuta el ensayo (kg/cm²)

FS= factor de seguridad

El PMT es un ensayo de corto plazo; no obstante, si se desea utilizar los resultados en condiciones de construcción de largo plazo se recomienda reducir la presión límite un 20% para obtener el valor de capacidad de soporte, esto en caso de tratarse de cimentaciones superficiales, ya que cuando se trata de suelos cohesivos se reducen las propiedades mecánicas de los suelos (Ménard, 1975).

Análisis de suelo heterogéneo con PMT

Una vez que se hayan hecho los estudios correspondientes, es decir, las clasificaciones de suelo, la caracterización, entre otros y se determine que el perfil geotécnico está compuesto por varias capas de suelo a una profundidad menor que el desplante de fundación, se hace un análisis para condiciones de suelos heterogéneos.

Para estos cálculos no se utiliza la presión límite sino más bien la presión límite equivalente y profundidad de desplante equivalente.

Presión límite equivalente

La presión límite equivalente se define como los valores de presión límite obtenidos cerca del nivel de fundación (**Ménard, 1975**):

$$p'_{le} = \sqrt[3]{p'_{L1} * p'_{L2} * p'_{L3}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde²:

p'_{le} = presión límite equivalente (kg/cm²)

p'_{L1} = valores medidos en la sección +3R a +R sobre el nivel de fundación (kg/cm²)

p'_{L2} = valores medidos en la sección de +R a -R (kg/cm²)

p'_{L3} = valores medidos en la sección de -R a -3R (kg/cm²)

R= radio o mitad del ancho del cimiento (m)

En el caso de fundaciones poco profundas los valores de p'_{L1} no se toman en cuenta y la presión límite equivalente se convierte en (**Ménard, 1975**):

$$p'_{le} = \sqrt{p'_{L2} * p'_{L3}} \quad \text{Ecuación 20}$$

La p'_{L1} no se considera en cimentaciones superficiales porque la sección a evaluar (de +3R a +R) es posible que no sea menor que el desplante propuesto.

Como regla se tiene que p'_{L1} , p'_{L2} , y p'_{L3} no deben ser diferente de $\pm 30\%$ de p'_{le} , es decir, si $\frac{p'_{Li} - p'_{le}}{p'_{le}} > 30\%$, se aconseja examinar el

² El signo (+) corresponde a las profundidades que están sobre la fundación.

problema más a fondo, ya que puede haber errores en los cálculos. También se recomienda graficar p'_{le} en función del desplante de la fundación antes de usar los resultados obtenidos (**Ménard, 1975**).

Desplante equivalente

El desplante equivalente del suelo se puede calcular aplicando la siguiente ecuación (**Ménard, 1975**):

$$h_e = \frac{1}{p'_{le}} \int_0^h p'_L(z) dz \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

h_e = desplante equivalente (m)

h = profundidad de cada estrato (m)

p'_{le} = presión límite equivalente (kg/cm²)

Para los cálculos realizados en este trabajo se toma que el desplante equivalente es el mismo que el desplante de cada fundación, esto porque se trata de placas aisladas y en un suelo homogéneo.

Cálculo para cimentaciones vecinas

La presencia de fundaciones vecinas tiene una influencia favorable en la capacidad de soporte, mientras estas no se encuentren muy cercanas entre sí.

Para fundaciones poco profundas o cimientos aislados pero formando un grupo, el factor k es limitado por la siguiente relación (**Ménard, 1975**):

$$k < 1 + \frac{L}{R} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

R= radio de la fundación (m)

L= separación entre el nuevo cimiento y la cimentación vecina (m)

No obstante esta condición sólo es efectiva si $\frac{L}{R} \leq 2$.

Análisis de cimentaciones cargadas excéntricamente

Los esfuerzos del suelo dependen de las condiciones de carga que le llegan al suelo, Usualmente se representan como un trapecio o triangulo, la altura de estos esfuerzos se le denomina como carga mínima (q_{min}) en un lado y carga máxima (q_{max}) en el otro.

La falla de un cimiento puede ocurrir ya sea por un hundimiento en la base, o bien, por una zona de falla localizada en la zona más cargada debido a cargas inclinadas. Se conoce con seguridad dos condiciones que pueden satisfacer estos casos (**Ménard, 1975**):

- La estabilidad general se asegura si:

$$\frac{q_{min}+q_{max}}{2} < q_a \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

q_a = capacidad de soporte admisible para fundaciones que se asumen uniformemente cargadas (kg/cm^2)

- La estabilidad contra fuerzas inclinadas se asegura si:

$$q_{max} \leq 1,5q_a \quad \text{Ecuación 24}$$

Esta segunda relación se basa en una simplificación, la cual es solo válida para desplante relativo (h/R) mayor que 1, de no ser así se debe realizar un nuevo cálculo de la capacidad de soporte para una fundación imaginaria, misma que soporta un tercio de carga de la fundación real. El empotramiento para la parte de la fundación imaginaria debe ser afectado por el factor k obtenido de la geometría real (**Ménard, 1975**).

Asentamientos

Un correcto análisis de los asentamientos puede indicar claramente las zonas que merecen conocer más detalles para garantizar la eficiencia de los diseños. Realizar pruebas con el presiómetro y relacionarlos con las condiciones geológicas del sitio puede ser una herramienta

ideal para determinar las causas locales de asentamientos en el sitio a cimentar.

La teoría de Ménard plantea que los asentamientos no incrementan directamente proporcional al ancho de la fundación como propone la teoría elástica. No obstante, la relación entre el asentamiento y las dimensiones de la estructura dependen del tipo del suelo y estructura.

El comportamiento no lineal del suelo puede ser representado usando la teoría elástica, en la cual el módulo de compresión volumétrica y el módulo por cortante son relacionados por un factor empírico, mismo que depende del tamaño del grano y de los esfuerzos que haya sufrido el suelo en su historia, en este caso el asentamiento que sufre la fundación es directamente proporcional al ancho de la fundación y al coeficiente α (**Ménard, 1975**):

$$s = fR^\alpha \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

R = radio o mitad del ancho del cimiento (m)

α = depende del tipo de suelo y E_o/p_L (ver cuadro 6).

Es posible calcular el asentamiento “ s ” para cada ensayo usando la ecuación 26, la cual toma en cuenta el decrecimiento de los esfuerzos y variaciones del módulo con el desplante castigándolo con un factor de peso. Para este análisis el suelo debe dividirse en capas de 1m de espesor, excepto la primera, la cual debe ser de 50cm de espesor (**Ménard, 1975**):

$$s = \sum_{i=0}^{i=\infty} \frac{w_i}{E_i} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

E_i = módulo dado por el presiómetro a un desplante i

w_i = factor de peso que se encuentra al mismo desplante i (los valores se pueden tomar del cuadro 5).

CUADRO 5. VALORES DE w_i (Ménard, 1975)

Desplante (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Arena	11,0	10	5,3	3,7	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9	0,7	0,5	0,45
Aluvión	16,0	13	7,8	5,8	4,6	3,5	2,8	2,2	1,7	1,4	1,1	0,90
Arcilla	21,0	18	10,3	7,5	6,0	5,0	4,0	3,3	2,8	2,3	1,9	1,60
Relleno	34,5	30	18,0	15,0	13,3	11,6	10,0	8,6	7,3	6,3	5,5	4,70
Desplante (m)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21-22	23-24	25
Arena	0,4	0,4	0,35	0,35	0,30	0,3	0,25	0,25	0,25	0,2	0,20	0,2
Aluvión	0,8	0,7	0,65	0,60	0,55	0,5	0,50	0,45	0,45	0,4	0,35	0,3
Arcilla	1,4	1,2	1,10	1,00	0,90	0,8	0,70	0,65	0,65	0,6	0,55	0,5
Relleno	4,1	3,5	3,10	3,10	2,30	2,1	1,90	1,70	1,60	1,5	1,50	1,4

EXCEL 2007

En la mayoría de los suelos el asentamiento se obtiene al nivel del cimiento, por lo tanto es necesario especificar el desplante seleccionado para el cálculo del mismo. Una vez determinado este valor se escoge el valor de w_i del cuadro 5, los valores de w_i son específicos para cada desplante y son obtenidos mediante sondeos (Ménard, 1975).

El asentamiento bajo una fundación es debido a las cargas aplicadas a la fundación, este asentamiento evalúa dos deformaciones diferentes:

- Deformación volumétrica.
- Deformación por cortante.

Ambas condiciones son diferentes. La deformación volumétrica corresponde al asentamiento inmediato bajo la base de la fundación y la deformación por cortante se trata del asentamiento que se da en el desplante igual a la mitad de ancho de la fundación (Ménard, 1975).

La deformación por cortante es dominante en cimentaciones superficiales o en

pilotes aislados, mientras que la deformación volumétrica predomina en grupos de fundaciones. Con estas descripciones se dice que el primer término de la ecuación 27 corresponde a la deformación volumétrica y el segundo a la deformación por cortante.

La fórmula general para asentamientos en fundaciones aisladas (Ménard, 1975):

$$s = \frac{1,33}{3E} p R_0 \left(\lambda_2 \frac{R}{R_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{4,5E} p \lambda_3 R$$

Ecuación 27

Donde:

E= módulo presiométrico del suelo, asumiendo que es homogéneo (kg/cm^2)

p= incremento de esfuerzo entre el suelo y el cimiento (kg/cm^2)

R_0 = longitud de referencia 30cm

α = coeficiente que vaía según la naturaleza del suelo y el coeficiente E_0/p_L obtenido del ensayo y tomado del cuadro 6:

CUADRO 6. FACTORES α (Ménard, 1975)

Tipo de material	Turba		Arcilla		Aluvión		Arena		Arena y Grava	
	E_0/p	α	E_0/p	α	E_0/p	α	E_0/p	α	E_0/p	α
Sobre-consolidado			>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normalmente consolidado		1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Meteorizados o alterados			7-9	1/2		1/2		1/3		1/4

EXCEL 2007

Es importante mencionar que los suelos pueden ser alterados por deslizamientos durante la excavación, o bien, por acción del agua; por lo tanto, los valores α dados en este caso son provisionales, estos valores son ligeramente conservadores por ello se recomienda ser revisados por otros resultados experimentales (Ménard, 1975).

Los factores λ_2 y λ_3 son coeficientes de forma, los cuales van en función de la longitud y el radio de la fundación, estos valores se tabulan en el cuadro 7:

CUADRO 7. VALORES DE λ_2 Y λ_3 (Ménard, 1975)						
L/2R	1		2	3	5	20
	Circulo	Cuadrado				
λ_2	1,00	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65
λ_3	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50

EXCEL 2007

Conociendo estos valores el asentamiento se puede obtener con la ecuación 27, tomando en cuenta que el primer término representa la deformación volumétrica y el segundo término compete a la deformación por cortante. Esta ecuación funciona si $R > 30\text{cm}$, sino es así se debe utilizar (Ménard, 1975):

$$s = \frac{1,33}{3E} p \lambda_2^\alpha + \frac{\alpha}{4,5E} p \lambda_3 R$$

Ecuación 28

Las ecuaciones 27 y 28 son aplicables para fundaciones empotradas en un desplante de al menos un diámetro ($h=2R$). De otra manera "s" debe ser incrementado un 10% para $h=R$ y 20% para $h=0$ (Ménard, 1975).

Las ecuaciones 27 y 28 son para casos de suelos homogéneos, pero en casos donde se presentan suelos variables, hay diferencia en los valores del módulo presiométrico, ya que éste varía respecto a la profundidad en la mayoría de los tipos de suelo.

Para el caso de suelos variables es posible utilizar la ecuación 27, no obstante se debe tener en cuenta la corrección de módulos, según corresponda a módulo E_A o E_B , según indican las ecuaciones 27 y 28.

La metodología correspondiente hace que se divida el suelo en capas cuyo espesor es

R (ver Figura 13), para esto, el módulo equivalente viene dado por (Ménard, 1975):

$$E_B = \frac{E_A = E_1}{4} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}} + \frac{1}{2,5E_{6/7/8}} + \frac{1}{2,5E_{9-16}} \right)$$

Ecuación 30

Donde:

E_B = promedio armónico del módulo entre las capas 1 a 16.

Con esto el asentamiento resulta ser (Ménard, 1975):

$$w = \frac{1,33}{3E_A} p R_0 \left(\lambda_2 \frac{R}{R_0} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{4,5E_B} p \lambda_3 R$$

Ecuación 31

Note que el factor α puede ser diferente en los dos términos, esto depende del material existente en cada zona.

Si E_{9-16} es desconocido entonces se asume (Ménard, 1975):

$$E_B = \frac{3,6}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}} + \frac{1}{2,5E_{6/7/8}}}$$

Ecuación 32

Y si $E_{6/7/8}$ es desconocido entonces (Ménard, 1975):

$$E_B = \frac{3,2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}}$$

Ecuación 33

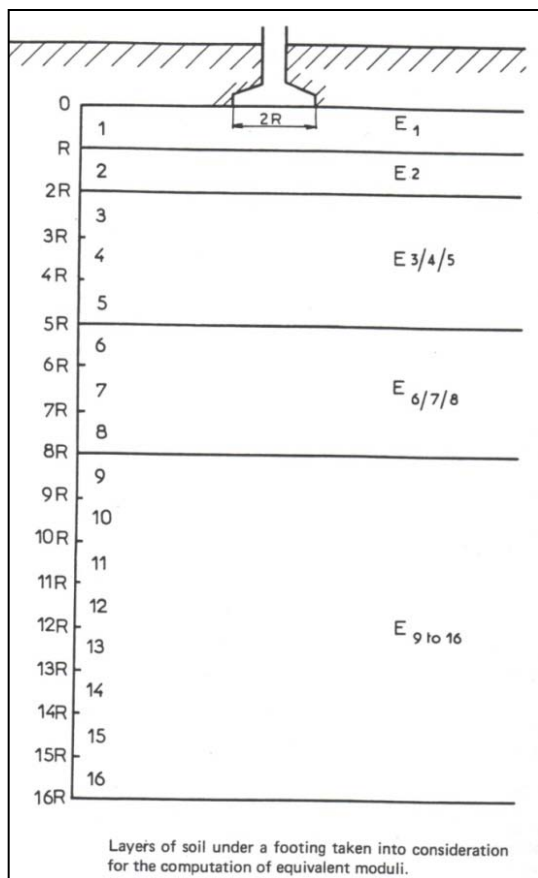


Figura 13. Subdivisión de las capas de suelo para determinar los módulos equivalentes (Ménard, 1975).

Otros parámetros

En la literatura se ha encontrado que a pesar de que los resultados más importantes son los parámetros aplicables a la capacidad soportante y los asentamientos, también otro tipo de parámetros pueden obtenerse a partir de un ensayo presiométrico.

A continuación se hace un resumen de cada uno de estos parámetros.

Coefficiente k_0

El coeficiente k_0 es el que se utiliza para obtener la presión horizontal en reposo, y se denomina coeficiente de empuje lateral en reposo, a pesar de que en este trabajo se recomiendan valores, es importante conocer que la teoría del presiómetro indica su propia forma de calcularlo.

Este coeficiente k_0 puede ser obtenido al inicio de la curva presiométrica, ya que el único esfuerzo que existe al inicio del ensayo es la presión horizontal en descanso p_0 (Briaund, 1992).

En estos casos como el hueco es perforado, las paredes del mismo se mueven hacia adentro de la perforación, esto tiende a producir fuerzas horizontales bajas. Después de perforado el agujero y antes de insertar e inflar la probeta, las paredes de la perforación son empujadas y tienden a cerrarse para ubicarse en su posición original. Por lo tanto se sostiene que p_0 se encuentra desde la parte inicial de la curva hasta su punto máximo (máxima curvatura) en el rango inicial. Se supone que antes del punto A (ver Figura 10), el suelo es recomprimible y después de éste el suelo es forzado, por lo cual presenta un comportamiento virgen o un comportamiento nunca antes experimentado (Briaund, 1992).

Al preparar la perforación se da una transición entre la recompresión y el comportamiento virgen del suelo, si la perforación no es alterada la transición es progresiva y brinda un buen inicio de curva (redondeado) para el cual es difícil obtener un punto máximo en la curvatura (Briaund, 1992).

Una forma para determinar el punto A es graficar los datos de presión de ensayo vrs log $(\Delta R/R_0)$ (Briaund, 1992).

Así, la presión correspondiente al punto A es p_0 (la presión horizontal en descanso). Y el coeficiente k_0 se obtiene a partir de (Briaund, 1992):

$$k_0 = \frac{p_0 - u_0}{q_0 - u_0} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde

q_0 = fuerza total vertical (kg/cm^2)

u_0 = presión de poros (kg/cm^2)

Los valores de q_0 y u_0 son calculados con los datos del desplante, el peso volumétrico y el nivel de agua correspondientes.

Deformación radial

Es importante recordar que la probeta sufre deformación cuando se le inyecta presión y volumen a las respectivas celdas. Por lo tanto, analizar un poco la deformación radial que sufre la misma se considera importante.

Si el volumen desinflado en la probeta es V_0 y L es la longitud de la porción inflable de la probeta, el radio inicial de la probeta es **(Briaund, 1992)**:

$$R_0 = \sqrt{\frac{V_0}{\pi L}} \quad \text{Ecuación 35}$$

Si el incremento de volumen de la probeta es v_c , el incremento del radio de la probeta es **(Briaund, 1992)**:

$$\Delta R = \sqrt{\frac{V_0+v_c}{\pi L}} - \sqrt{\frac{V_0}{\pi L}} \quad \text{Ecuación 36}$$

Por lo tanto, el incremento relativo en el radio de la probeta es **(Briaund, 1992)**:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \sqrt{\frac{V_0+v_c}{V_0}} - 1 \quad \text{Ecuación 37}$$

Calculadas las ecuaciones 35, 36 y 37, para determinar el volumen inicial de la cavidad del suelo se toma el segmento BC (ver Figura 10). En una extensión de la línea BC el punto de intersección con A es D, la abcisa de D es $(\Delta R/R_0)_c$ y corresponde al volumen inicial de la cavidad V_c **(Briaund, 1992)**:

$$V_c = \pi L \left(R_0 + \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c R_0 \right)^2 = V_0 \left(1 + \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c \right)^2 \quad \text{Ecuación 38}$$

Por lo tanto el radio inicial de la cavidad R_c es **(Briaund, 1992)**:

$$R_c = \sqrt{\frac{V_c}{\pi L}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Y el incremento del radio en la cavidad es **(Briaund, 1992)**:

$$\Delta R_c = \sqrt{\frac{V_0+v_c}{\pi L}} - \sqrt{\frac{V_c}{\pi L}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Al relacionar esas ecuaciones, se tiene que la deformación radial de la probeta, por definición es **(Briaund, 1992)**:

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{\Delta R}{R_0} \quad \text{Ecuación 41}$$

O en términos del incremento relativo y el radio de la probeta $\Delta R/R$ **(Briaund, 1992)**:

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_3 - \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c}{1 + \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c} - \frac{\left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_4 - \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c}{1 + \left(\frac{\Delta R}{R_0} \right)_c} \quad \text{Ecuación 42}$$

La definición de $\varepsilon_{\theta\theta}$ de la ecuación 41 aplica para casos de pequeños esfuerzos, para grandes esfuerzos se calcula como **(Briaund, 1992)**:

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_c}{V_c} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde ΔV_c es el incremento de volumen en la cavidad del suelo, por lo tanto para altos esfuerzos **(Briaund, 1992)**:

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{2} \frac{V_0+v_c-V_c}{V_c} \quad \text{Ecuación 44}$$

Resistencia al corte no drenada para suelos cohesivos

En el estudio de los suelos finos, la resistencia al corte no drenada es de los parámetros más importantes, ya que con ella se pueden realizar variedad de cálculos para generar diseños aplicando la mecánica de suelos.

Para el ensayo presiométrico existe diversidad de formas para obtener el esfuerzo no drenado de suelos cohesivos, entre los métodos más destacados se mencionan: el método de la presión límite, correlaciones empíricas, el método de rendimiento de presión, el método de Gibson-Anderson y el método de la curva de cortante.

El método de presión límite y correlaciones empíricas

El método de presión límite se hace utilizando expresiones teóricas de la presión límite **(Briaund, 1992)**:

$$p_L = p_0 + C_u \left(1 + Ln \frac{G}{c_u} \right) \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

p_L = presión límite (kg/cm²)

p_0 = esfuerzo horizontal en reposo total (kg/cm²)

G = módulo de cortante del suelo (kg/cm²)

C_u = resistencia al corte no drenada (kg/cm²)

Dicha ecuación puede reescribirse de la siguiente manera (Briaund, 1992):

$$C_u = \frac{p'_L}{\beta} \quad \text{Ecuación 46}$$

Para esta ecuación Briaund propone que β sea tomado como 6,5. De hecho β depende del módulo de cortante del suelo sobre la resistencia al corte no drenada G/C_u y varía de un suelo a otro. Algunos valores prudentes para esta razón pueden estar entre 100 y 600. Esto conduce a obtener valores de β entre 5,6 y 7,4 para un promedio de 6,5 (Briaund, 1992).

Se recomienda reescribir la ecuación 46 de la siguiente manera (Briaund, 1992):

$$\frac{C_u}{p_a} = 0,21 \left(\frac{p'_L}{p_a} \right)^{0,75} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde

p_a = presión atmosférica (kg/cm²)

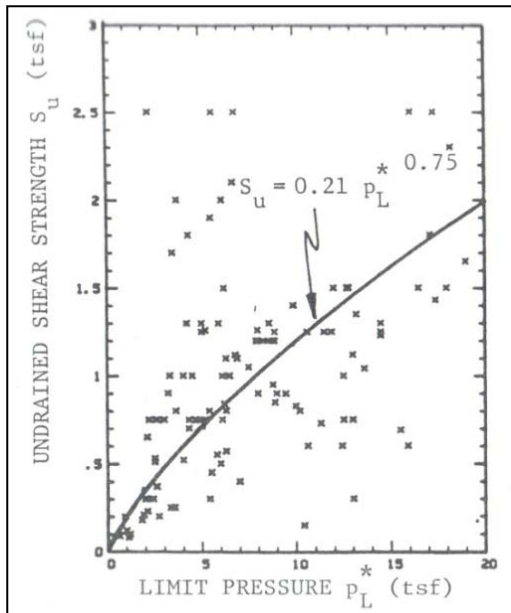


Figura 13. Correlaciones empíricas (Briaund, 1992).³

³ Aplica la conversión de unidades explicada en la Figura7.

También mediante métodos empíricos o correlaciones a partir de la presión límite es posible obtener la resistencia al corte no drenada del suelo, las ecuaciones correspondientes para este caso son (Devincenzi & Frank, 1995):

Para $p_L - p_0 < 300$ kPa:

$$C_u = \frac{p_L - p_0}{5,5} \quad \text{Ecuación 48}$$

Para $p_L - p_0 > 300$ kPa:

$$C_u = \frac{p_L - p_0}{10} + 25 \quad \text{Ecuación 49}$$

En realidad nótese que son las mismas descritas en la explicación anterior, la diferencia varía en el rango de p'_L .

Además, dentro de las correlaciones empíricas es posible mencionar la del autor Braja Das (1999):

$$C_u = \frac{p_L - p_0}{N_p} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

$$N_p = 1 + \ln \left(\frac{E_p}{3C_u} \right)$$

$$\text{Para arcillas: } E_p \text{ (kN/m}^2\text{)} = 1930 N_F^{0,63}$$

$$\text{Para arenas: } E_p \text{ (kN/m}^2\text{)} = 908 N_F^{0,66}$$

N_F = número de penetración estándar de campo

Sin embargo, véase que éstas últimas son una simplificación de las anteriores.

Método de rendimiento de presión

Con el fin de obtener relaciones para expresiones teóricas para presión de fluencia (p_f), se tiene (Briaund, 1992):

$$p_f = p_0 + C_u \quad \text{Ecuación 51}$$

$$C_u = p_f - p_0 \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde

p_f y p_0 son obtenidos de la curva del presiómetro (ver figura 6)

Este método no es recomendado porque según la referencia citada se da una sobreestimación del valor real de la resistencia al corte no drenada, esto porque posiblemente p_f es

determinada para altos valores de la curva presiométrica o bien porque p_0 puede ser sobreestimado.

El método de Gibson-Anderson

El método de Gibson-Anderson se basa en la expresión teórica de la curva del presiómetro después de la presión de fluencia (**Briaund, 1992**):

$$\sigma_{rr} = p_f + C_u \ln \left(\frac{G}{C_u} \times \frac{\Delta V}{V} \right)$$

Ecuación 53

Donde

σ_{rr} = presión corregida del presiómetro (kg/cm²)

p_f = presión de fluencia (kg/cm²)

C_u = resistencia al corte no drenada (kg/cm²)

G = módulo de cortante del suelo (kg/cm²)

ΔV = incremento en la cavidad volumétrica (cm³)

V = volumen real en la cavidad del suelo (cm³)

La ecuación puede reescribirse de la siguiente manera (**Briaund, 1992**):

$$\sigma_{rr} = p_f + C_u \left(\ln \left(\frac{G}{C_u} \right) + \ln \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \right)$$

Ecuación 54

La C_u se obtiene al graficar σ_{rr} contra $\log(\Delta V/V)$ y proyectando una línea recta para los puntos de la curva después de darse p_f , la pendiente de la curva corresponde a C_u (**Briaund, 1992**).

Método de la curva cortante

La curva del método de cortante se basa en la obtención de los esfuerzos cortantes de la curva corregida del presiómetro. La ecuación resultante del análisis conduce a una solución gráfica, la cual es llamada como el método de subtangente. Para obtener el esfuerzo de cortante a partir de la curva, el punto más alto de dicha curva corresponde a C_u . Este método no es recomendado para perforaciones previamente realizadas ya que brinda altos valores de C_u , esto se debe principalmente a la combinación de curvaturas que presenta la curva (**Briaund, 1992**), es decir, inicialmente la curva presiométrica muestra tendencia de concavidad hacia abajo (donde se da la recompresión del

suelo) y luego viene una parte plana, la cual en realidad es otra curva con concavidad hacia arriba.

Ángulo de fricción para suelos cohesivos

En la mecánica de suelos se conoce que por lo general se obtiene el ángulo de fricción para suelos granulares, y se dice que el valor de este parámetro para suelos cohesivos, saturados y en presencia de falla rápida, tiende a ser cero. No obstante, se debe reconocer que no es así. Para el caso del ensayo presiométrico la literatura explica varios métodos para este tipo de cálculos, sin embargo se dice que ninguno es recomendable, por lo tanto, en este trabajo no se incluye estos cálculos, además de que tampoco se obtiene el ángulo de fricción interna de otros ensayos de laboratorio para poder tener noción de su vialidad o dispersión.

Dentro de los métodos existentes se puede mencionar; el método de la presión límite y correlaciones empíricas, el método de presión de fluencia, el método de Hughes-Wroth-Windle.

Método de presión límite y correlaciones empíricas

El método de presión límite hace uso de expresiones teóricas para presiones límites efectivas (**Briaund, 1992**).

$$p'_L = p'_o (1 + \text{seno} \phi') \left(\frac{G}{p'_o \text{seno} \phi'} \right)^{\frac{1}{2}(1-k_a)}$$

Ecuación 55

Según la referencia citada este método no es usado ya que presenta muchas deficiencias en relación con el valor de p'_L obtenido, esto si el suelo no está 100% saturado.

Método de presión de fluencia

El método de la presión de fluencia hace uso de expresiones teóricas de presiones efectivas de fluencia (**Briaund, 1992**).

$$p'_f = p'_o (1 + \text{seno} \phi')$$

Ecuación 56

Donde

p'_{0} = presión efectiva horizontal (kg/cm²)
 p'_f = presión efectiva de fluencia (kg/cm²)

Este método es poco usado ya que es difícil de determinar p'_f con suficiente precisión para dar valores reales de Φ' (Briaund, 1992).

Método Hughes-Wroth-Windle para calcular el ángulo de fricción

El método de Hughes-Wroth-Windle toma en consideración la dilatación de los suelos cohesivos. El método se basa en expresiones teóricas de la curva presiométrica una vez pasada la presión de fluencia (Briaund, 1992).

$$\log\left(\frac{\Delta R_c}{R_c} + \frac{C}{2}\right) = A \quad \text{Ecuación 57}$$

$$A = \left(\frac{k_{pasivo}(1 - \text{seno}\Phi') + 1 + \text{seno}\Phi'}{2\text{seno}\Phi'}\right) \log(p - u_0) + Q \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

R_c = radio inicial de la cavidad (cm)
 ΔR_c = es el cambio de radio en la cavidad (cm)
 C =intercepción de la curva volumétrica versus el cortante
 p = presión total dada por el presiómetro (kg/cm²)
 u_0 = presión de poros (kg/cm²)
 Φ' = ángulo de fricción efectivo

$$k_{pasivo} = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\Phi_{CV'}}{2}\right) \quad \text{Ecuación 59}$$

Donde

$\Phi_{CV'}$ =ángulo de fricción en el volumen constante

Es importante mencionar que esta técnica fue desarrollada para presiómetros autoperforantes y aún no se prueba en presiómetros sencillos.

Para este parámetro Ménard propuso una correlación empírica la cual se muestra en la Figura 15.

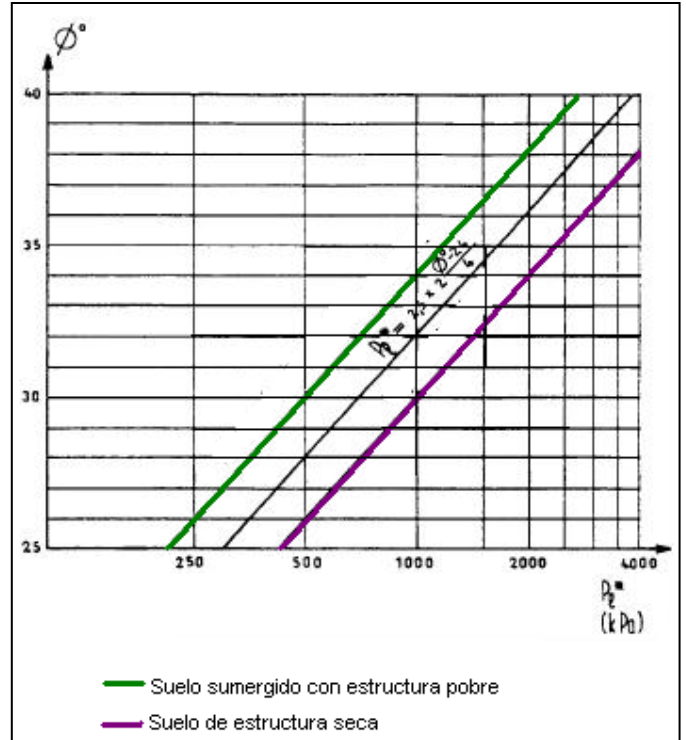


Figura 15. Cálculo del ángulo de fricción interna (Devincenzi & Frank, 1995).

Metodología

Este proyecto comenzó con la revisión de la literatura existente en el ICE, respecto al manual de operación del equipo, partes, operación interna, entre otros. Luego se tuvo la posibilidad de entrar en contacto con el equipo para aprender a nivel práctico su uso, además fue necesario probar las probetas y el funcionamiento del aparato para corroborar que este se encontraba en perfecto estado. Durante este proceso se hicieron varias pruebas en el laboratorio de la calibración al aire y en el tubo rígido de dos probetas, una de 58mm y otra de 70mm. Mientras se ejecutaban los ensayos las membranas de ambas probetas explotaron por la inyección de volumen y presión, por lo cual hubo la necesidad de cambiarlas, y volverlas a calibrar para corroborar su nuevo y buen estado.

En esta sección se hace una especie de manual de uso en campo del presiómetro Ménard, es decir, los cuidados, recomendaciones, entre otras observaciones que se consideran de ayuda para realizar ensayos presiométricos. En general, esta sección se crea con las recomendaciones leídas en la literatura, observaciones en campo y recomendaciones dadas por los técnicos que colaboraron. Entre los puntos a destacar es la forma de realizar las calibraciones respectivas, saturación del equipo, principios de uso del equipo, preparación de la perforación, además de los métodos más usados, la correcta posición en que debe colocarse la probeta para obtener resultados precisos, la importancia del ajuste de la presión diferencial, entre otros.

A manera explicativa se indican los procedimientos a llevar a cabo para la calibración del equipo.

Calibración del equipo

El presiómetro Ménard es un equipo que debe ser calibrado en laboratorio antes de su uso en campo. En el manual del equipo y en la norma

ASTM D4719-07 titulada “Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils” (ASTM, 2007) explica la forma correcta de realizar la calibración.

La curva presión contra volumen depende del tipo de suelo que se esté ensayando y del diámetro de la perforación; no obstante, en todos los procesos es posible perder presión y volumen, por ello son necesarias estas calibraciones.

Llenado de la unidad de control y saturación del sistema

La primera fase de esta operación consiste en llenar y saturar la unidad de control y el tubo central del tubo coaxial. El llenado de la unidad de control debe ser con agua destilada o con antifreeze, y es preferible que se realice al nivel de piso. La saturación del sistema por su parte, se verifica cuando dejan de salir las burbujas de aire del tubo central del tubo coaxial.

Es importante realizar la revisión de la saturación del sistema después de los siguientes casos:

- Cuando el circuito del agua ha estado sujeto a vacío, esto se puede notar si la probeta ha estado muy profunda o en un hueco seco (Baguelin, 1978).
- En caso de que la presión en el sistema haya sido relajada de pronto (Baguelin, 1978), es decir, que haya ocurrido un error en la operación del equipo durante el ensayo o que la probeta haya estallado, situaciones en las que se tiene que desconectar el equipo de manera rápida y cerrando todas las válvulas que permitan el paso de agua o gas.

Cuando la saturación de la unidad de control y del tubo central es alcanzada, se procede a la segunda fase, que es donde se llena y satura la probeta.

Saturación y revisión de las fisuras en la probeta

Este procedimiento se emplea en los presiómetros que se utilizan en agujeros previamente perforados. Para este tipo de sistemas el primer paso es saturar por completo el aparato: la probeta, el tubo y la unidad de control. Esto se realiza purgando el equipo, haciendo que el agua pase a través del sistema de mangueras, aquí es donde se verifica la existencia o ausencia de fisuras en las mismas. El procedimiento de esta práctica es introducir la probeta desinflada en un tubo rígido. El diámetro interno de este tubo debe estar cercano a 1,005 veces el diámetro externo de la probeta (**Baguelin, 1978**), esto con el fin de que las paredes de la probeta queden ajustadas a las paredes del tubo y no haya una expansión indebida de la probeta, es decir, se dé una saturación incorrecta de la probeta. Las paredes de este tubo deben ser lo suficientemente gruesas para asegurarse que a altas presiones la deformación del tubo sea despreciable, por otro lado el tubo debe ser lo bastante largo para que cubra por completo la parte expandible de la probeta. Una vez que la probeta es introducida en el tubo se incrementa la presión, con esto se puede obtener una curva como se muestra en la Figura 7. En la primera fase la probeta comienza a estar en contacto con el tubo de acero. Luego, a mayor volumen se considera que se da un buen contacto entre la probeta y el tubo, una vez realizado esto es posible llevar la probeta hasta el mayor incremento de presión (cerca de 2500kPa).

Cabe destacar que este procedimiento se considera correcto para desairear y encontrar fisuras en el sistema.

Ensayos de calibración

Existen dos tipos de calibración del equipo, las cuales son:

- Calibración de la probeta realizada al nivel de superficie del terreno: se ejecuta al lado de la unidad de control de manera inconfiada para establecer las relaciones propias de la presión y el volumen, con este ensayo se mide la inercia de la probeta.

- La calibración de volumen del sistema completo, incluyendo la probeta, el tubo coaxial y la unidad de control, en este caso la probeta es confinada y se coloca en un tubo de acero, con esto se obtiene la relación de volumen-presión del sistema. Esta calibración mide la expansión volumétrica intrínseca de los componentes del presiómetro.

La primera calibración se aplica principalmente a suelos de baja a media rigidez, y la segunda se utiliza principalmente cuando el ensayo se ejecuta en suelos de alta rigidez, o bien, rocas blandas.

En el primer caso se puede necesitar de una presión relativa entre 100kPa a 300kPa para poder inflar la probeta hasta su máxima capacidad; no obstante, en el segundo caso se necesitan presiones altas de entre 3000kPa (dado este caso, el coeficiente para medir la deformación del sistema se calcula entre los 1000kPa y 3000kPa).

La combinación de la deformación del tubo coaxial, la unidad de control y la probeta es significativa a altas presiones del ensayo, pero en la mayoría de los suelos la deformación combinada es insignificante con respecto a la deformación total del suelo.

Es importante tener en cuenta que debe realizarse cualquiera de las calibraciones antes descritas cada vez que se trabaje bajo las siguientes condiciones (**Roctest, 1983**):

- Si la membrana o la funda son cambiadas, en este caso, antes de realizar la calibración por inercia es importante inflar y desinflar la probeta varias veces.
- Si la membrana o funda de protección son usadas en varios ensayos, ya que cualquiera de las dos puede estar dañada debido a la fatiga inherente del material con el tiempo.
- Si el tubo coaxial ha sido cambiado.
- Si la temperatura en el sitio de ensayo es sustancialmente diferente con respecto a la temperatura que prevalecía durante la última calibración.

Sin embargo, para obtener resultados representativos es preferible calibrar regularmente la probeta y aún mucho mejor si se calibra cada vez que se realiza un ensayo en campo.

Estableciendo el volumen cero de la probeta V_s

El volumen cero V_s de la probeta debe ser definido al inicio de cada ensayo, teniendo la probeta desinflada.

Luego de revisar la saturación y posibles fisuras del sistema, se desinfla la probeta, la presión decrece y el V_s de la probeta es definido, éste se conoce como el volumen alcanzado una vez que se pueda extraer la probeta con la mano del tubo o de la perforación. Este procedimiento se cumple sólo si la calibración en el tubo cumple con la explicación anterior. Alcanzado el V_s de la probeta el volumen leído es traído a cero en el reservorio, ya sea agregando o botando agua. Es conveniente no confundir este volumen con el V_0 descrito más adelante, ya que el volumen cero V_s es el requerido para mantener la probeta saturada, mientras que el V_0 es el volumen existente en la probeta desinflada.

El V_s es el volumen que en los ensayos en campo la probeta no devolverá, pues es necesario para mantener su saturación. Por lo tanto, en la mayoría de los casos lo que se hace es volver a llenar el reservorio para poner el nivel del menisco en cero. Claro, que si son varias pruebas en una misma perforación, para no dañar las paredes de la cavidad lo que se prefiere es mantener la probeta dentro del agujero, y así tomar como V_s la lectura de volumen leída en ese momento. Por ejemplo si la recuperación de volumen llega hasta 70cc en la primera prueba, entonces el volumen cero de la segunda prueba va a ser 70cc y no 0cc.

Correcciones de las curvas

Se conoce como curva virgen a aquella curva que se forma al graficar la presión y el volumen con los datos tomados en campo, sin embargo esta curva debe ser corregida para obtener la presión que realmente actúa contra las paredes de la cavidad del suelo y el incremento de volumen ocasionado en la probeta. Estas correcciones incluyen: correcciones por resistencia de la membrana, corrección debida a la presión hidrostática y corrección por la compresibilidad que se genera en el sistema.

Corrección por volumen

Es la misma que la corrección por la compresibilidad en el sistema. En el presiómetro se da una pérdida de volumen, esta pérdida se da mediante la expansión del tubo coaxial, la membrana de hule, la funda y las mangueras internas de la unidad de control, es decir, el agua a presión inyectada puede perderse en alguna de estas partes y por lo tanto no contabilizar para el volumen que se mide en el reservorio durante la ejecución del ensayo.

La calibración de la probeta en este caso se puede realizar en el laboratorio, insertando la probeta verticalmente dentro de un tubo rígido (casing). Es necesario que el diámetro del tubo sea constante para así poder medir el volumen lo más exacto posible. En este caso se recomienda que el diámetro del casing sea aproximadamente 0,1mm mayor que el diámetro de la probeta (**ASTM, 2007**), esto con el fin de lograr un buen ajuste entre probeta y casing. Durante el ensayo se va incrementando la presión para inflar la probeta hasta que ésta entre en contacto con las paredes internas del tubo, en este punto se asume que la probeta no puede inflarse más, por lo tanto no se genera más cambio de volumen en la probeta, esto quiere decir que el cambio de volumen registrado de ese punto en adelante corresponde a deformabilidad interna del presiómetro, lo cual produce una pérdida de volumen que debe considerarse en los datos del ensayo.

En esta corrección se supone que la expansión de las paredes del tubo bajo la presión aplicada es despreciable.

Con la curva de calibración resultante se debe obtener la corrección por volumen, mismo que viene dado por el trazo de una línea recta en la tendencia lineal (rango elástico) que toma la curva de calibración por deformabilidad del equipo, ambos puntos de esta nueva línea recta deben intersectarse con el eje de las ordenadas de la gráfica, es decir, hasta tener presión cero. Así, la pérdida de volumen del aparato es obtenida utilizando la siguiente ecuación (**ASTM, 2007**):

$$V_c = V_r - aP_r \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

V_c = volumen corregido (cm^3)

V_r = volumen registrado (cm^3)

a = pendiente de la línea recta de la curva de calibración

P_r = presión registrada (kg/cm^2)

Como regla general, la calibración por volumen debe realizarse cada vez que el presiómetro sufra un suceso importante, tal como, si se le cambiase alguna válvula, la funda de la probeta, transcurso del tiempo sin ser utilizado, entre otros.

Cálculo del volumen inicial V_0

El volumen V_0 es el volumen que existe en la celda central de la probeta a una lectura de cero volumen, es decir, es el volumen existente dentro de la probeta cuando ésta se supone desinflada, este volumen es alcanzado con la cantidad de agua inyectado dentro de la probeta y depende del tamaño de la probeta; por lo tanto el tamaño de dicha cavidad debe ser conocido para poder realizar los cálculos correspondientes de E_0 y p_L .

La lectura de volumen inicial a la presión atmosférica es diferente de cero, debido a que este depende de la resistencia y diámetro de la membrana y del nivel de la probeta con respecto a la unidad de control, esto se prueba descendiendo la probeta a la profundidad deseada y abriendo la válvula 9, con este movimiento el agua empieza a fluir hasta alcanzar el volumen correspondiente a la presión atmosférica del sitio.

Este volumen inicial V_0 se utilizará para los cálculos subsecuentes; V_0 deberá ser la cantidad teórica dada por la literatura (ver anexo 1), o bien, el calculado utilizando el diámetro del tubo rígido (ver ecuación 7); con este método se obtiene un único valor de V_0 para una misma membrana, ya que este procedimiento se efectúa cada vez que se hace la calibración por volumen. Otra forma de calcular el volumen inicial es midiendo el diámetro de la parte inflable de la probeta y haciendo un promedio de todas estas mediciones; no obstante, hay que tomar en cuenta que estas mediciones incluyen también la presión de gas, por ello no sería una correcta medición de volumen (**Baguelin, 1978**).

Corrección por presión

La pérdida de presión en la probeta ocurre debido a la rigidez de las paredes de la probeta. Las

lecturas de presión obtenidas durante el ensayo deben corregirse debido a la pérdida de presión requerida para expandir las paredes de la probeta, es decir, la resistencia a inflarse de la membrana debe ser restada de las lecturas de presiones para obtener la presión real aplicada al suelo.

La corrección por presión es también conocida como la "corrección de la membrana" o la "resistencia a inflarse de la membrana".

La manera de ejecutar el ensayo es colocando la probeta en la superficie del terreno, en posición horizontal, esto porque si la probeta se posiciona vertical ella trabaja en el mismo sentido como si estuviera dentro de la perforación. El hecho de colocar la probeta en posición vertical puede influir en la calibración de los resultados, ya que el peso de la probeta puede alterar el comportamiento de la membrana y la funda (**Baguelin, 1978**).

Una vez que la probeta este posicionada de manera correcta, ésta se infla a un valor de presión, es importante que la presión a la cual se infla la probeta supere la resistencia a inflarse de la membrana de hule y las fundas, esto para garantizar que la presión que se aplica en el suelo sea menor que la presión en la probeta (**Baguelin, 1978**).

La probeta puede ser inflada usando 9 o 10 incrementos de presión, o hasta que este se extienda al máximo volumen de trabajo (600cc o 700 cc). La magnitud de los incrementos pueden ser calculados a partir de la presión requerida para trabajar la membrana, es decir, para superar la resistencia a inflarse de la membrana; en caso de tratarse de una membrana nueva debe realizarse entre 4 y 5 intentos antes de corroborar la calibración. En esta calibración la presión se puede mantener durante 1 minuto tomando lecturas de volumen cada 15, 30 y 60 segundos.

En cuanto a la corrección para los datos, a cada medida de presión tomada en campo se le debe sumar la presión hidrostática debida a la diferencia de elevación entre la altura media del reservorio y la mitad de la probeta, también debe tomarse en cuenta aquella presión de inercia, la cual es la misma que la resistencia a inflarse de la membrana. Esta presión de inercia ocurre a la lectura de volumen del ensayo en relación con la curva de calibración al aire, es decir, conocido el valor de volumen tomado en campo, se ubica en el eje de las ordenadas de la curva de calibración y se traza una línea paralela al eje de las

abscisas, esta línea debe intersecar la curva de calibración al aire, una vez que se dé la intersección, se traza una línea paralela al eje de las ordenadas que interseque al eje de las abscisas (eje donde se ubican los valores de presión), la presión leída en esta intersección se conoce como la presión de inercia, y es la que debe ser restada a cada presión de la curva virgen. Una vez realizados estos trabajos se obtiene la presión real en la probeta, la cual puede ser calculada por **(ASTM, 2007)**:

$$p_c = p_r + p_h - p_i \quad \text{Ecuación 61}$$

Donde

p_c = presión corregida (kg/cm²)

p_r = presión registrada (kg/cm²)

p_h = presión hidrostática correspondiente a la profundidad del ensayo (kg/cm²)

p_i = presión de inercia (kg/cm²)

La resistencia de la membrana no es independiente de la temperatura, particularmente a bajas temperaturas, por lo tanto cada vez que se realice una prueba en condiciones diferentes de temperatura y elevación con respecto a la última calibración es recomendable realizar nuevamente la calibración al aire de la probeta **(ASTM, 2007)**. Es importante mencionar que mientras se esté utilizando una membrana sin ser cambiada, esta debe ser recalibrada después de 20 ensayos; no obstante para la recalibración se recomienda 10 ensayos.

Pruebas realizadas en campo

Durante la ejecución del proyecto hubo la posibilidad de realizar 3 visitas de campo, la primera visita fue al Sitio Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico El Diquis (PHED), esta visita fue a la finca Camaronal, la cual se ubica en el distrito de Palmar Norte, en el Cantón de Osa, Puntarenas. Este proyecto consiste en una presa de 170m de altura localizada en el río General Superior. Dicha presa es zonificada de enrocado con cara de concreto (CFRD) por sus siglas en inglés.

En sus inicios la casa de máquinas se propuso subterránea; no obstante, con el paso del tiempo se ha llegado a la conclusión de que esta estructura pase a ser superficial, por ello se

realizó un cambio en el esquema hidráulico. Bajo esta situación se ha desarrollado una campaña de exploración para determinar tanto la estratigrafía como las propiedades de los materiales presentes en el entorno del nuevo sitio y en la traza de la tubería forzada. Por tal motivo el equipo de geotecnistas de PHED se ha dado a la tarea de la investigación geotécnica de la zona.

A la fecha se han realizado muestreos y mediciones en campo, ensayos de laboratorio (compresiones confinadas, triaxiales, clasificación SUCS) y ensayos "in situ" (SPT, Presiómetro Ménard y Penetrómetro Manual de Anillo). Dicha recolección de información se ha llevado a cabo mediante trincheras, pruebas de penetración estándar y perforaciones a rotación.

Las primeras pruebas en campo realizadas con el equipo en análisis fueron en PHED-47-CM ubicada en las coordenadas Lambert (520455, 325280). La P47 fue perforación mecanizada con lodos y su profundidad proyectada es de 80m de longitud, no obstante las pruebas con el presiómetro se realizaron hasta los 6,50m.



Figura 16. Perforación PHED-47-CM.

En este sitio también se realizaron otras cuatro pruebas en huecos perforados con Auger manual dentro de las trincheras exploratorias T-01-CM, T-03-CM, T-04-CM y camino alternativo a la tubería de presión, la prueba más profunda en estos casos fue a 4,6m, en los cuadros 8, 9 y 10 se pueden observar las características generales de estas trincheras y otros aspectos relevantes.

CUADRO 8. UBICACIÓN DE TRINCHERAS (Jiménez & López, 2009)

Punto de muestreo	Coordenada X	Coordenada Y	Fecha de muestreo	Profundidad (m)
T-01-CM	520444	325268	28/07/2009	4,60
T-03-CM	520494	325159	29/07/2009	2,00
T-04-CM	520314	325467	30/07/2009	5,30

CUADRO 9. UBICACIÓN DE ENSAYOS CON EL PRESIÓMETRO MÉNARD (Jiménez & López, 2009)

No. de prueba	Ubicación		Comentarios adicionales sobre la ubicación del ensayo
	Coordenada X	Coordenada Y	
M-01-CM	520457	325272	Trinchera T-01-CM
M-02-CM	520402	325228	Trinchera T-03-CM
M-03-CM	520629	325706	En camino secundario
M-04-CM	520310	325460	Trinchera T-04-CM

CUADRO 10. RESUMEN DE MUESTREOS Y PRUEBAS "IN SITU" TOMADOS EN TRINCHERAS EXPLOTARORIAS (Jiménez & López, 2009)

No. de trinchera	Muestreo para laboratorio	Ensayos in situ
T-01-CM	4 Shelby a 2,60m a 2,80m 1 Bolsa de material a 2,60m	Presiómetro Ménard a 2,95m Penetrómetro manual de anillo a 2,60m
T-03-CM	1 Bolsa de material	Presiómetro Ménard a 0,85m Penetrómetro manual de anillo a 2,00m
T-04-CM	1 Bolsa de material	Presiómetro Ménard a 4,60m Penetrómetro manual de anillo a 2,50m

Para el proyecto de Telecomunicaciones de torres GSM-BTS se efectuaron tres pruebas más con el presiómetro Ménard, una fue en el sitio Pacayitas de Turrialba a 2,4m de profundidad. Otra se efectuó en Sangregado, de Fortuna, San Carlos a 3,0m y finalmente una en la zona sur en Villa Briceño de Golfito, Puntarenas a 3,5m.

A continuación se muestran los procedimientos necesarios para realizar la prueba en campo.

Principios de uso del presiómetro Ménard

Los ensayos presiométricos dependen de la cantidad y desplante de las perforaciones y del número de ensayos que se ejecutan en un punto, todo esto depende del tamaño de la estructura y del tipo de suelo.

En las siguientes recomendaciones se asume que el presiómetro a utilizar es el

apropiado para el tipo de suelo y también se asume que el equipo está en perfectas condiciones:

- Al introducir el equipo dentro de la perforación el tubo debe tener una longitud que alcance el desplante (z) máximo, por lo general la longitud del tubo es z+5m, es necesario no pasarse con la longitud del tubo pues mucha longitud en el tubo trae problemas de saturación de la tubería y grandes correcciones de volúmenes debido a la expansión del tubo bajo presión. Como segunda regla la longitud estándar del tubo es de 20m a 30m máximo (**Baguelin, 1978**).
- Los medidores de presión deben adaptarse a los rangos de presión que se quieren medir (**Baguelin, 1978**).
- La escogencia de la membrana, debe ir en función de las presiones, las cuales son alcanzadas al nivel del terreno.

Ambos rangos de presiones vienen en función del tipo de suelo a ensayar. Se debe tener en cuenta que la sensibilidad de las mediciones en suelos suaves se reduce apreciablemente si la resistencia de la membrana y de las fundas es muy alta (Baguelin, 1978).

- El tipo de gas puede ser adaptado para un ensayo en particular, se puede usar aire comprimido o dióxido de carbono con una presión superior a 2000kPa (Baguelin, 1978).

Preparación de la perforación

La calidad de la perforación es uno de los pasos más importantes para obtener un ensayo del presiómetro satisfactorio. Se recomienda cumplir con dos condiciones para obtener una buena calidad de la perforación:

- El diámetro del agujero debe estar dentro de las tolerancias teóricas.
- El equipo y el método utilizado para la preparación del agujero debe causar la menor alteración del suelo y de las paredes del agujero.

Las tolerancias en los diámetros se pueden relacionar con ciertos valores, así que suponiendo que el diámetro de la máquina perforadora es D_1 , el diámetro de la probeta desinflada es D_2 y el diámetro inicial del agujero es D_3 (ASTM, 2007):

$$D_2 \leq D_1 \leq 1,03D_2 \quad \text{Ecuación 62}$$

$$1,03D_2 \leq D_3 \leq 1,20D_2 \quad \text{Ecuación 63}$$

Estas tolerancias se plantean para asegurar que la perforación no sea ni muy pequeña ni muy grande para la ejecución del ensayo. Si la perforación es muy pequeña esto podría mostrar dificultades al bajar la probeta en el agujero y además el módulo obtenido a partir de esta mala práctica sería muy grande, por lo tanto no se recomienda utilizarlo para los cálculos de diseño; en este caso la presión límite no se ve significativamente afectada. La curva que presentaría esta situación es similar a la expuesta en la figura 17 y los resultados del ensayo podrán ser parcialmente útiles. Por otro lado si el agujero es muy grande como lo muestra la curva de la figura 18 entonces la probeta se infla a un

máximo de dos veces el V_0 o al máximo diámetro de la probeta D_4 , el cual sería $1,41D_2$ y la presión límite no podría ser alcanzada, no obstante la información para obtener el módulo si se puede utilizar en los cálculos posteriores (ASTM, 2007).

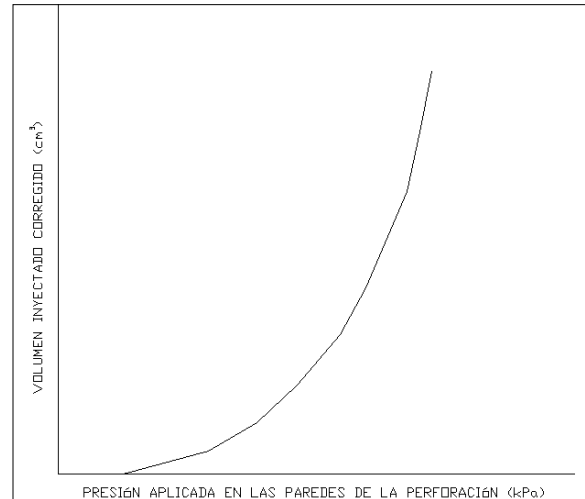


Figura 17. Curva presiométrica corregida cuando la perforación es muy pequeña (ASTM, 2007).

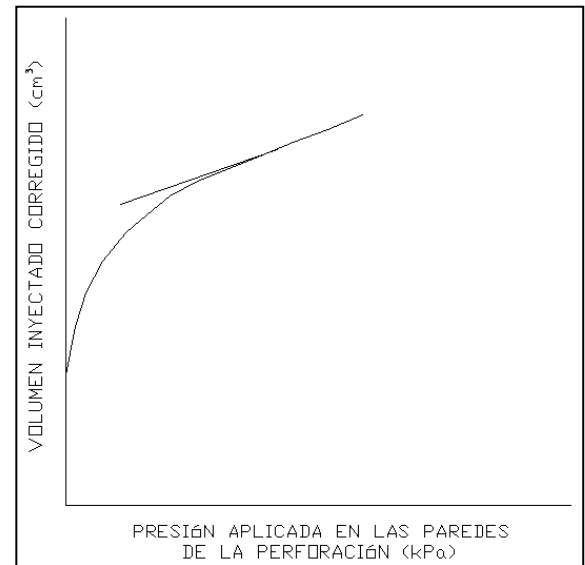


Figura 18. Curva presiométrica corregida cuando la perforación es muy grande (ASTM, 2007).

El equipo y los métodos usados para preparar el agujero de la perforación son presentados en la figura 19 con posiciones de: 1 = mejor opción, 2 = segunda opción, NR = no recomendada, NA = no aplicable.

Suelo	Tipo	Perforación por percusión con descarga de fondo	Tubo de pared delgada	Perforación de pozos y toma de muestras separadas	Perforación de pozo y toma de muestras simultánea	Auger Continuo	Auger Manual en seco	Auger Manual con descarga de fondo	Rotación-Percusión	Tubo ranurado
Suelos Arcillosos	Suave	2	2	2	2	NR	NR	1	NR	NR
	Firme a rígido	1	1	2	2	1	1	1	NR	NR
	Rígido a duro	1	2	1	1	1	NA	NA	2	NR
Suelos Limosos	Sobre el NF	1	2	2	2	1	1	2	NR	NR
	Bajo el NF	1	NR	NR	2	NR	NR	1	NR	NR
Suelos Arenosos	Malo y sobre el NF	1	NR	NR	2	2	2	1	NR	NR
	Malo y bajo el NF	1	NR	NR	2	NR	NR	1	NR	NR
	Medio a denso	1	NR	NR	2	1	1	1	2	NR
Grava Arenosa y Grava Arenosa con presencia de NF	Pobre	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	2
	Denso	NR	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	1
Roca Blanda	-	1	NA	2	NA	NA	NA	NA	2	NR

Figura 19. Métodos recomendados según tipo de suelo (ASTM, 2007).

Los métodos que han sido estudiados por la norma ASTM D-4719 (ASTM, 2007) y el libro The Pressuremeter de Briaud (Briaud, 1992) y utilizados en la práctica costarricense son:

- Perforación por rotación: es el método más versátil, más común y más usado para este tipo de ensayos. La perforación por rotación se puede hacer mediante dos tipos, con lodos o con agua, en general este método consiste en avanzar la perforadora por rotación dentro del suelo mientras se satisfagan las siguientes condiciones:
 - o Mantener una baja presión en la perforadora (200kPa)
 - o La rotación debe ser lenta (menos de 60 RPM)
 - o Regular la cantidad del fluido que se está utilizando (menos de 15 L/min)
 - o Inyectar el fluido por el eje axial para causar el menor daño posible a las paredes de la perforación.
- Tubo de muestreo: para estos ensayos es posible utilizar los muestreadores de pared delgada. Este tubo debe ser lo suficientemente largo para garantizar que con una sola pulsación penetre en la cavidad del suelo que será ensayado. Si los tapones quedan incrustados en la perforación o si no se da la recuperación total del suelo ensayado debe extraerse

los residuos con otro método a considerar, debe retirarse el tubo lentamente para no afectar el diámetro de la cavidad debido a la succión.

Además el suelo debe tener una consistencia medio blanda para poder hincar tubos de pared delgada.

Con los resultados obtenidos se considera que este es el método más óptimo para ajustar el diámetro de la probeta al diámetro del agujero; no obstante, para usar el tubo Shelby se debe utilizar un Auger Manual para poder llegar hasta una profundidad más cercana que la que se desea realizar el ensayo. Según las observaciones de campo, no se utiliza el Auger Manual hasta la profundidad del ensayo, ya que con este método se altera en cierto grado las paredes del agujero, por ello es preferible utilizar el tubo Shelby, el cual crea un agujero limpio y protegido en su longitud.

- Auger continuo: utilizar un solo barreno para llegar hasta la profundidad de ejecución de prueba, el agujero superficial debe ser de un diámetro mayor al del Auger para evitar arrastrar material de la superficie hacia la profundidad de ensayo.
- Auger manual: este método debe utilizarse para pruebas de poca profundidad. Este fue el método que se

utilizó en las pruebas realizadas con el presiómetro en las trincheras exploratorias de PHED y en Villa Briceño. Con el fin de poder ajustar el diámetro de la cavidad con el diámetro de la probeta se perforó 70cm con tubo de pared delgada cuyo diámetro es de 71mm.

Existe más variedad de métodos para realizar la perforación, no obstante estos son los más utilizados en el medio costarricense.

Posicionamiento de la probeta en la perforación

Una vez que se realizan las calibraciones correspondientes y se coloca el volumen cero V_s la probeta puede ser colocada en la perforación. Esta no debe ser empujada hacia adentro de la perforación ya que esto afectaría la curva presiométrica. Para poder introducir la probeta a la profundidad deseada se debe hacer uso de un dispositivo de sujeción (tubo), el cual debe colocarse verticalmente para disminuir la resistencia a la expansión del suelo, esto debido a la relajación de fuerzas que se da en la perforación. La probeta puede colocarse en el agujero tan pronto el mismo es acabado. Una rápida inserción limita el tiempo disponible para que las paredes del hueco caigan y rellenen nuevamente el agujero. Es importante tener en cuenta que para no afectar la perforación, es decir, provocando el desprendimiento de material al interior del agujero, se debe ejecutar la prueba del inferior del hueco hacia arriba. En suelos muy malos o expansivos puede ser prudente poner un límite para la longitud del hueco, la cual debe ser decidida antes de que empiece el ensayo.

Se recomienda realizar el ensayo a cada metro, pero en situaciones especiales se puede alterar esta distancia. Cuando existen diferentes tipos de materiales el ensayo del presiómetro puede ser en cada capa. En este caso si dos ensayos sucesivos son menores que 50cm puede escogerse la zona de influencia superpuesta. Sin embargo, las zonas de influencia superpuestas no influyen en p_L pero el módulo sí, este puede ser muy alto (aprovechando el ciclo del ensayo) o muy bajo (debido a la perturbación) (**Baguelin, 19xx**).

Es muy importante tener la seguridad de que la probeta está colocada en el mismo material en toda su longitud, sino la interpretación

de los datos se torna complicada y además pelagra que la membrana se dañe.

La profundidad del ensayo se mide con la colocación de la probeta y esta corresponde a la profundidad medida desde la superficie del terreno hasta la mitad de la longitud inflable de la probeta.

Por lo general, la probeta puede descender a la perforación sin dificultad. Para realizar esta maniobra debe cerrarse la válvula 9, la cual permite el flujo del agua. Esto para aislar la probeta y el tubo de la influencia del reservorio. Esto evitaría que la probeta se expanda debido a la presión hidrostática del agua en el reservorio. Bajo ninguna circunstancia la probeta debe bajar a la perforación con agua y/o aire.

Inicios del ensayo

Con la probeta en la posición deseada se puede dar inicio a la ejecución del ensayo, la prueba comienza una vez que se abren las válvulas 9 y 10. Como la válvula se abre a la presión atmosférica se requiere que este movimiento se haga lentamente para que el agua no peligre ser expulsada del reservorio en caso de que la presión atmosférica sea muy alta.

Entre los aspectos a considerar en el momento en que se ejecuta el ensayo, se debe conocer la profundidad a la cual se ejecuta la prueba y las condiciones del agua subterránea, ya que la presión hidrostática en el tubo y la probeta puede causar una expansión mayor o menor de la membrana de la probeta.

Presión diferencial

En el marco teórico se habló sobre los tipos de presiómetros existentes, no obstante, se dejó el tema de la presión diferencial para esta sección, a continuación se consideran las recomendaciones e indicaciones relevantes y encontradas en la literatura acerca este tema.

Antes de dar inicio al ensayo se debe ajustar una presión diferencial entre las celdas de la probeta para que ésta pueda ser desinflada y así poder extraerla del agujero, una vez que la presión diferencial es obtenida, debe ser mantenida automáticamente y de manera total durante la ejecución del ensayo. Es una buena práctica revisar que el regulador automático esté trabajando correctamente para cada incremento

de presión, esto se verifica comparando las presiones en las lecturas cada reloj (16 y 17 de Figura 2).

En particular, una de las fases más importantes en la ejecución de la prueba presiométrica es entender cómo se ajusta la presión diferencial. Como se mencionó anteriormente, se sabe que hay dos presiones en el sistema:

- La presión de agua, la cual se usa para cargar la parte activa de la probeta, o mejor conocida como celda central.
- La presión de gas, la cual es la responsable de cargar las celdas de guarda.

Cabe destacar que por el presiómetro de la UEG es necesario que la presión en la celda central exceda la presión en la celda de guarda (**Baguelin, 1978**).

Las presiones diferenciales a utilizarse en la práctica pueden ser tomadas del cuadro 11, nótese que la profundidad del ensayo debe tomarse en consideración para poder tener un valor de presión diferencial.

Esta presión diferencial siempre debe ser de 100kPa, no obstante la profundidad del ensayo aporta presión hidrostática, lo cual hace que disminuyan los valores de presión diferencial según la profundidad. Nótese por lo tanto, que a una profundidad de 11 m la presión diferencial se alcanza sólo con la presión hidrostática, pero a profundidades mayores a los 11 m debe buscarse un valor de presión diferencial para mantener la relación que la presión de gas no puede exceder la presión del agua en la probeta.

CUADRO 11. VALORES DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL vs PROFUNDIDAD (Roctest, 1983)		
PARA ENSAYOS DE BAJA PRESIÓN 0-2500 kPa – SUELOS		
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO (m)	POSICIÓN DE LA VÁLVULA 6	PRESIÓN DIFERENCIAL ENTRE AMBOS RELOJES (kPa)
1		100
2		90
3		80
4		70
5	La presión de agua es más grande que la presión de gas	60
6		50
7		40
8		30
9		20
10		10
11		0
12	La presión de gas es más grande que la presión de agua	10
15		40
20		90
25		140

EXCEL 2007

Ejecución del ensayo

La prueba del presiómetro culmina cuando el agua del reservorio ha llegado a los 700cc (preferiblemente 600cc), o bien, a un mínimo de 10 incrementos de presión. Se supone que una vez que se obtenga el décimo incremento de presión se alcanza la presión límite, ya que se considera que a esta presión leída se ha duplicado las dimensiones de la cavidad del agujero, la teoría indica que como mínimo se

deben de tomar 8 mediciones para poder graficar la curva presiométrica y un máximo de 14 incrementos, no obstante para escoger la cantidad de incrementos de presión es necesario hacer una estimación de la presión límite que debe resultar al ejecutar la prueba. Para estimar un valor de presión límite lo suficientemente preciso, se aconseja consultar la información disponible acerca el método de perforación a utilizar y también tener un conocimiento de la geología del sitio (**Baguelin, 1978**). También se puede predecir el valor de la presión límite ejecutando un ensayo en el sitio y hacer los cálculos correspondientes para que al siguiente

ensayo se tenga un valor más cercano a la presión límite real del medio, con esto lo que se propone es hacer una relación para conocer las condiciones del suelo y poder asumir valores precisos. Una vez que se estima el valor de la presión límite se divide por 10 y el valor resultante son los incrementos de valor en que se propone aumentar la presión.

Con la ejecución de algunos estudios se proponen ciertos valores de presión límite según el tipo de suelo, los cuales se presentan en el cuadro 2 y en la Figura 20 se muestran las características de campo que estos valores de presión límite pueden tener.

Para materiales arcillosos		
p^*_L (kPa)	Descripción	Descripción de campo
0-75	muy suave	fácilmente penetrable con el puño, se desborona en los dedos
75-150	suave	fácilmente penetrable con los dedos y fácil de moldear
150-350	firme	de difícil penetración, se moldea ejerciendo fuerte presión con los dedos
350-800	rígida	difícil romper terrones, presión con los dedos
800-1600	muy rígida	ligeramente difícil romper terrones con fuerte aplicación de presión con los dedos
>1600	dura	no se puede penetrar con la presión de los dedos, se necesita de la uña o la punta de un lapicero

Figura 20. Descripciones de campo para clasificar suelos arcillosos (**Baguelin, 19xx**).

Con las indicaciones mostradas a lo largo de este capítulo se considera que es posible realizar correctamente una prueba presiométrica, de manera que queden claros los aspectos relevantes y se obtengan buenos resultados.

Revisión de informes anteriores

Como se mencionó anteriormente, los informes utilizados para este trabajo fueron: "ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN TERRENO PARA EL PROYECTO EÓLICO TEJONA" (**Avilés, 2001**) y

"ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA AMPLIACIÓN DEL EDIFICIO CENTRAL DEL ICE" (**Avilés, 2004**), estos informes se utilizaron con el fin de estudiar los resultados de las curvas presiométricas que se obtuvieron en esos proyectos, esto para tener mayor información de la PMT. Además que uno de los objetivos es tratar de establecer correlaciones entre los resultados del PMT y otros ensayos, ya sea de campo o laboratorio, por lo tanto de estos informes se extrajo la información correspondiente a las pruebas de investigación geotécnica que se realizaron.

El proyecto eólico Tejona está ubicado alrededor de 5km al norte de Tilarán en dos filas

montañosas conocidas como Fila Montecristo y Fila Altamira. Este proyecto consiste en turbinas movidas por el viento que van montadas sobre torres de acero (Avilés, 2001).

Para el informe que se estudio se realizaron 7 perforaciones, donde en tres de ellas se utilizó el Presiómetro Ménard, para ser más específicos, los ensayos con el presiómetro se realizaron en la perforación PT-1, PT-4 y PT-5.

Estas 7 perforaciones se efectuaron con perforación por rotación y por percusión, mismas que alcanzaron profundidades entre 6m y 16m, esto para considerar una profundidad de estudio de al menos 2 veces el ancho de la placa propuesta (Avilés, 2001).

En resumen las perforaciones que se realizaron para este estudio geotécnico se listan en el cuadro 12:

CUADRO 12. RESUMEN DE PERFORACIONES (Avilés, 2001)					
Perforación	Ubicación	Profundidad (m)	Tipo de perforación	Muestras triaxiales	Ensayo de presiómetro
PT1	Montecristo	16,30	Rotación-Percusión	1 Shelby	3 Ensayos (4.23m, 7.25m y 11.40m)
PT4	Montecristo	16,05	Rotación-Percusión	1 Shelby	1 Ensayo (4.50m)
PT5	Altamira	16,05	Rotación-Percusión	5 Shelby	3 Ensayos (4.45m, 6.35m y 8.15m)

El proyecto de la Ampliación del Edificio Central es un proyecto que consistió en el planteamiento de construir un edificio anexo en la parte posterior del Edificio Central, en el anteproyecto se propuso que dicho edificio debía tener 3 niveles y un largo de aproximadamente 70m con un ancho de 25m, estructurado a base de vigas y columnas las cuales transmitirán las cargas a la fundación a través de placas individuales (Avilés, 2004).

Bajo el planteamiento de esta ampliación se realizan ensayos de estudio geotécnico. Aunque ya existía suficiente información derivada de estudios anteriores. En este caso se realizaron 3 perforaciones adicionales ubicadas en el terreno adyacente detrás de la estructura actual. De estas perforaciones 2 se realizaron con la técnica de percusión SPT (Standard Penetration Test) a una profundidad de 10m y la tercera fue realizada con la técnica de rotación a una profundidad de 15m, para poder extraer muestras inalteradas en tubos Shelby, en esta perforación fue donde se realizaron las pruebas del Presiómetro Ménard (Avilés, 2004).

Interpretación y correlación de resultados

Para el análisis de los resultados se optó por generar una hoja de cálculo de Excel, programada con algunas macros para agilizar la obtención de los resultados y además de guardar los resultados tratando de conservarlos para tener una base de datos de ayuda para futuros ensayos.

A fin de correlacionar los resultados obtenidos con el Presiómetro Ménard se buscó en los informes presentados los resultados con los métodos convencionales, es decir, para evaluar la resistencia al corte no drenada dada por el Ménard se extrajo valores de C_u de triaxiales UU y SPT ejecutadas para cada uno de los proyectos, así como el módulo de deformación de las curvas de esfuerzo desviador versus porcentaje de deformación.

Además, se relacionaron los resultados de capacidad de soporte neta obtenida del presiómetro con las capacidades de soporte neta con la fórmula de Vésic. Así como los asentamientos que se calculan convencionalmente, con los datos por este ensayo.

Resultados

Descripción geológico-geotécnica del proyecto Eólico Tejona

Según los estudios de los resultados de laboratorio del informe respectivo, generados a partir de las perforaciones en el sitio del proyecto Eólico Tejona no se detectaron grandes diferencias en las condiciones geotécnicas de un punto a otro, por ello es posible generalizar un perfil geotécnico que caracteriza este sitio. Las siguientes descripciones son tomadas de: **Avilés, 2001**.

El terreno de fundación está constituido por un suelo residual de lavas que se encuentra en la parte superior de las filas y que presenta un espesor apreciable.

Entre 0,20m y 0,90m: capa superficial de suelo negro esponjoso con un gran contenido de materia orgánica.

Con espesores entre 0,45m y 1,35m se tiene una capa de suelo limo arcilloso color café rojizo de consistencia media y humedad baja con pocos bloques.

Subyacente a las capas anteriores y hasta una profundidad mayor de 16m se tiene un suelo tipo saprolito que consiste en bloques ígneos de diversos tamaños y diversos grados de alteración envueltos en una matriz de color veteadado cuya composición y consistencia varía. El grado de alteración de los bloques parece aumentar con la profundidad, lo cual puede deberse a la influencia hidrotermal.

Es importante mencionar que en ninguna perforación se detectó el nivel freático por encima de los 16m de profundidad.

Generalidades

Para el proyecto Eólico Tejona según el informe se indica que la placa que debe utilizarse en cada torre es de aproximadamente 8m de ancho con

un desplante de m, por lo tanto cada ensayo se relacionó con estas dimensiones para corroborar que el suelo sea capaz de soportar el peso y esfuerzos correspondientes a la construcción de un cimiento para cada torre.

En este sitio, con el presiómetro se efectuaron 7 pruebas en total, las cuales se pueden observar en el cuadro 12 del presente trabajo.

Del informe geotécnico de este proyecto se puede extraer ciertos valores y parámetros, entre ellos el peso volumétrico del suelo, el cual en promedio es de 1,6ton/m³.

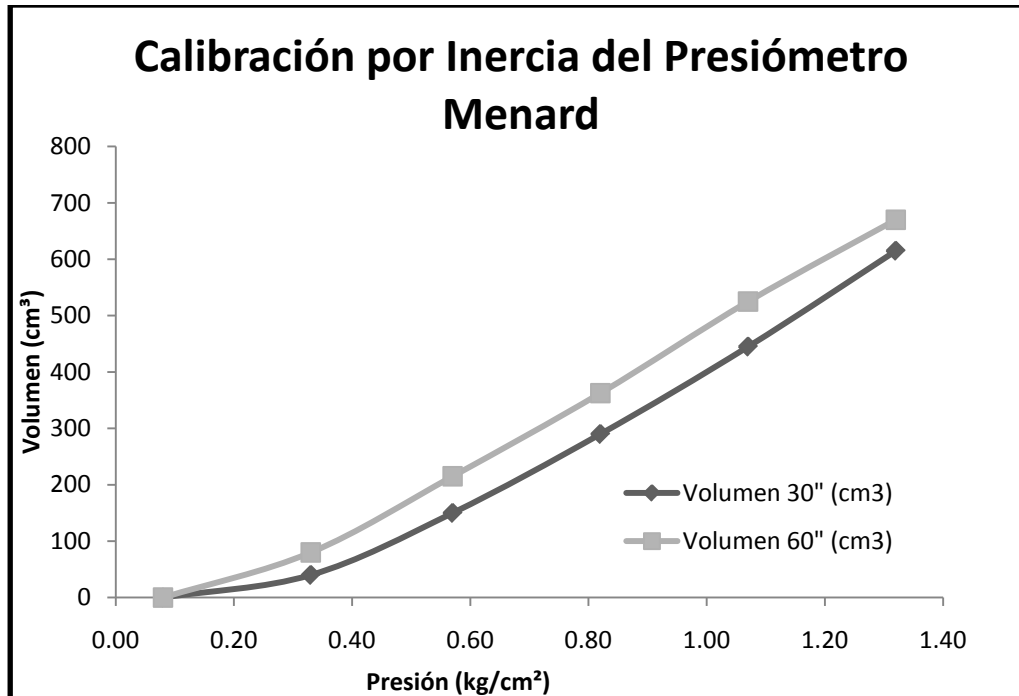
Entre las características generales de este proyecto se puede observar las presentadas en el cuadro 13.

Corrección de las curvas

La Figura 21 muestra la curva de corrección por inercia de la probeta mientras que la figura 22 presenta los resultados de la calibración por volumen o por deformabilidad interna del equipo, para todas las pruebas realizadas en este proyecto.

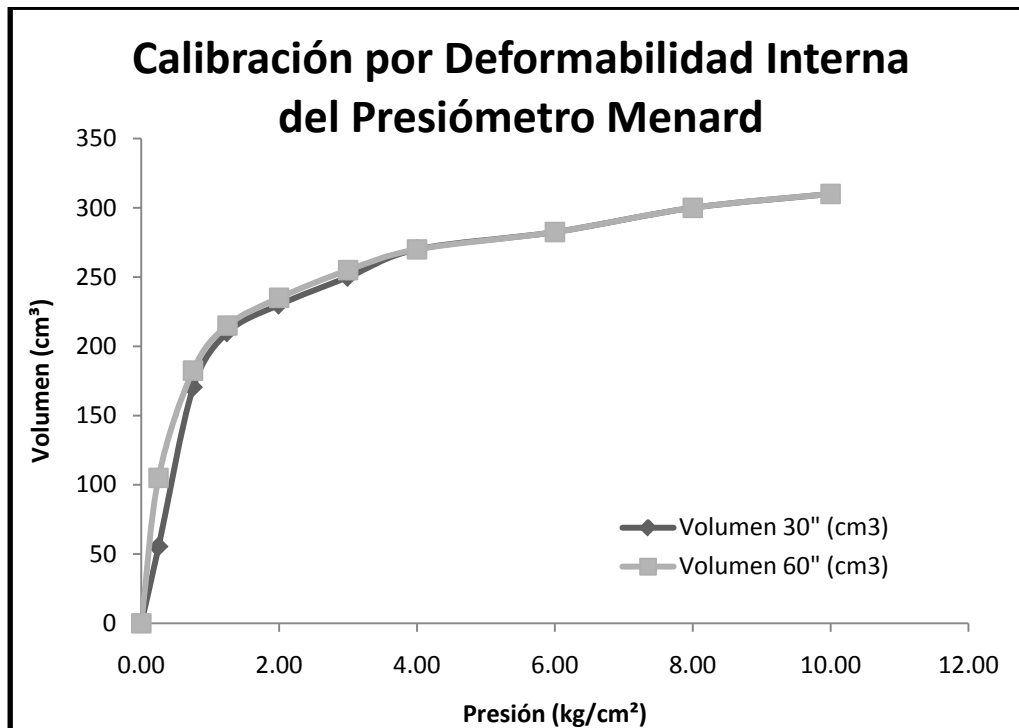
CUADRO 13. FICHA TÉCNICA (Autora)	
General	
Institución:	Instituto Costarricense de Electricidad
UEN:	Pysa
Centro Servicio:	Diseño
Específico	
Nombre de proyecto:	Proyecto Eólico Tejona
Tipo de proyecto:	Estudio Geotécnico de un terreno para el Eólico de Tejona
Ubicación:	5 km al norte de Tilarán en dos filas montañosas conocidas como Fila Montecristo y Fila Altamira
Potencia instalada:	660 kW
Tipo de torre:	Torre de Acero
Altura de torre:	32m
Fabricante:	Enercon
Cimentación	
Ingeniero Encargado:	Eduardo Avilés
Desplante de cimiento:	2m
Geometría de placa:	Cuadrada
Dimensiones de placa:	8,5m
Investigación Geotécnica	
# pruebas realizadas en sitio:	7
Tipo de pruebas en sitio:	SPT y Presiómetro Ménard
Tipo de Pruebas en Laboratorio:	Clasificación de Suelos SUCS, Contenido de Humedad Natural y Determinación del Peso Específico de los materiales, Triaxial UU y CU.

EXCEL 2007



EXCEL 2007

Figura 21. Curva de calibración por inercia de de la probeta en el sitio del proyecto Eólico Tejona.
(Autora, con datos de Avilés, 2001).



EXCEL 2007

Figura 22. Curva de calibración por deformabilidad interna del equipo para el proyecto Eólico Tejona.
(Autora, con datos de Avilés, 2001).

Descripción geológico-geotécnica del proyecto Ampliación del Edificio Central del ICE

Según información del informe correspondiente, el edificio proyectado se encuentra en la zona de Sabana Norte donde la roca madre está compuesta predominantemente por "lavinas" o depósitos de avalancha. Estos depósitos están compuestos por bloques ígneos envueltos en una matriz limosa y/o arcillosa color café.

Sobreyacentes a las lavinas se presentan unos depósitos de cenizas volcánicas en proceso de meteorización que dan origen a unos limos color café claro de muy baja plasticidad y baja resistencia.

Las descripciones del suelo encontrado en este sitio son tomadas de: **Avilés, 2004**.

De 0,00m a 9,00m: suelo limoso de consistencia blanda a media que puede presentar algo de preconsolidación por resecamiento en los primeros metros.

De 9,00m a 18,00m: suelo limoso pero de consistencia media a dura.

De 18,00m en adelante: lavina o lahar.

Generalidades

Este proyecto propone que se construyan dos tipos de cimientos, que corresponden a placas aisladas, cuadradas, unas con dimensiones de 2,8m y otras de 4,6m de lado, las cargas sin factores que le llegan a los cimientos están entre 120ton para las columnas que están en la línea de la colindancia con la estructura existente y 320ton para el resto de las columnas.

De los demás ensayos realizados se tiene que el peso específico promedio del suelo en el sitio es de aproximadamente $1,7\text{ton/m}^3$.

Cabe mencionar que todas las pruebas con el presiómetro se realizaron en la perforación P3 de estos estudios geotécnicos.

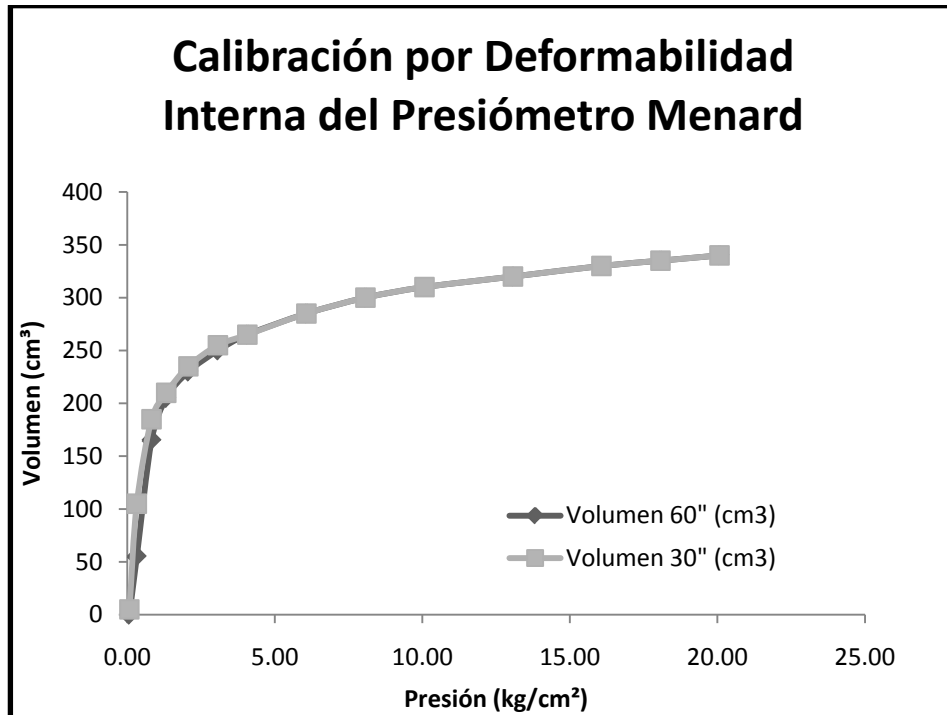
El cuadro 14 reúne características generales de este proyecto con el fin de esquematizarlo.

CUADRO 14. FICHA TÉCNICA (Autora)	
General	
Institución:	Instituto Costarricense de Electricidad
UEN:	Pysa
Centro Servicio:	Diseño
Específico	
Nombre de proyecto:	Ampliación del Edificio Central del ICE
Tipo de proyecto:	Estudio Geotécnico del terreno posterior de la estructura actual
Ubicación:	Sabana Norte, San José
Tipo de estructura:	Edificio tipo marco
Cantidad de niveles:	3
Dimensiones de cada nivel:	70m de largo y 25m de ancho
Cimentación	
Ingeniero Encargado:	Eduardo Avilés
Desplante de cimiento:	3 m
Geometría de placa:	Cuadradas
Dimensiones de placa:	2,8 m (placas de colindancia) y 4,6 m (el resto)
Investigación Geotécnica	
# pruebas realizadas en sitio:	3
Tipo de pruebas en sitio:	SPT y Presiómetro Ménard
Tipo de Pruebas en Laboratorio:	Clasificación de Suelos SUCS, Contenido de Humedad Natural y Determinación del Peso Específico de los materiales, Triaxial UU.

EXCEL 2007

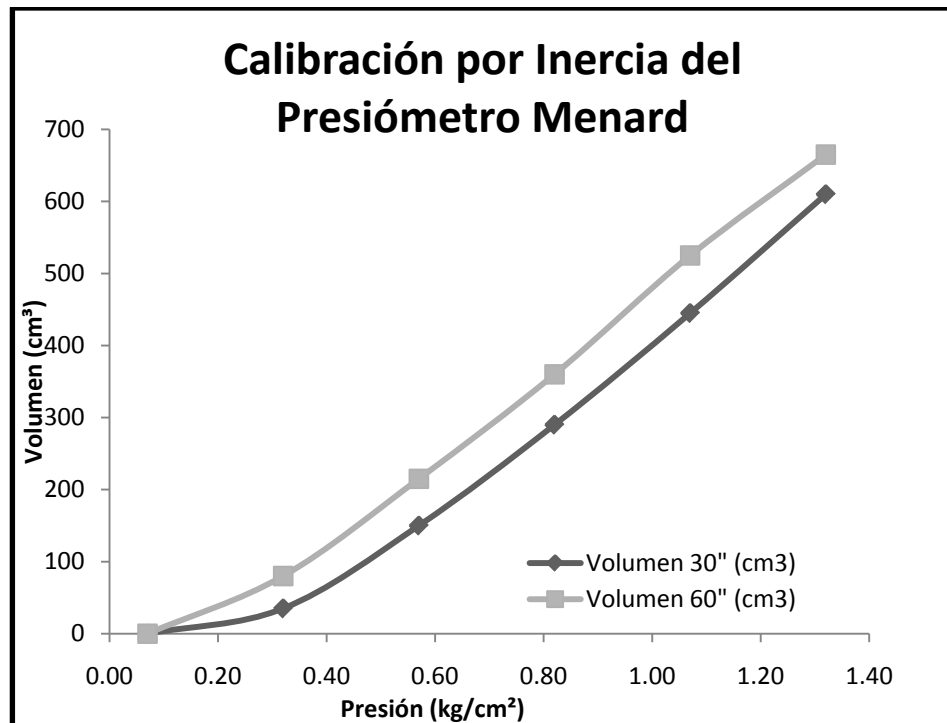
Correcciones de las curvas

Las curvas de calibración de estos ensayos se muestran en las Figuras 23 y 24.



EXCEL 2007

Figura 23. Curva de calibración por deformabilidad interna del equipo para la Ampliación del Edificio Central del ICE. (Autora, con datos de Avilés, 2004)



EXCEL 2007

Figura 24. Calibración por inercia de la probeta para la Ampliación del Edificio Central del ICE. (Autora, con datos de Avilés, 2004)

Descripción geológico-geotécnica del proyecto Hidroeléctrico El Diquis

Con el propósito de dar a conocer el sitio donde estará ubicada la casa de máquinas de PHED se tabula la descripción del suelo observado y descrito en el informe respectivo (**Jiménez & López, 2009**), en cada una de las trincheras donde se ejecutó prueba con el presiómetro.

Trinchera T-01-CM

En las paredes Noroeste y Sureste:

De 0,00m a 0,20m: Material orgánico de color café oscuro con abundantes raíces.

De 0,20m a 1,20m: Suelo orgánico de color café rojizo.

De 1,20m a 4,60m: Limo arenoso húmedo, muy alterado y relativamente homogéneo, de color predominante gris claro con vetas color café, naranja y patinas de alteración negro brillante.

Tal como lo muestra la figura 25.



Figura 25. Pared Noroeste de trinchera T-01-CM (Jiménez & López, 2009).

En paredes Noreste y Suroeste:

De 0,00m a 0,20m: Material orgánico de color café oscuro con abundantes raíces.

De 0,20m a 1,20m: Suelo orgánico de color café rojizo.

De 1,20m a 4,60m: Coluvio formado por bloques con aristas subredondeados de caliza, con una diversidad amplia de tamaños desde centimétricos hasta decimétricos inmersos en una matriz limo-arcillosa color café de plasticidad media.

La figura 26 es alusiva a lo observado en dicha trinchera.



Figura 26. Detalle de coluvio de T-01-CM (Jiménez & López, 2009).

Trinchera T-03-CM

En todas las paredes:

De 0,00m a 2,00m: En su gran mayoría, material producto de la alteración de rocas sedimentarias de grano fino, (lutitas), transición a suelo residual (regolito). El material presenta una coloración café rojizo y en las fracturas se observan “rellenos” de color gris claro y patinas de alteraciones de color negro. Hacia el final de la trinchera al Suroeste se encontró material aluvial compuesto de bloques ígneos subredondeados de tamaño centimétrico (hasta 25 cm) inmersos

en una matriz arcillosa de color gris claro, subyaciendo al suelo residual antes descrito.

La Figura 27 muestra el detalle de la pared norte de esta trinchera.



Figura 27. Detalle de pared Norte, estratificación y fracturas (Jiménez & López, 2009).

Trinchera T-04-CM

En todas las paredes:

De 0,00m a 1,20m: Relleno limo-arcilloso plástico de color rojizo.

De 1,20m a 2,20m: Suelo orgánico de plasticidad media, de color café oscuro.

De 2,20m a 2,90m: Coluvio formado por bloques de caliza, inmersos en una matriz limo-arenosa poco plástica (posiblemente formada a partir de la alteración de los mismos bloques) y a veces arcillosa, café claro plástica.

De 2,90m a 3,40m: Limo-arcilloso plástico de color gris a gris verdoso y café en otros sectores.

De 3,40m a 5,30m: Coluvio formado por bloques de caliza de menor tamaño y menos alterados que en el tramo descrito de 2,20m a 2,90m (40cm de tamaño máximo). En este caso la matriz en la que se encuentran los bloques es un limo-arcilloso, plástico, de color rojizo.

Generalidades

Como se ha explicado, el equipo de trabajo de las Áreas de Ingeniería Geotécnica y Geología del ICE que se encuentra trabajando en PHED han realizado gran variedad de ensayos y pruebas para determinar las características geomecánicas del sitio y zonas aledañas, con ello, de las

pruebas realizadas es posible extraer valores de resistencia no drenada para antiguas muestras cercanas a los sitios donde se efectuaron las pruebas con el presiómetro. En la sección de anexos se agregan los resultados de la prueba triaxial elaborada a dicha muestra, del "REPORTE DE SONDEOS EXPLORATORIOS REALIZADOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO EN EL ENTORNO DE LA CASA DE MÁQUINAS Y LA TUBERÍA FORZADA DE PHED – FINCA CAMARONAL" (Jiménez & López, 2009) se extrajo un único valor, debido a que su ubicación en coordenadas Lambert (520319, 325467) representa ser el ensayo más próximo a las trincheras mencionadas.

Uno de los parámetros que es posible utilizar de estos ensayos es el peso específico de estas muestras, y al hacer un promedio de los resultados de ensayos de laboratorio se obtiene un peso específico de $1,72\text{ton/m}^3$, mismo que se utiliza en los cálculos posteriores.

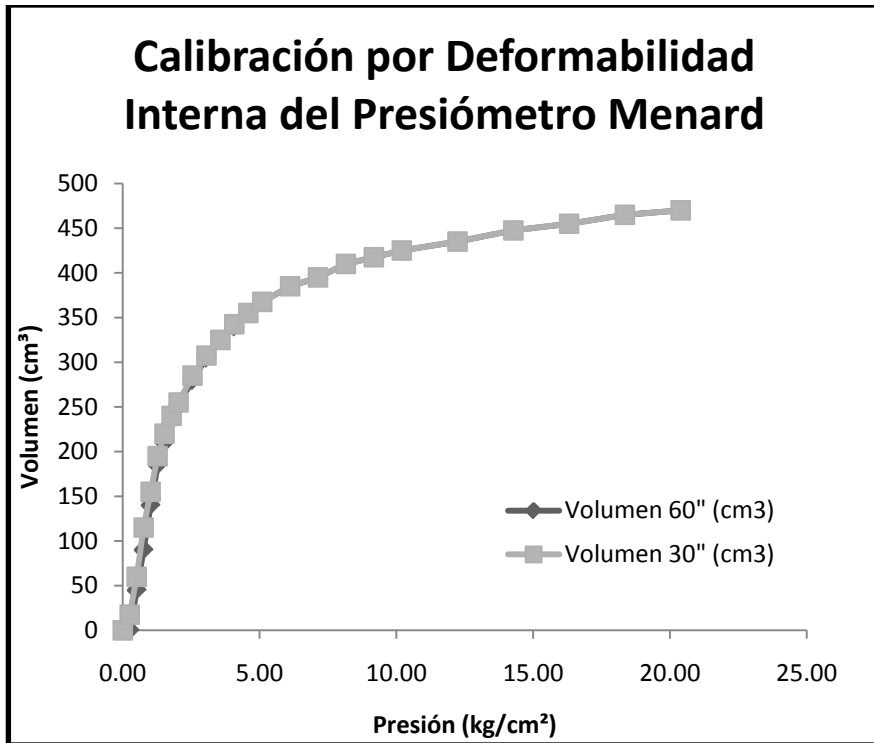
El cuadro 15 reúne las características generales del Proyecto Hidroeléctrico El Diquis, el cual se encuentra en fase de ejecución.

CUADRO 15. FICHA TÉCNICA (Autora)	
General	
Institución:	Instituto Costarricense de Electricidad
División:	Electricidad
UEN:	Pysa
Específico	
Nombre de proyecto:	Proyecto Hidroeléctrico El Diquis
Tipo de proyecto:	Proyecto Hidroeléctrico
Ubicación:	Zona Sur de Costa Rica (Buenos Aires-Osa)
Presa	
Ubicación de presa:	Río General Superior
Tipo de presa:	Zonificada con cara de concreto (CFRD)
Altura de presa:	170m
Conducción	
Diámetro del túnel:	10,6m
Longitud del túnel:	11295m
Tubería Forzada:	Doble
Diámetro tubería forzada:	6,4m c/u
Longitud tubería forzada:	1180m c/u
Casa de máquinas	
Ubicación de Casa de Máquinas:	Finca Camaronal, Palmar Norte
# de unidades:	4
Potencia instalada:	599 MW
Restitución	
Diámetro del túnel:	14,0m
Longitud del túnel:	1030m
Ancho del canal:	30,0m
Longitud del canal:	1430m

EXCEL 2007

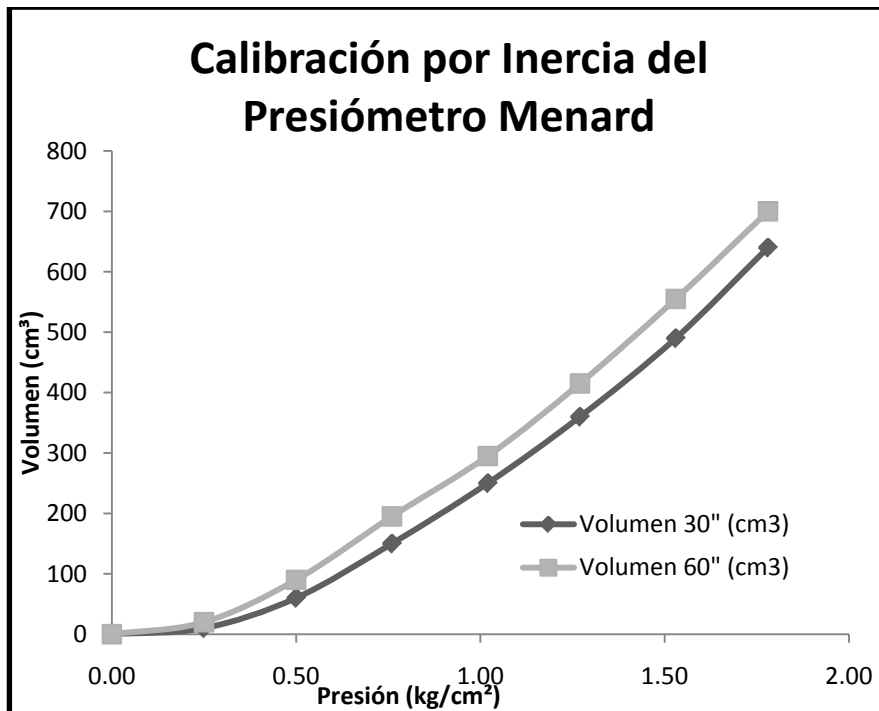
Correcciones de las curvas

Al ejecutar estos ensayos las curvas de calibración que se generan son las que muestran las Figuras 28 y 29. Se considera importante mencionar que la curva de calibración por deformabilidad interna del aparato se realizó en la UEG el día 03 de Agosto del presente año, mientras que la curva de calibración por inercia se efectuó el día 28 de julio cerca de la primera prueba del presiómetro Ménard (520444, 325268).



EXCEL 2007

Figura 28. Curva de calibración por deformabilidad interna el aparato para PHED.
(Autora)



EXCEL 2007

Figura 29. Curva de calibración por inercia de la probeta para PHED.
(Autora)

Descripción geológico-geotécnica de proyecto de Telecomunicaciones en Villa Briceño

En el sitio se encontró con roca alterada, caliza, limos arcillosos café amarillento. Los bloques conservan las características de la roca madre muy húmedos y de plasticidad media alta. Aparecen bloques de mejor condición física, sin embargo son fácilmente deleznable con la presión de los dedos.



Figura 30. Perforación en Villa Briceño.

Generalidades

Este proyecto consiste en torres de Telecomunicaciones de 50m de altura, para este caso se propone que el cimiento sea una placa cuadrada superficial a 2,8m de desplante y 6m de lado.

Según los suelos encontrados se utiliza un valor teórico de peso específico de aproximadamente $1,8\text{ton/m}^3$.

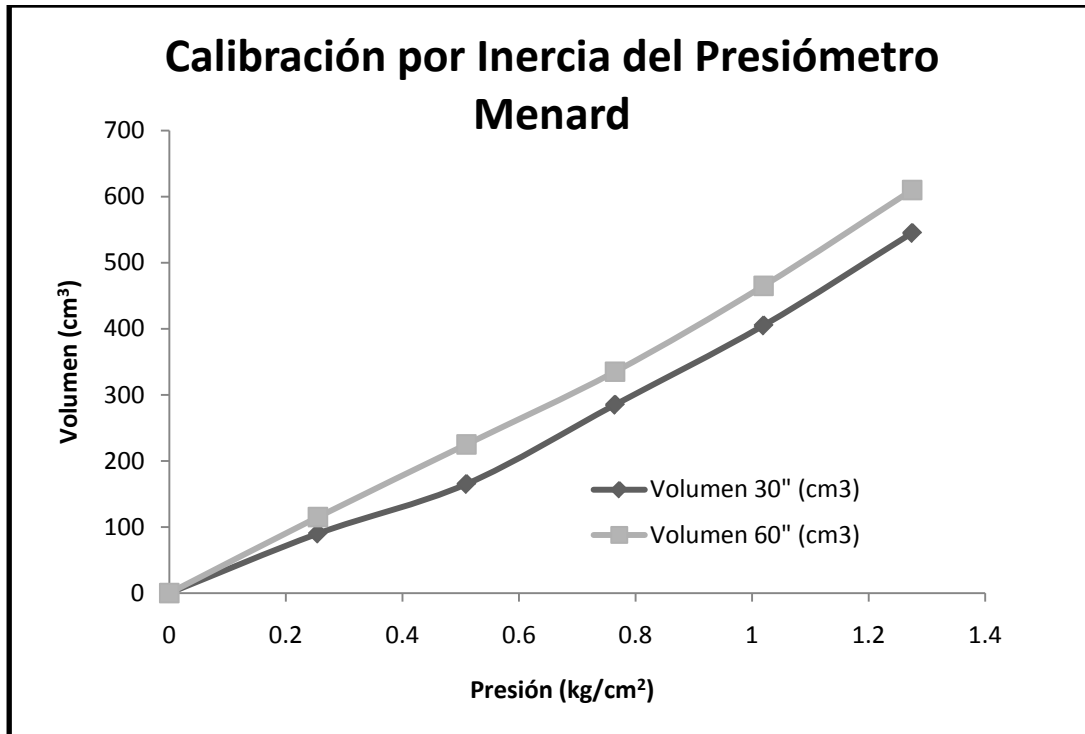
En el cuadro 16 se tabulan las características generales del proyecto de Villa Briceño.

CUADRO 16. FICHA TÉCNICA (Autora)	
General	
Institución:	Instituto Costarricense de Electricidad
UEN:	Pysa
Centro Servicio:	Diseño
Específico	
Nombre de proyecto:	Proyecto 215 RBS
Tipo de proyecto:	Diseño Cimiento Torres Celular
Ubicación:	Villa Briceño
Tipo de torre:	Nello de 3 patas
Altura de torre:	50m
Fabricante:	Nello
Cimentación	
Ingeniero Encargado:	Roy Gdo. Ruiz Vásquez
Desplante de cimiento:	Varía entre 3 y 3.5 m
Geometría de placa:	Cuadrada
Dimensiones de placa:	Varía entre 6m y 8m.
Investigación Geotécnica	
# pruebas realizadas en sitio:	4
Tipo de pruebas en sitio:	SPT y Presiómetro Ménard
Tipo de Pruebas en Laboratorio:	Clasificación de Suelos SUCS, Contenido de Humedad Natural y Determinación del Peso Específico de los materiales.

EXCEL 2007

Corrección de las curvas

En el sitio se realizó una única prueba a 3,5m. Para ello se ejecutó una calibración al aire de la probeta mostrada en la Figura 31 y la calibración en el tubo rígido que se utilizó fue la que presenta la Figura 28.



EXCEL 2007

Figura 31. Curva de calibración por inercia de la probeta para Telecomunicaciones Villa Briceño.
(Autora)

Con las curvas dadas por la calibración de los equipos se corrigen los datos tomados en campo, según los procedimientos explicados en la sección de Metodología del presente trabajo y utilizando las ecuaciones 60 y 61. Una vez corregidos estos datos se aplican los métodos para los cálculos correspondientes ya sea de presión límite, módulo presiométrico, resistencia al corte no drenada, capacidad de soporte, asentamientos.

Módulo presiométrico

El módulo presiométrico se obtiene de la parte elástica de la curva presiométrica, por lo general se acostumbra a que la pendiente de la curva de cada ensayo brinde el módulo del material a evaluar, no obstante la teoría del presiómetro ofrece una fórmula para calcular esta característica de los materiales. El módulo

presiométrico depende del coeficiente de Poisson, que según la teoría es un valor arbitrario de 0,33, V_0 = volumen inicial de la probeta V_m = volumen medio en la parte elástica de la curva y los cambios de volumen y presión en la parte elástica de la curva. Con ello los valores de E_0 para los proyectos en estudio son los presentados en los cuadros 17, 18, 19 y 20:

CUADRO 17. MÓDULO PRESIOMÉTRICO PARA EÓLICO TEJONA (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	$\Delta p/\Delta v$ (kg/cm ²)	V_i (cm ³)	V_0 (cm ³)	V_m (cm ³)	E_0 (kg/cm ²)
PT-1	4,23	Saprolito	3,83E-03	177,28	682,69	449,17	11,54
	7,25		1,04E-02	91,93		355,83	28,79
	11,4		1,43E-02	175,46		438,50	42,65
PT-4	4,5		1,72E-02	321,74		530,83	55,51
PT-5	4,45		3,92E-02	108,88		144,17	86,26
	6,35		2,15E-02	375,89		562,50	71,24
	8,15		1,14E-02	240,56		353,33	31,48

EXCEL 2007

CUADRO 18. MÓDULO PRESIOMÉTRICO PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	$\Delta p/\Delta v$ (kg/cm ²)	V_i (cm ³)	V_0 (cm ³)	V_m (cm ³)	E_0 (kg/cm ²)
P3	3,5	Limo de consistencia media a blanda	2,09E-02	481,58	652,92	549,00	66,67
	5,5		1,03E-02	292,81		366,98	27,96
	7		3,50E-02	248,33		355,98	93,90
	9		9,84E-03	177,49		276,13	24,31

EXCEL 2007

CUADRO 19. MÓDULO PRESIOMÉTRICO PARA PHED (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	$\Delta p/\Delta v$ (kg/cm ²)	V_i (cm ³)	V_0 (cm ³)	V_m (cm ³)	E_0 (kg/cm ²)
T-03-CM	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	1,49E-02	284,18	551,48	366,23	36,38
Camino alternativo	1,3	-	3,36E-03	385,05		530,45	9,68
T-01-CM	2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	2,67E-02	255,90		378,52	66,03
T-04-CM	4,6	Limo-arcilloso plástico	1,41E-02	385,31		480,79	38,60

EXCEL 2007

CUADRO 20. MÓDULO PRESIOMÉTRICO PARA VILLA BRICEÑO (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	$\Delta p/\Delta v$ (kg/cm²)	V_i (cm³)	V₀ (cm³)	V_m (cm³)	E₀ (kg/cm²)
P1	3,50	Limo de alta compresibilidad	5,10E-03	495,88	546,06	568,24	15,13

EXCEL 2007

En la Figura 14 se muestra una distribución de los valores del módulo presiométrico, por lo tanto para esta figura se hizo un bosquejo de la ubicación de los resultados obtenidos para cada prueba de E₀ y el valor de C_{uu}triaxial, mismo que se presenta en la Figura 32.

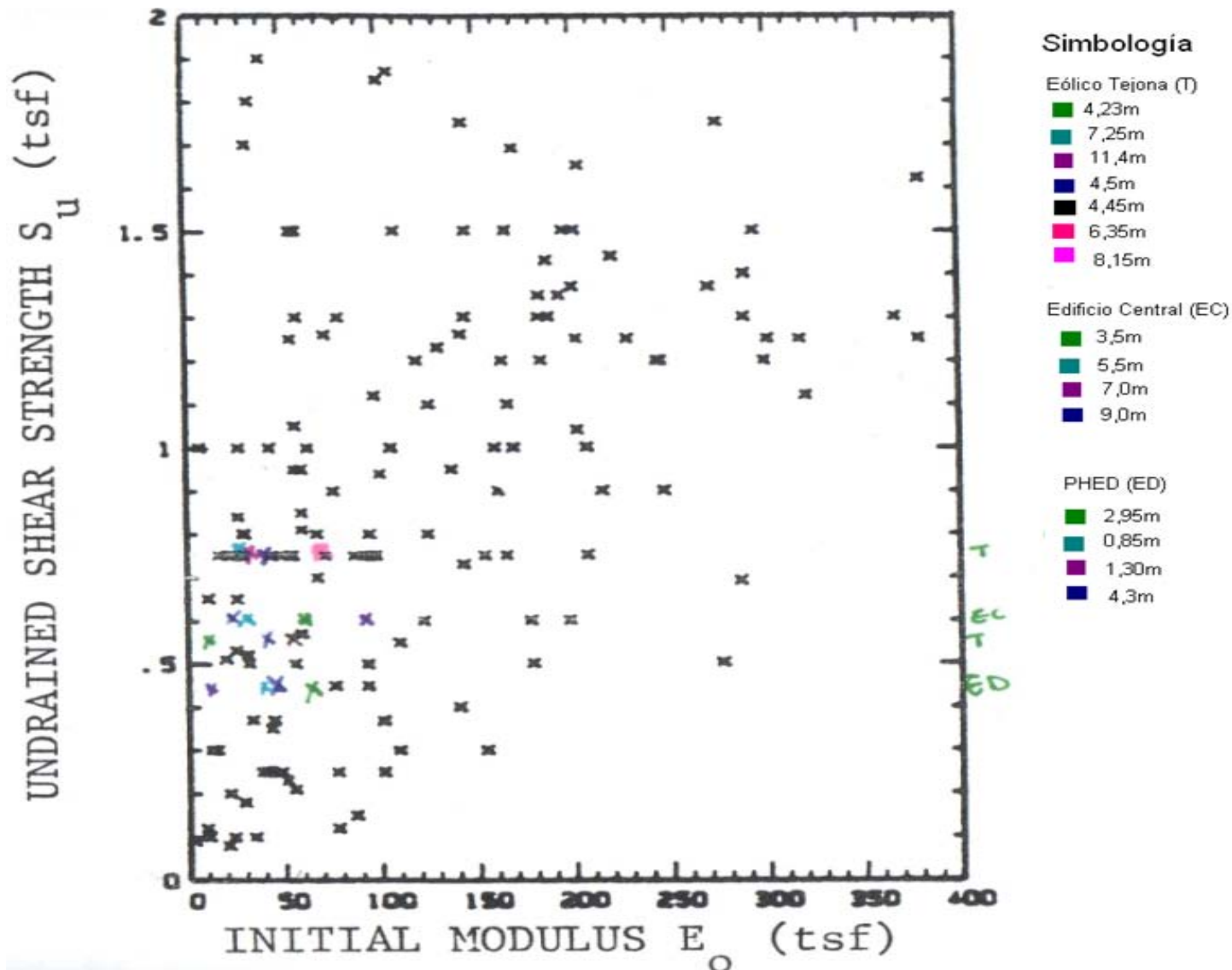


Figura 32. Valores de Módulo para curvas empíricas.

Presión Límite

Como se introdujo en el marco teórico, existen 4 métodos distintos de obtener la presión límite con correlaciones o bien interpretación de curvas.

La presión límite con este método es la presión que sucede cuando $V_i = V_0 + 2V_i$, para cada uno de los proyectos analizados, en los cuadros 21, 22, 23 y 24 se tabulan los resultados de dichas presiones y se les presenta como p_{L1} . En estos cuadros también se tabulan los valores de presión límite 2, la cual indica que la presión límite en un ensayo presiométrico se obtiene cuando $\Delta V/V = 1$ y $V = V_0 + V_i$. Estos resultados de volumen se pueden observar en los cuadros 17, 18, 19 y 20 en el cálculo de módulo, esta presión por su parte se denomina como p_{L2} .

Con el fin de poder observar los valores obtenidos para cada método en cada proyecto, también en estos cuadros se tabulan los resultados de p_{L3} , o bien, presión límite del método gráfico, este método propone que la presión límite se obtiene al graficar a escala semi-logarítmica el volumen corregido contra la presión. Esto para los pares existentes en la fase plástica de la curva presiométrica, la curva resultante tiende a ser una línea recta. Se dice que la presión límite sucede cuando se alcanza el

volumen $2V_0$, por lo tanto generalmente se debe extrapolar para encontrar esta presión.

Finalmente, hay un método denominado como método 4 o el método propuesto por la NF P94-110, esta norma menciona que hay dos formas de calcular la presión límite. Una cuando la cantidad de pares de volumen contra presión en la fase elástica es menor que 2 y se calcula con $p_L = 1,7p_f - 0,7p_0$ y la otra mediante el método de presión límite de Ménard (método 2), que es cuando las lecturas en la fase elástica superan los tres puntos. Para esta fase es importante recordar que según lo analizado existen dos formas de obtener la presión horizontal en reposo, una es como comúnmente se está acostumbrado, es decir, haciendo un producto del desplante, el peso volumétrico y un coeficiente de descanso k_0 (en este caso 0,5), o bien, graficando los valores de la presión contra $\Delta R/R_0$ (ver gráficos en apéndice 1), de esta curva el punto de máxima curvatura sería el valor de la presión horizontal en reposo. Sin embargo, como ambas presiones no presentan gran alteración en cuanto al resultado se ha decidido tabular los resultados según este método de las presiones límites con una sola forma, así que p_0 es la obtenida de manera gráfica.

CUADRO 21. PRESIONES LÍMITES PARA EÓLICO TEJONA (Autora)							
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	p_{L1} (kg/cm²)	p_{L2} (kg/cm²)	p_{L3} (kg/cm²)	p_{L4} (kg/cm²)	p_0 (kg/cm²)
PT-1	Saprolito	4,23	3,73	3,08	4,93	3,43	0,54
		7,25	8,81	7,99	13,30	8,98	1,00
		11,4	12,54	10,36	16,65	12,31	1,47
PT-4		4,5	19,43	13,48	20,16	10,99	1,65
PT-5		4,45	7,67	7,22	9,60	6,04	1,04
		6,35	20,57	14,35	19,42	13,34	1,00
		8,15	10,47	8,77	11,90	7,94	2,77

EXCEL 2007

CUADRO 22. PRESIONES LÍMITES PARA EL EDIFICIO CENTRAL (Autora)							
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	p _{L1} (kg/cm ²)	p _{L2} (kg/cm ²)	p _{L3} (kg/cm ²)	p _{L4} (kg/cm ²)	p ₀ (kg/cm ²)
P3	Limo de consistencia media a blanda	3,5	25,27	14,67	18,44	5,24	0,46
		5,5	7,48	5,56	7,92	3,32	0,71
		7	21,34	16,38	24,46	12,20	0,68
		9	6,07	5,37	7,23	4,56	1,26

EXCEL 2007

CUADRO 23. PRESIONES LÍMITES DEL PHED (Autora)							
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	p _{L1} (kg/cm ²)	p _{L2} (kg/cm ²)	p _{L3} (kg/cm ²)	p _{L4} (kg/cm ²)	p ₀ (kg/cm ²)
T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	7,78	5,77	7,66	4,61	0,45
Camino alterno	-	1,30	2,71	1,85	2,23	1,96	0,29
T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	15,41	11,56	16,01	9,68	1
T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	4,60	12,80	8,28	10,23	5,93	1,37

EXCEL 2007

CUADRO 24. PRESIONES LÍMITES DE VILLA BRICEÑO (Autora)							
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	p _{L1} (kg/cm ²)	p _{L2} (kg/cm ²)	p _{L3} (kg/cm ²)	p _{L4} (kg/cm ²)	p ₀ (kg/cm ²)
P1	Limo de alta compresibilidad	3,5	7,10	3,80	4,13	1,65	0,39

EXCEL 2007

Resistencia al corte no drenada

En el marco teórico se menciona que a partir de pruebas "in situ" con el presiómetro Ménard y la obtención de la presión límite se puede correlacionar los valores de resistencia al corte no drenada. Para tabular dichos valores se toma la presión límite de cada prueba según los métodos anteriormente dados y presentados del cuadro 21 al 24.

Del cuadro 21 al 24, se utiliza una nomenclatura para denominar las presiones límites, esa misma nomenclatura se sigue utilizando del cuadro 25 al 40.

En estos mismos cuadros la Cu₁ hace referencia al cálculo de la resistencia al corte no drenada con el método alusivo a las ecuaciones 48 o 49, mientras que la Cu₂ corresponde al cálculo de la resistencia al corte no drenada con el método que propone el autor Braja Das (1999), en su libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones y expuesta en la ecuación 50, finalmente la Cu₃ muestra la correlación que propone las investigaciones recopiladas en el libro de Briaund (1992) (ecuación 47). En los cuadros 25, 26, 27 y 28 se tabulan los resultados de resistencia al corte no drenada de los 4 proyectos analizados para el método de presión límite 1.

CUADRO 25. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L1} EN EÓLICO TEJONA (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
PT-1	Saprolito	4,23	56,29	36,82	55,29
		7,25	101,61	95,44	105,33
		11,4	133,52	138,40	137,20
PT-4		4,5	199,40	217,98	190,61
PT-5		4,45	90,00	82,24	94,89
		6,35	216,88	231,05	198,89
		8,15	100,51	114,57	119,87

EXCEL 2007

CUADRO 26. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L1} EN EDIFICO CENTRAL (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P3	Limo de consistencia media a blanda	3,5	268,33	286,27	232,13
		5,5	91,36	80,95	93,12
		7	227,57	240,85	204,44
		9	72,15	64,69	79,62

EXCEL 2007

CUADRO 27. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L1} EN PHED (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	166,36	166,31	160,21
Camino alternativo	-	1,30	96,86	78,19	95,91
T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	137,08	136,13	139,36
T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	4,60	43,24	19,79	43,56

EXCEL 2007

CUADRO 28. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L1} EN VILLA BRICEÑO (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P1	Limo de alta compresibilidad	3,5	90,82	77,44	89,60

EXCEL 2007

Nótese que para la mayoría de los casos la resistencia al corte no drenada 1 y 3 son bastante similares, mientras que la 2 tiende a dispersarse un poco. La Cu_2 es una correlación dada por el autor Braja Das (1999), la cual depende del número de penetración estándar según el tipo de suelo; no obstante, para este trabajo se hizo uso

de un promedio propuesto por el autor, el cual es de 8,5.

A continuación en los cuadros 29, 30, 31 y 32 se muestran los resultados de las resistencias al corte no drenadas obtenidas con el método 2 de presión límite.

CUADRO 29. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L2} EN EÓLICO TEJONA (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
PT-1	Saprolito	4,23	45,31	29,32	47,89
		7,25	93,50	85,90	97,83
		11,4	112,19	113,30	118,93
PT-4		4,5	141,03	149,31	144,89
PT-5		4,45	85,57	77,03	90,67
		6,35	155,93	159,34	151,85
		8,15	83,83	94,94	104,94

EXCEL 2007

CUADRO 30. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L2} EN EDIFICIO CENTRAL (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P3	Limo de consistencia media a blanda	3,5	164,39	163,99	154,40
		5,5	72,58	58,86	74,59
		7	178,94	183,65	167,66
		9	65,34	56,69	72,68

EXCEL 2007

CUADRO 31. CAPACIDAD DE SOPORTE NO DRENADA PARA p_{L2} EN PHED (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	128,60	121,88	129,14
Camino alternativo	-	1,30	77,19	55,06	76,69
T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	92,78	84,01	100,53
T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	4,60	27,87	9,84	32,70

EXCEL 2007

CUADRO 32. CAPACIDAD DE SOPORTE NO DRENADA PARA p_{L2} EN VILLA BRICEÑO (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P1	Limo de alta compresibilidad	3,5	58,45	39,35	56,06

EXCEL 2007

La disminución en los rangos de los valores de C_u son notables en esta clasificación, esto porque la presión límite calculada con la segunda metodología tiende a disminuir, pues el valor de volumen límite es menor.

Los cuadros 33, 34, 35 y 36 son elaborados con la presión límite calculada por el método 3, en ellos se muestran los valores de resistencia al corte no drenada para dicha presión límite.

Los valores de resistencia al corte no drenada presentados en los cuadros 33, 34, 35 y 36 sufren un incremento algo abrupto para los valores que generalmente se consideran razonables para limos, los cuales varían según el cuadro 2. Por ello, una consideración prudente sería descartar los valores de resistencia al corte no drenada calculados con el método 3 de presión límite, suponiendo que sobreestiman los valores reales.

CUADRO 33. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L3} EN EÓLICO TEJONA (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
PT-1	Saprolito	4,23	68,10	50,70	68,18
		7,25	145,62	147,21	143,43
		11,4	173,85	185,85	169,73
PT-4		4,5	206,51	226,35	195,93
PT-5		4,45	108,91	104,48	112,28
		6,35	205,68	217,87	190,54
		8,15	114,49	131,01	131,91

EXCEL 2007

CUADRO 34. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L3} EN EDIFICIO CENTRAL (Autora)

Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P3	Limo de consistencia media a blanda	3,5	201,37	207,49	183,29
		5,5	95,68	86,03	97,20
		7	258,16	276,85	226,48
		9	83,57	78,13	90,82

EXCEL 2007

CUADRO 35. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L2} EN PHED (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	128,60	121,88	129,14
Camino alternativo	-	1,30	77,19	55,06	76,69
T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	92,78	84,01	100,53
T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	4,60	27,87	9,84	32,70

EXCEL 2007

CUADRO 36. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L3} EN VILLA BRICEÑO (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P1	Limo de alta compresibilidad	3,5	61,72	43,20	59,71

EXCEL 2007

Finalmente en los cuadros 37, 38, 39 y 40 se muestran los valores de C_u para la presión límite

calculada con el método 4, misma que en general fue bastante baja con respecto a las demás.

CUADRO 37. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L4} EN EÓLICO TEJONA (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
PT-1	Saprolito	4,23	51,45	33,29	51,86
		7,25	103,27	97,38	106,84
		11,4	131,27	135,75	135,31
PT-4		4,5	116,55	120,51	124,26
PT-5		4,45	74,08	63,51	79,39
		6,35	145,99	147,65	143,73
		8,15	75,69	85,36	97,40

EXCEL 2007

CUADRO 38. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L4} EN EDIFICIO CENTRAL (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P3	Limo de consistencia media a blanda	3,5	71,87	55,14	71,32
		5,5	46,47	32,95	50,61
		7	137,93	135,39	134,39
		9	57,36	47,30	64,27

EXCEL 2007

CUADRO 39. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L3} EN PHED (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	172,22	173,20	164,84
Camino alternativo	-	1,30	95,69	76,82	94,81
T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	111,88	106,49	117,80
T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	4,60	34,51	14,14	37,52

EXCEL 2007

CUADRO 40. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA p_{L4} EN VILLA BRICEÑO (Autora)					
Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu_1 (kPa)	Cu_2 (kPa)	Cu_3 (kPa)
P1	Limo de alta compresibilidad	3,5	22,47	14,54	29,98

EXCEL 2007

Es conveniente comparar los resultados según las metodologías propuestas a partir de ensayos con el presiómetro entre sí, no obstante, es mucho mejor compararlo con otros métodos de estudios geotécnicos, en este caso, cada uno de estos proyectos se les comparó con los demás estudios que se realizaron en los distintos sitios.

Para el caso de Tejona se realizaron ensayos triaxiales UU y CU, además de SPT, no obstante no se correlacionó con los valores de triaxiales CU, ya que estos son consolidados-no drenados y las correlaciones existentes para el presiómetro son no consolidadas-no drenadas, por lo cual una comparación entre ambos no resultaría conveniente.

En este mismo proyecto, en el informe se presenta un resumen de los resultados obtenidos para estos ensayos de laboratorio de triaxiales UU, para los cuales se obtuvieron los valores tabulados en el cuadro 41.

En el cuadro 41 se tabulan los valores de resistencia al corte no drenada calculados con el método 1 (Cu_1). A manera demostrativa se hizo uso de los resultados de ensayos "Standard Penetration Test", y con una correlación de "N" para obtener la resistencia al corte no drenada se calculó este valor $C_u = 29N_{60}^{0,72}$ (Das, 1999). El valor de N_{60} para estos casos fue castigado por un martillo de seguridad, mecanizado y sin liner, esto porque no se especificaba más acerca de

estos ensayos. No obstante, los cálculos alusivos a estos ensayos se ubican en el anexo 2 y las tablas de golpes tomados en campo en el apéndice 2 del presente trabajo. El valor de C_{uSPT} se obtuvo para las capas según el ensayo de SPT que comprendían la profundidad de PMT.

Para el proyecto de la Ampliación del Edificio Central de ICE, de la perforación P3 se extrajo 1 muestra a la cual se le aplicó pruebas triaxiales UU, estas muestras caracterizan el suelo ubicado entre los 7,95m y 9,35m de profundidad, para los ensayos realizados en el año 2002, que fue cuando se realizaron los estudios geotécnicos para realizar esta nueva propuesta.

En el cuadro 42 aparecen los resultados del SPT, PMT y triaxial UU realizados para el proyecto de la Ampliación del Edificio Central del ICE.

Evidentemente al ser valores de ensayos absolutamente diferentes va a resultar valores con diferencias marcadas, por ello lo más aceptable sería realizar una correlación entre ellos para de manera gráfica poder observar las dispersiones existentes.

Para PHED se tomaron muestras en T-01-CM, sin embargo los resultados de la prueba aún no se conocen. Por lo tanto, lo más aceptable es relacionar las PMT con M03CM

donde ya se tiene los resultados de resistencia al corte UU de las muestras. Esta exploración se encuentra ubicada cerca de T-04-CM, correspondiente a la prueba de 4,6m de profundidad, en (520319, 325467) coordenadas Lambert. Los círculos de Mohr de esta prueba (ver apéndice 3) evidencian la similitud en valores de dos muestras, mientras que en una tercera su radio es mayor al de las demás, por consiguiente se optó por utilizar el valor de C_u de mayor radio.

Con respecto a los ensayos de SPT, durante el transcurso de estudio se han hecho 6 pruebas, de ellas tres están cercanas a sitio Casa Máquinas y las otras cercanas al trayecto en Finca Camaronal de Tubería Forzada. Por lo tanto, para relacionar las pruebas del PMT se hizo con SPT1CM (520453,325276) y SPT2CM (520520,325306), los resultados de resistencia al corte no drenada para los SPT se muestran en el cuadro 43, también opara esto se puede observar el anexo 2, donde se tabulan los resultados de C_{uSPT} para cada prueba.

Para los proyectos de telecomunicaciones no se ha tenido la oportunidad de realizar pruebas de resistencia al corte en laboratorio, ni similares, pero si se han efectuado pruebas de SPT. En sitio Villa Briceño se realizaron 2, los resultados correspondientes se tabulan en el cuadro 44.

CUADRO 41. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA EÓLICO TEJONA (Autora)

Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	C_{uu} (kPa)	C_{uPMT1} (kPa)	C_{uPMT2} (kPa)	C_{uPMT3} (kPa)	C_{uPMT4} (kPa)	C_{uSPT} (kPa)
PT-1	4,23	Saprolito	-	56,29	45,31	68,10	51,45	24,94
	7,25		-	101,61	93,50	145,62	103,27	86,96
	11,40		-	133,52	112,19	173,85	131,27	117,43
PT-4	4,50		-	199,40	141,03	206,51	116,55	85,31
PT-5	3,30-4,30		66,50	-	-	-	-	-
	4,45		-	90,00	85,57	108,91	74,08	55,34
	6,35		-	216,88	155,93	205,68	145,99	53,66
	8,15		-	100,51	83,83	114,49	75,69	65,08

EXCEL 2007

CUADRO 42. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)									
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	C _{uu} (kPa)	C _{uPMT1} (kPa)	C _{uPMT2} (kPa)	C _{uPMT3} (kPa)	C _{uPMT4} (kPa)	C _{uSPT1} (kPa)	C _{uSPT2} (kPa)
P3	3,50	Limo de consistencia media a blanda	-	268,33	164,39	201,37	71,87	78,61	142,61
	5,50		-	91,36	72,58	95,68	46,47	76,74	108,14
	7,00		-	227,57	178,94	258,16	137,93	83,48	81,89
	7,95-9,35		58	-	-	-	-	-	-
	9,00		-	72,15	65,34	83,57	57,36	80,50	106,30

EXCEL 2007

CUADRO 43. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA PHED (Autora)									
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	C _{uu} (kPa)	C _{uPMT1} (kPa)	C _{uPMT2} (kPa)	C _{uPMT3} (kPa)	C _{uPMT4} (kPa)	C _{uSPT} (kPa)	
M03CM	0,75	-	68,65	-	-	-	-	-	-
T-03-CM	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	-	96,86	77,19	95,69	65,80	260,74	
Camino alternativo	1,30	-	-	43,24	27,87	34,51	29,75	114,60	
T-01-CM	2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	-	166,36	128,60	172,22	110,11	209,33	
T-04-CM	4,60	Limo-arcilloso plástico	-	137,08	92,78	111,88	69,72	-	

EXCEL 2007

CUADRO 44. RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA PARA VILLA BRICEÑO (Autora)									
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	C _{uPMT1} (kPa)	C _{uPMT2} (kPa)	C _{uPMT3} (kPa)	C _{uPMT4} (kPa)	C _{uSPT1} (kPa)	C _{uSPT2} (kPa)	
P1	3,50	Limo de alta compresibilidad	90,82	58,45	61,72	22,47	42,60	34,25	

EXCEL 2007

Es importante presentar los resultados en cuadro resumen, el cual reúne los resultados de resistencia al corte no drenada obtenida a partir de las ecuaciones 48 o 49 (según corresponda), las obtenidas a partir de los círculos de Mohr de ensayos UU con la máquina triaxial y los resultados de SPT. El cuadro 45 muestra esta tabla resumen, cabe destacar que en este cuadro sólo se tabulan los ensayos con el presiómetro obtenidos con el método 1 de resistencia la corte no drenada y el método 2 de presión límite. Esto

con el fin de conocer la dispersión que hay entre cada tipo de ensayo (PMT, SPT y Triaxial UU). En el caso del proyecto Eólico Tejona se utilizan los resultados de PT-5, en el Edificio Central los realizados a los 9m de profundidad y para el PHED los ejecutados en la trinchera 4.

En el cuadro 46 aparecen los resultados de resistencia al corte no drenada de los ensayos de SPT para cada prueba con PMT, los resultados de SPT sería un promedio (en caso de que existan dos valores de SPT).

CUADRO 45. RESUMEN DE RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA DE UU Y PMT (Autora)

Proyecto	Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	C _{uu} (kPa)	Cu _{PMT2} (kPa)
Eólico Tejona	PT-5	Saprolito	3,30-4,30	66,50	-
			4,45	-	85,57
			6,35	-	155,93
			8,15	-	83,83
Edificio Central	P3	Limo de consistencia media a blanda	7,95-9,35	58	-
			9,00	-	65,34
PHED	M03CM	Limo-arcilloso plástico	0,75	68,65	-
	T-04-CM		4,60	-	92,78

EXCEL 2007

CUADRO 46. RESUMEN DE RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADA DE PMT Y SPT (Autora)

Proyecto	Perforación	Tipo de suelo	Profundidad (m)	Cu _{PMT2} (kPa)	Cu _{SPT} (kPa)
Eólico Tejona	PT-1	Saprolito	4,23	45,31	41,29
			7,25	93,50	61,09
			11,40	112,19	82,50
	PT-4		4,50	141,03	59,93
	PT-5		4,45	85,57	38,87
			6,35	155,93	37,70
			8,15	83,83	45,72
Edificio Central	P3	Limo de consistencia media a blanda	3,50	164,39	73,07
			5,50	72,58	75,90
			7,00	178,94	72,75
			9,00	65,34	62,24
PHED	T-03-CM	Limo-arcilloso poco plástico	0,85	77,19	193,87
	Camino alternativo	-	1,30	27,87	97,28
	T-01-CM	Limo arcilloso, plasticidad media	2,95	128,60	155,65
Villa Briceño	P1	Limo de alta compresibilidad	3,50	58,45	26,64

EXCEL 2007

En la Figura 33 se tiene un gráfico de dispersión correspondiente a la figura 14, la cual propone una curva de mejor ajuste, misma que también se

utilizó para obtener resultados y que es Cu₂. En esta figura se marcó la resistencia al corte no

drenada según el método de la triaxial UU versus la presión límite 2 obtenida para cada ensayo.

Por su parte la Figura 34, muestra los resultados obtenidos a lo largo de esta sección y agrupados en el cuadro 45. Esta Figura se utiliza para observar el comportamiento de la resistencia al corte no drenada correspondiente a la máquina triaxial (ensayo UU) y al PMT según la presión límite 2.

Además, la Figura 35 grafica los valores obtenidos mediante la ecuación 48 o 49 para la presión límite 2 y los valores de resistencia al corte no drenada con los ensayos de SPT, los valores que se utilizan para formar esta figura son del cuadro 46.

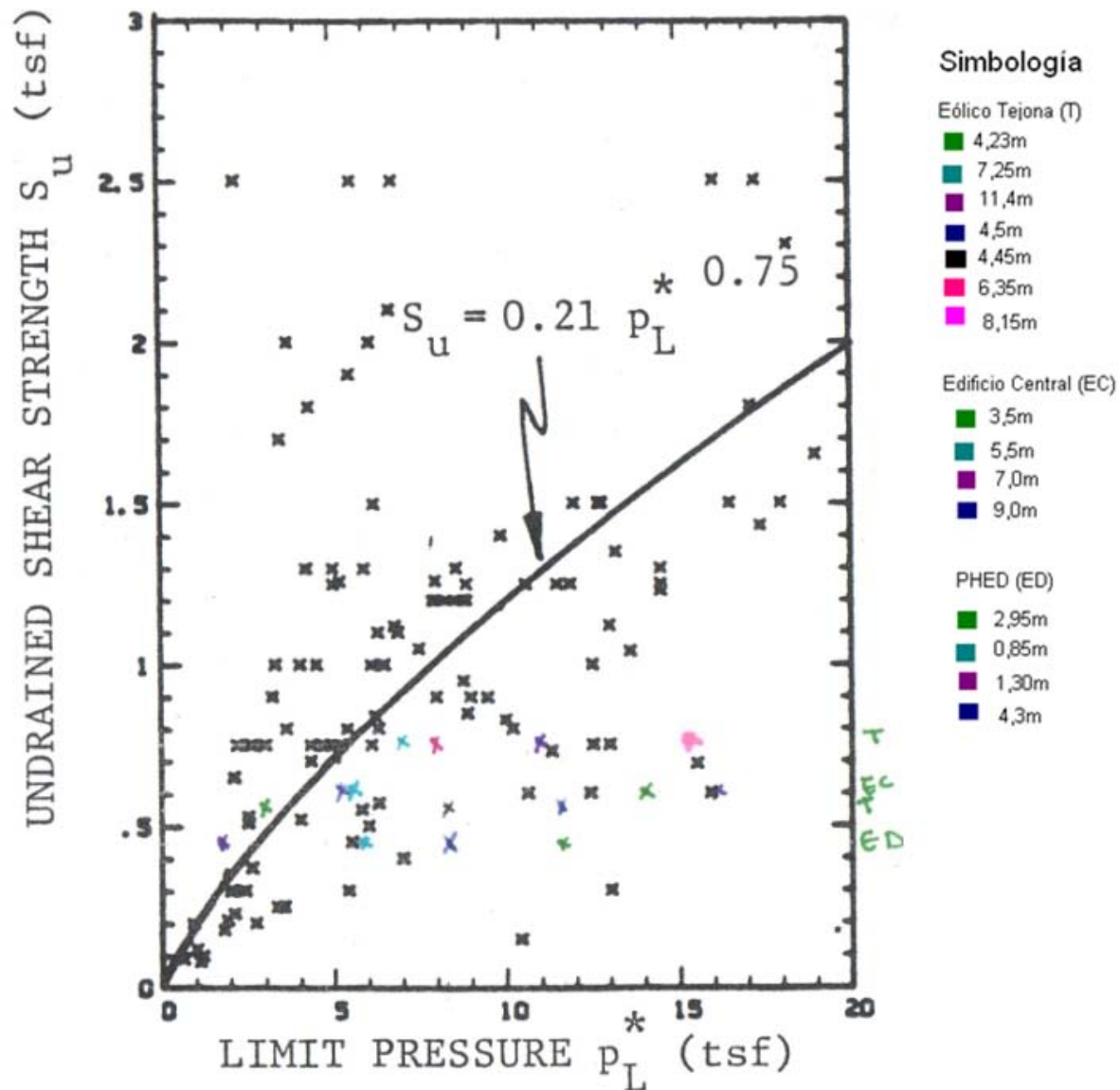


Figura 33. Valores de resistencia al corte no drenada a partir de p_L

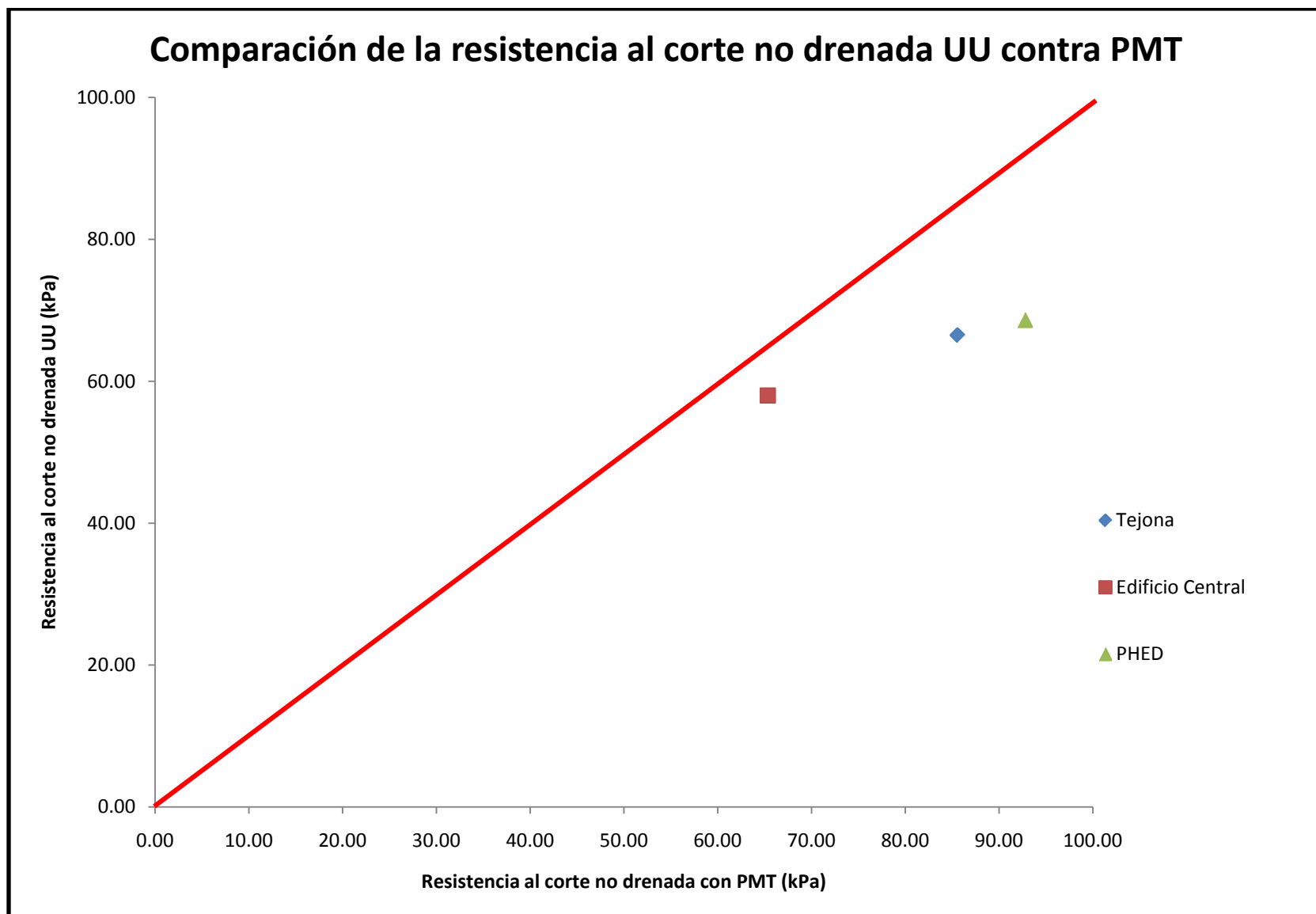
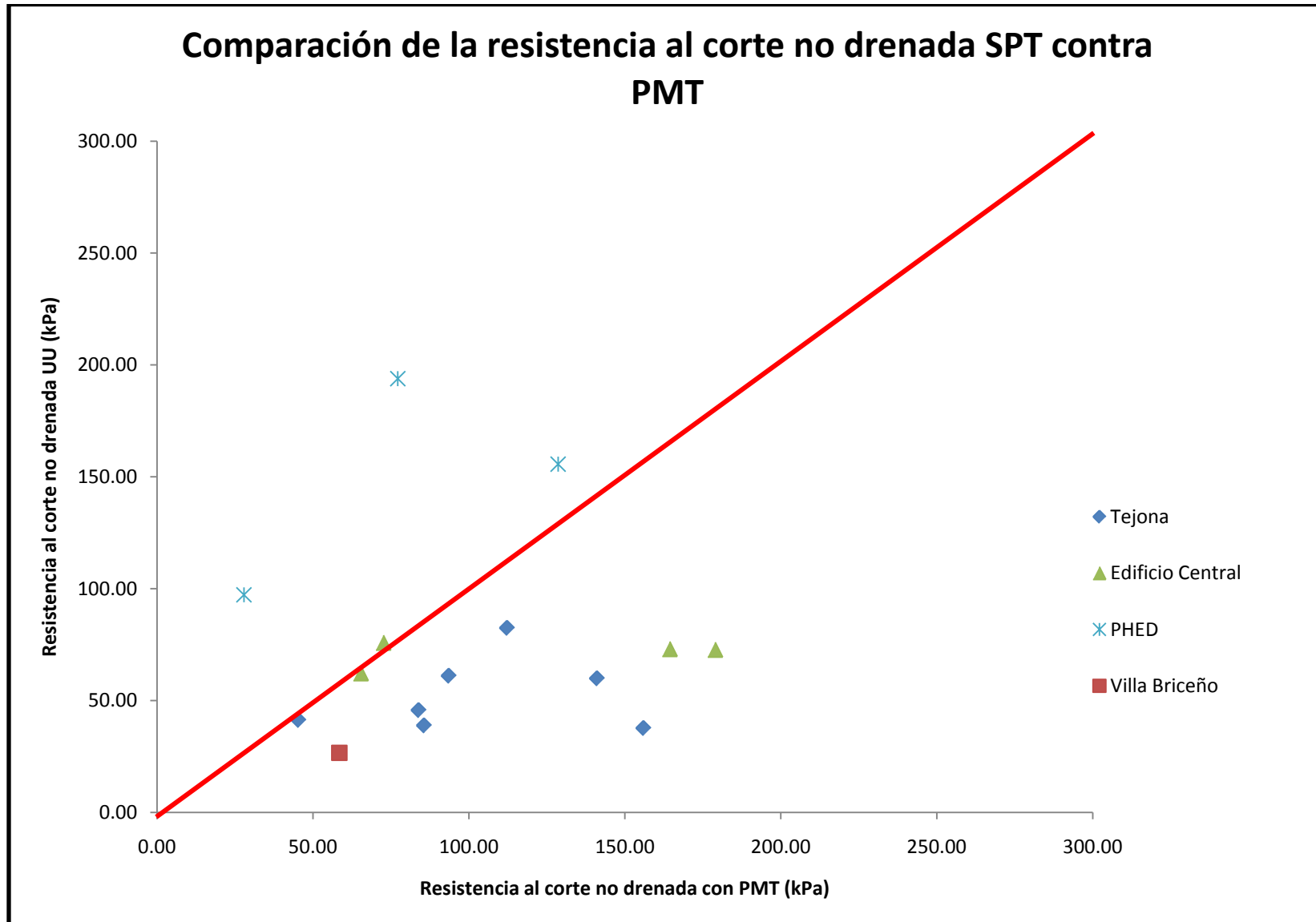


Figura 34. Resistencia al corte no drenada entre triaxiales UU y el PMT para p_{L2} . (Autora)

EXCEL 2007.



EXCEL 2007.

Figura 35. Resistencia al corte no drenada entre SPT y el PMT para p_{L2} . (Autora).

Capacidad de soporte

La ecuación 13 de este trabajo plantea obtener la capacidad de soporte última una vez realizado el ensayo de PMT. Del cuadro 47 al 50 aparecen los resultados de las capacidades de soporte últimas que se obtienen mediante esta ecuación.

Como se ha venido trabajando con cada valor de presión límite se considera importante mostrar los valores para cada una de ellas, por ello se utiliza q_{PMT1} para la capacidad de soporte obtenida con el método 1 de presión límite, q_{PMT2} para la capacidad de soporte obtenida con el método 2 de presión límite, q_{PMT3} para la capacidad de soporte obtenida con el método 3 de presión límite y q_{PMT4} para la capacidad de soporte obtenida con el método 4 de presión límite.

Este parámetro ayudará a discernir entre la escogencia de que método de cálculo de presión límite puede resultar más conveniente y menos sobreestimado, es decir, probar que en los métodos y pruebas del presiómetro es posible confiar y tener percepción de parámetros importantes en el diseño de cimientos sin subdiseñar o sobrediseñar.

En todos estos cálculos de capacidad soportante última se calcula un valor, a pesar de que había dos formas de calcular el p_0 , es decir, obtenido de la gráfica y explicación dada en el marco teórico con respecto a este tema. En el apéndice 1 aparecen las curvas de presión versus $\Delta R/R_0$ obtenidas en cada ensayo. Y la otra forma era con $p_0 = k_0 \gamma D_f$; no obstante, estos valores están muy cercanos por ello se considera despreciable el método que se utiliza para el cálculo de p_0 , sin embargo en el anexo 4 aparecen los resultados de capacidad de soporte última con este otro método.

Es importante recordar que para el caso de Tejona se propuso un único tipo de dimensionamiento de placas (8,50m x 8,50m), mientras que en el caso del Edificio Central se propuso 2, una placa de 2,80m x 2,80m para las placas de la colindancia para una carga de aproximadamente 120ton y para el resto de las placas dimensiones de 4,60m x 4,60m para una carga de 320ton. En Eólico Tejona se propone que el desplante sea de 2,00m, mientras que en la Ampliación del Edificio Central es de 3,00m.

Estos valores ayudarían a encontrar el valor de "k" de la ecuación 13; no obstante, como se evalúa lo que es la capacidad de soporte última, es decir, sumándole la sobrecarga, se propone que lo mejor es utilizar la profundidad a la cual se realizó el ensayo con el presiómetro y no el desplante propuesto para cada placa; por tanto, no se obtiene la capacidad de soporte última al desplante, sino la capacidad de soporte última a la profundidad del ensayo.

En el caso de PHED también hay distintos valores de "k", esto porque como es un proyecto en fase de diseño, aún no hay diseños propuestos para la cimentación de Casa de Máquinas, lo único que se sabe con certeza es que en la capa donde se realizaron los ensayos con el presiómetro no se cimentará, ya que el contratista llegó a esta conclusión dados los resultados hasta el momento de los estudios geotécnicos realizados en el sitio. También con esto se decidió para efectos didácticos y académicos suponer que el desplante será a la profundidad de cada ensayo y que las dimensiones de las placas son de 2,00m x 2,00m y 3,00m x 3,00m, es decir, no se consideró que en dicho sitio se cimentará una Casa de Máquinas, pues estas dimensiones no cumplen en lo mínimo con las cargas que aporta este tipo de estructuras. En el cuadro 49 es posible observar el valor de "k" obtenido en cada situación y con ellos los resultados de capacidad de soporte última.

**CUADRO 47. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA DEL PMT PARA EÓLICO TEJONA
(Autora)**

Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	k	q _{PMT1} (kg/cm ²)	q _{PMT2} (kg/cm ²)	q _{PMT3} (kg/cm ²)	q _{PMT4} (kg/cm ²)
PT-1	4,23	Saprolito	1,1	4,19	3,47	5,51	3,85
	7,25		1,45	12,49	11,29	18,99	12,73
	11,40		1,6	19,53	16,05	26,11	19,16
PT-4	4,50		1,3	23,84	16,10	24,78	12,86
PT-5	4,45		1,30	9,33	8,74	11,83	7,22
	6,35		1,40	28,41	19,71	26,81	18,29
	8,15		1,50	12,85	10,30	14,99	9,06

EXCEL 2007

CUADRO 48. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA DEL PMT PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)

Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	k	q _{PMT1} (kg/cm ²)	q _{PMT2} (kg/cm ²)	q _{PMT3} (kg/cm ²)	q _{PMT4} (kg/cm ²)
P3	2,8x2,8	3,5	Limo de consistencia media a blanda	1,60	40,29	23,34	29,37	8,24
		5,5		1,80	13,12	9,67	13,91	5,63
		7		1,90	40,44	31,02	46,36	23,07
		9		1,90	10,66	9,35	12,88	7,80
	4,6x4,6	3,5		1,40	35,33	20,49	25,77	7,29
		5,5		1,60	11,76	8,70	12,47	5,10
		7		1,70	36,31	27,88	41,61	20,77
		9		1,75	9,94	8,73	11,98	7,31

EXCEL 2007

CUADRO 49. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA DEL PMT PARA PHED (Autora)								
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	k	q _{PMT1} (kg/cm ²)	q _{PMT2} (kg/cm ²)	q _{PMT3} (kg/cm ²)	q _{PMT4} (kg/cm ²)
T-03-CM	2,0x2,0	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	1,20	8,94	6,53	8,80	5,14
Camino alternativo		1,30	-	1,40	3,62	2,41	2,93	2,56
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	1,70	25,01	18,46	26,03	15,26
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	1,90	22,50	13,92	17,62	9,45
T-03-CM	3,0x3,0	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	1,15	8,57	6,27	8,44	4,93
Camino alternativo		1,30	-	1,20	3,13	2,10	2,55	2,23
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	1,50	22,13	16,35	23,02	13,52
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	1,70	20,22	12,54	15,85	8,54

EXCEL 2007

CUADRO 50. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA DEL PMT PARA VILLA BRICEÑO (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	k	q _{PMT1} (kg/cm ²)	q _{PMT2} (kg/cm ²)	q _{PMT3} (kg/cm ²)	q _{PMT4} (kg/cm ²)
P1	3,5	Limo de alta compresibilidad	1,30	15,03	10,73	11,17	7,94

EXCEL 2007

A manera comparativa se cree necesario mostrar los resultados obtenidos de capacidad de soporte última para las resistencias al corte no drenadas obtenidas por el método del PMT y además por los ensayos triaxiales UU y SPT. Por ello, en el cuadro 51 se tabulan los resultados obtenidos. Cabe destacar que este cuadro no es una comparación, ya que la triaxial al ser un ensayo de laboratorio conlleva diferentes cuidados que con los ensayos "in situ" no generan gran

importancia, como el caso de las vibraciones en los alrededores.

La metodología para realizar los cálculos presentados en este cuadro se hizo mediante la ecuación de Vésic (Tapia, 2005), la que toma en cuenta corrección por profundidad, forma del cimientto e inclinación de cargas, por ello se considera que $q = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \gamma d N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi}$.

Donde:

$$N_c = 5,14$$

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

$$F_{cs} = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B}$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90} \right)^2$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D_f}{B}$$

Para el caso de Tejona se realizaron tres pruebas de SPT, mismas que se ubican en el apéndice 2. Sin embargo los valores de resistencia al corte no drenada que se utilizaron para los cálculos fueron los tabulados en el cuadro 41, es decir, los valores de Cu obtenidos a cada profundidad del ensayo de PMT.

Con respecto al proyecto de la Ampliación del Edificio Central del ICE, también se generaron cálculos de las capacidades de soporte última obtenidos con la fórmula de Vésic y estos se ubican en el cuadro 52. En el anteproyecto de la Ampliación del Edificio Central también se toman los valores de la resistencia al corte no drenada del SPT que más se acercan al PMT, de igual forma sucedió con el Proyecto Hidroeléctrico El Diquis, se utilizaron todas las resistencias cortante no drenadas obtenidas con el presiómetro y tabuladas en el cuadros 43. Así, el cuadro que representa estos valores es el cuadro 53.

Para Villa Briceño se optó por tomar la segunda capa como referencia de la resistencia cortante no drenada con SPT, ya que la profundidad a la que se elaboró la prueba presiométrica está dentro de estos rangos de medida. El cuadro correspondiente a estos cálculos es el cuadro 54.

CUADRO 51. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA SEGÚN VÉSIC PARA EÓLICO TEJONA (Autora)

Perforación	Profundidad (m)	q _{Vésic} (kg/cm ²)	q _{Vésic-PMT1} (kg/cm ²)	q _{Vésic-PMT2} (kg/cm ²)	q _{Vésic-PMT3} (kg/cm ²)	q _{Vésic-PMT4} (kg/cm ²)	q _{Vésic-SPT} (kg/cm ²)
PT-1	4,23	-	4,53	3,78	5,34	4,20	2,38
	7,25	-	8,12	7,56	11,14	8,23	7,12
	11,40	-	10,97	9,51	13,73	10,81	9,87
PT-4	4,50	-	14,38	10,38	14,87	8,70	6,56
PT-5	4,45	5,27	6,88	6,58	8,17	5,78	4,50
	6,35	5,57	15,87	11,70	15,10	11,02	4,69
	8,15	5,86	8,19	7,05	9,14	6,49	5,76

EXCEL 2007

CUADRO 52. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA SEGÚN VÉSIC PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)								
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	$q_{Vésic}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT1}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT2}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT3}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT4}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-SPT}$ (kg/cm ²)
P3	2,8x2,8	3,5	-	22,90	14,26	17,33	6,57	9,79
		5,5	-	8,53	6,97	8,89	4,80	10,05
		7	-	20,11	16,07	22,66	12,65	8,06
		9	6,35	7,53	6,96	8,48	6,30	9,54
	4,6x4,6	3,5	-	21,78	13,57	16,49	6,27	9,33
		5,5	-	8,15	6,66	8,49	4,60	8,24
		7	-	19,16	15,32	21,57	12,07	7,72
		9	6,11	7,23	6,69	8,13	6,06	8,90

EXCEL 2007

CUADRO 53. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA SEGÚN VÉSIC PARA PHED (Autora)								
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	$q_{Vésic}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT1}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT2}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT3}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT4}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-SPT}$ (kg/cm ²)
T-03-CM	2,0x2,0	0,85	-	3,99	2,65	3,23	2,81	22,84
Camino alternativo		1,30	-	12,72	8,86	10,53	6,86	10,20
T-01-CM		2,95	-	8,58	6,86	8,48	5,87	18,73
T-04-CM		4,60	6,76	14,98	11,69	15,49	10,09	-
T-03-CM	3,0x3,0	0,85	-	4,00	2,65	3,23	2,82	22,89
Camino alternativo		1,30	-	12,75	8,88	10,55	6,87	10,22
T-01-CM		2,95	-	8,60	6,88	8,50	5,89	18,77
T-04-CM		4,60	6,78	15,02	11,72	15,53	10,11	-

EXCEL 2007

CUADRO 54. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA SEGÚN VÉSIC PARA VILLA BRICEÑO (Autora)							
Perforación	Profundidad (m)	$q_{Vésic}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT1}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT2}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT3}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-PMT4}$ (kg/cm ²)	$q_{Vésic-SPT}$ (kg/cm ²)
P1	3,5	-	7,38	4,97	5,21	2,30	3,49

EXCEL 2007

Como se vio en el apartado de Resistencia al corte no drenada, para cada presión límite se ha encontrado un valor de C_u y además existen tres formas diferentes de calcularlo; no obstante, si se tabulan los resultados de capacidad soportante para cada valor de resistencia no drenada, el cuadro se vuelve cargado, además los valores de C_u no son tan dispersos entre si, por ello se considera innecesario presentar estos cálculos.

En conclusión, para los valores de $q_{última}$ tabulados se utilizó el primer valor de C_u (ver ecuaciones 48 y 49) del cuadro 25 al 46.

En el cuadro 55 se tabula un resumen de los resultados de capacidad de soporte última para cada uno de los proyectos, esta tabla resumen se hace con la misma idea que el cuadro 45, lo que se busca con ellos es conocer qué tan dispersos son los valores obtenidos con

el método 2 de presión límite del PMT con respecto a la ecuación de capacidad de carga propuesta por Vésic, nótese que sólo se evalúa los resultados de p_{L2} , esto porque es el método

escogido para realizar los cálculos de los cuadros resumen, por razones que se explicaran en el análisis de resultados.

CUADRO 55. RESUMEN DE LAS CAPACIDADES DE SOPORTE ÚLTIMAS SEGÚN PMT Y VÉSIC (Autora)							
Proyecto	Perforación	Tipo de suelo	Placa (m)	Profundidad (m)	$q_{Vésic}$ (kg/cm²)	q_{PMT2} (kg/cm²)	$q_{Vésic-PMT2}$ (kg/cm²)
EÓLICO TEJONA	PT-5	Saprolito	8,5x8,5	4,45	5,27	8,74	6,58
				6,35	5,57	19,71	11,70
				8,15	5,86	10,30	7,05
EDIFICIO CENTRAL	P3	Limo de consistencia media a blanda	2,8x2,8	9,00	6,35	9,35	6,96
EDIFICIO CENTRAL	P3		4,6x4,6	9,00	6,11	8,73	6,69
PHED	T-04-CM	Limo-arcilloso plástico	2,0x2,0	4,60	6,76	13,92	11,69
			3,0x3,0	4,60	6,78	12,54	11,72

EXCEL 2007

En el caso de la resistencia cortante no drenada para los SPT se prosiguió así: E. Tejona se utilizaron los valores de SPT3, en E. Central se hizo uso de ambas pruebas de SPT y se realizó un promedio de sus resultados, en PHED se utilizó SPT1 y SPT2, según las coordenadas de las pruebas de PMT y SPT y en Villa Briceño ambos, un promedio de sus resultados. En el cuadro 56 se tabula el valor de capacidad de soporte última según Vésic para cada valor de resistencia al corte no drenada de SPT.

CUADRO 56. CAPACIDAD DE SOPORTE ÚLTIMA SEGÚN VÉSIC PARA SPT Y PMT (Autora)						
Proyecto	Perforación	Tipo de suelo	Placa (m)	Profundidad (m)	q_{PMT2} (k/cm ²)	$q_{Vésic-SPT}$ (k/cm ²)
Eólico Tejona	PT-1	Saprolito	8,5x8,5	4,23	3,47	3,51
				7,25	11,29	5,35
				11,40	16,05	7,47
	PT-4			4,50	16,10	4,82
	PT-5			4,45	8,74	3,37
				6,35	19,71	3,60
				8,15	10,30	4,43
Edificio Central		P3	Limo de consistencia media a blanda	2,8x2,8	3,50	23,34
	5,50				9,67	7,19
	7,00				31,02	6,44
	9,00				9,35	6,23
	4,6x4,6			3,50	20,49	5,29
				5,50	8,70	5,52
				7,00	27,88	6,18
PHED	T-03-CM	Limo-arcilloso plástico	2,0x2,0	0,85	6,53	17,02
	Camino alternativo			1,30	2,41	8,69
	T-01-CM			2,95	18,46	14,05
	T-03-CM		2,0x2,1	0,85	6,27	17,06
	Camino alternativo			1,30	2,10	8,71
	T-01-CM			2,95	16,35	14,08
Villa Briceño	P1	Limo de alta compresibilidad	6,0x6,0	3,50	10,73	3,03

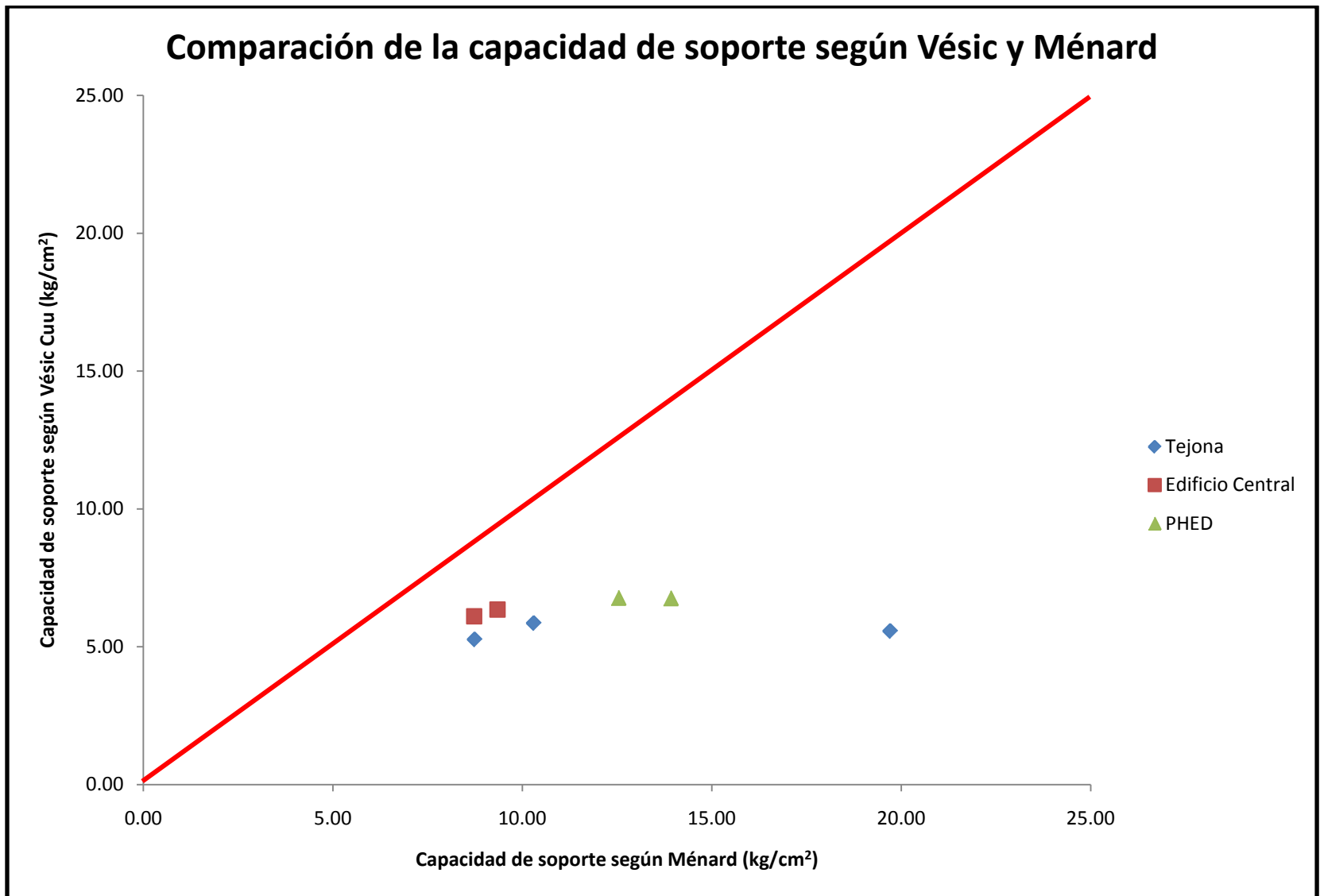
EXCEL 2007

Asimismo, en las Figuras 36 y 37, de modo representativo, se presentan los resultados del cuadro 55 en gráfico para observar las dispersiones y tratar de correlacionar ambos métodos (Ménard y Vésic).

Nótese que en ninguna de las Figuras (36 y 37) aparece los resultados de Villa Briceño, ya que a este proyecto sólo se le han realizado ensayos "in situ" y lo que se ha buscado con estas figuras es correlacionar los resultados de laboratorio con el PMT.

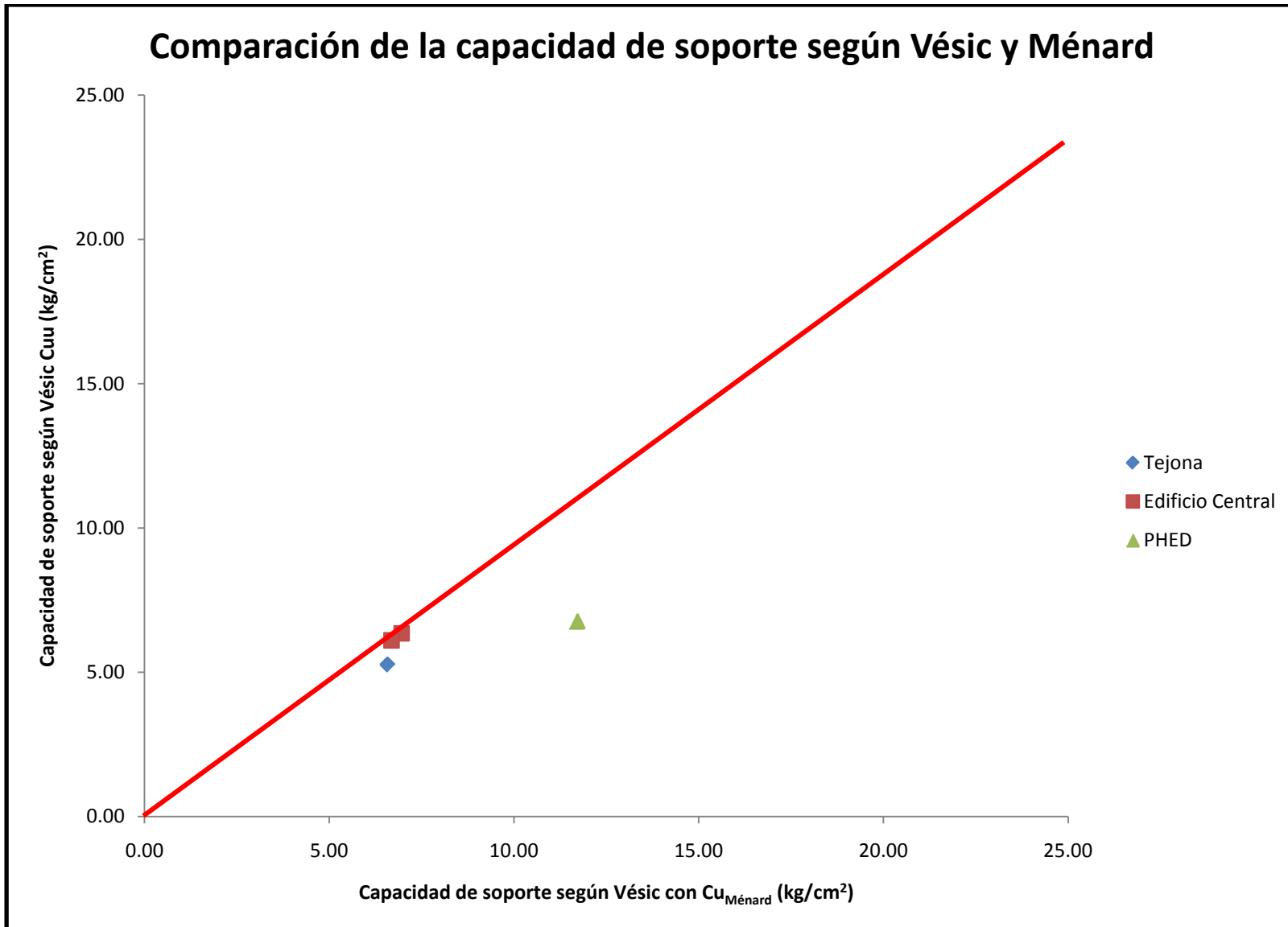
Mientras que en la Figura 38 si aparecen los resultados del proyecto de Villa Briceño, esto

porque esta figura grafica los resultados promedio de los cálculos de capacidad de soporte última según el método de Vésic para Cu_{SPT} versus la capacidad de soporte última según el método de PMT (ecuación 13).



EXCEL 2007

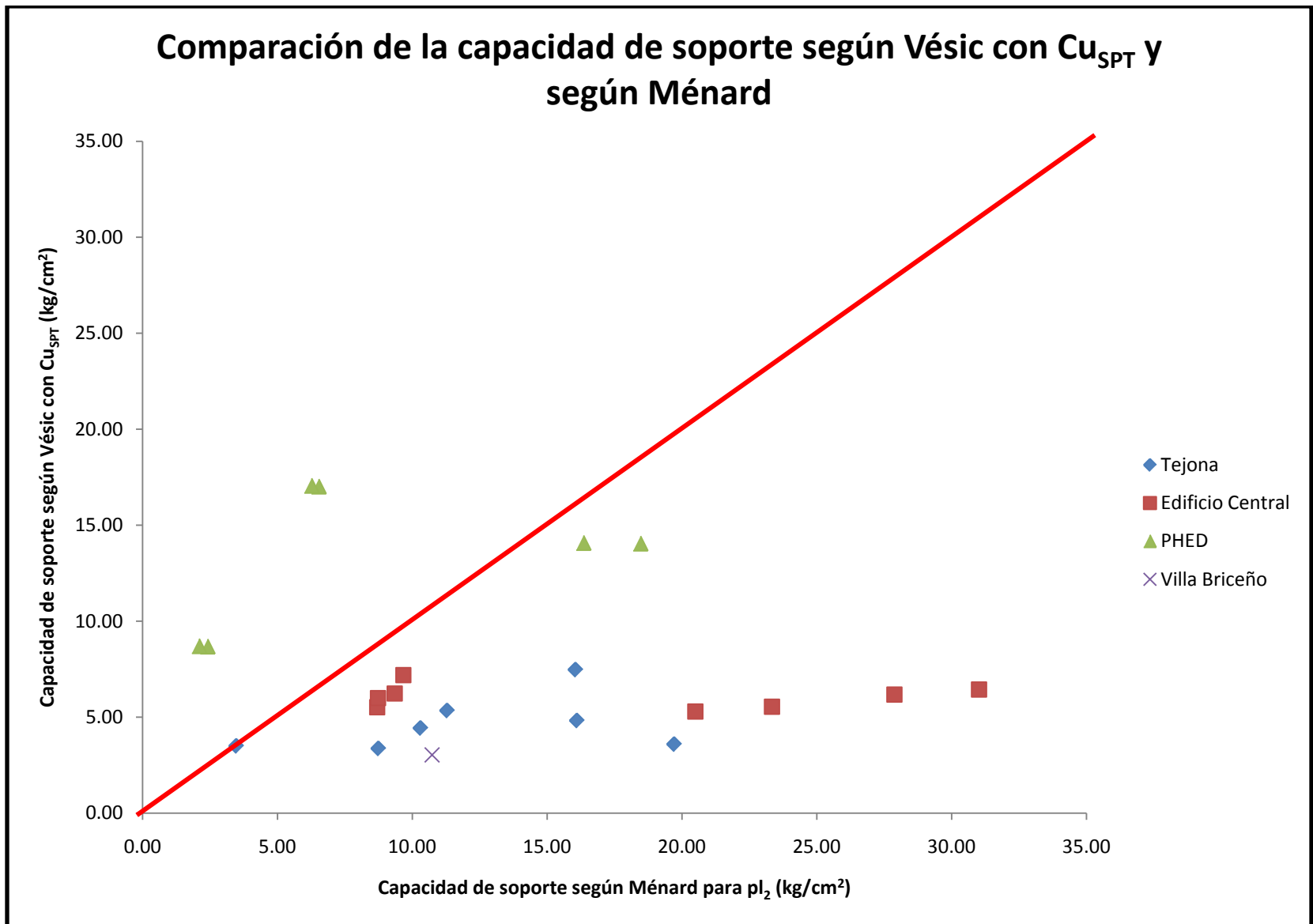
Figura 36. Comparación de la capacidad de soporte entre Vésic y Ménard para p_{L2} . (Autora)



EXCEL 2007

Figura 37. Capacidad de soporte según Vésic para $Cu_{Ménard}$ y $Cu_{Triaxial}$ para p_{L2} . (Autora)

PROYECTO DE GRADUACIÓN



EXCEL 2007

Figura 38. Capacidad de soporte según Vésic para Cu_{SPT} y $Cu_{Ménard}$ para p_{L2} . (Autora)

Asentamientos

En cuanto a los asentamientos, la teoría del PMT también propone sus propios cálculos, los cuales dependen de algunos parámetros (ver apartado en Marco Teórico). Si bien lo menciona este apartado, para el cálculo de asentamientos son necesarios 3 factores, los cuales dependen de la sección transversal del cimientado y de los valores obtenidos entre módulo y presión límite. Para los cuatro proyectos analizados, los valores obtenidos de estos factores son: $\alpha = 1/2$, $\lambda_2 = 1,12$ y $\lambda_3 = 1,10$, tomados de los cuadros 6 y 7 respectivamente.

En el caso de Tejona se supone que el suelo posee varias capas, por ello es que en el cuadro 80, se tabula un valor de E_B y se aplica la ecuación 32, esto relacionado con los asentamientos dados por el PMT. Además como el desplante es menor que $2R$ es necesario incrementar los asentamientos en un 10%. Cabe mencionar que para este cálculo se utilizó un incremento de presión igual a $0,88 \text{ kg/cm}^2$ (Avilés, 2001). Para el caso de los asentamientos por métodos convencionales los elásticos se calculan para dos valores de módulo, uno de 60 kg/cm^2 y otro de 110 kg/cm^2 y los asentamientos por consolidación fueron tomados del informe presentado (Avilés, 2001).

CUADRO 57. ASENTAMIENTOS SEGÚN MÉNARD PARA EÓLICO TEJONA (Autora)						
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_A (kg/cm ²)	E_B (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	s (cm)
PT-1	4,23	Saprolito	11,54	21,20	0,88	6,78
	7,25		28,79			4,17
	11,40		42,65			3,60
PT-4	4,50		55,51	55,51		1,83
PT-5	4,45		86,26	53,45		1,54
	6,35		71,24			1,67
	8,15		31,48			2,56

EXCEL 2007

CUADRO 58. ASENTAMIENTOS MÉNARD, ELÁSTICOS Y POR CONSOLIDACIÓN PARA EÓLICO TEJONA (Autora)						
Profundidad (m)	S_{PMT} (cm)	Tipo de suelo	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)	$s_{elásticos}$ (cm)	s_x consolidación (cm)	s_{total} (cm)
4,23	6,78	Saprolito	60,00	4,70	3,10	7,80
4,50	1,83					
4,45	1,54					
6,35	1,67		110,00	2,60	3,60	6,20
7,25	4,17					
8,15	2,56					
11,40	3,60					

EXCEL 2007

Para la Ampliación del Edificio Central del ICE, se supone que hay un único tipo de suelo, por tal motivo es que el cuadro 59 presenta sólo los valores de E_A , es decir, utilizando la ecuación 28. El incremento de esfuerzos que se utiliza es de

$1,5 \text{ kg/cm}^2$ (Avilés, 2004). En este caso los asentamientos elásticos son calculados para un módulo de 60 kg/cm^2 y los asentamientos por consolidación primaria se extrajeron del informe geotécnico presentado (Avilés, 2004).

CUADRO 59. ASENTAMIENTOS SEGÚN MÉNARD PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)

Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_A (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	s (cm)
P3	2,8x2,8	3,5	Limo de consistencia media a blanda	66,67	1,50	1,18
		5,5		27,96		2,80
		7		93,90		0,83
		9		24,31		3,22
	4,6x4,6	3,5		66,67		1,66
		5,5		27,96		3,96
		7		93,90		1,18
		9		24,31		4,55

EXCEL 2007

CUADRO 60. ASENTAMIENTOS MÉNARD, ELÁSTICOS Y POR CONSOLIDACIÓN PARA EDIFICIO CENTRAL (Autora)

Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	SPMT (cm)	Tipo de suelo	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)	$S_{elásticos}$ (cm)	S_x consolidación (cm)	$S_{totales}$ (cm)
P3	2,8x2,8	3,5	1,07	Limo de consistencia media a blanda	60,00	5,41	1,80	7,21
		5,5	2,55				0,40	5,81
		7	0,76				-	5,41
		9	2,93				-	5,41
	4,6x4,6	3,5	1,51			8,78	2,40	11,18
		5,5	3,60				0,30	9,08
		7	1,07				0,10	8,88
		9	4,14				-	8,78

EXCEL 2007

En PHED los asentamientos del cuadro 61 se calculan para diferentes incrementos de presión, estos incrementos vienen dados por la capacidad de soporte admisible obtenida con el PMT y tabuladas en el cuadro 49 para la presión límite 2, utilizando un FS=3, esto porque no hay cargas ni diseños reales en este caso.

Para El Diquis se supone que se trabaja sobre un mismo perfil geotécnico según a las descripciones geológicas del suelo y también como $h < 2R$ se incrementan los valores de asentamientos en un 10%.

En este proyecto sólo se calculan los asentamientos elásticos, los cuales son tabulados en el cuadro 62. Estos se calculan con el módulo que se obtuvo de la curva Esfuerzo Desviador versus % Deformación, tomando la muestra A de las muestras de MO3CM. Además, es importante mencionar que el índice de compresibilidad,

utilizado para calcular el coeficiente de deformación volumétrica se desconoce para el sitio, es decir, la prueba de consolidación no se ha realizado para esta capa, sino para la subyacente, por ello se aprueba la ausencia de los asentamientos por consolidación primaria en este proyecto.

CUADRO 61. ASENTAMIENTOS SEGÚN MÉNARD PARA PHED (Autora)						
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_A (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	s (cm)
T-03-CM	2,0x2,0	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	36,38	2,16	1,99
Camino alternativo		1,30	-	9,68	2,16	4,30
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	66,03	2,16	4,77
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	38,60	2,16	6,08
T-03-CM	3,0x3,0	0,85	Limo-arcillosos poco plástico	36,38	2,16	2,45
Camino alternativo		1,30	-	9,68	2,16	3,07
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	66,03	2,16	3,47
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	38,60	2,16	4,49

EXCEL 2007

CUADRO 62. ASENTAMIENTOS SEGÚN MÉNARD Y ELÁSTICOS PARA PHED (Autora)						
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	Tipo de suelo	S_{PMT} (cm)	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)	$S_{elásticos}$ (cm)
T-03-CM	2,0x2,0	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	3,91	40,00	0,80
Camino alternativo		1,30	-	13,69		0,29
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	3,17		2,25
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	1,64		1,70
T-03-CM	3,0x3,0	0,85	Limo-arcillosos poco plástico	4,80		1,14
Camino alternativo		1,30	-	9,67		0,38
T-01-CM		2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	2,30		2,99
T-04-CM		4,60	Limo-arcilloso plástico	1,23		2,29

EXCEL 2007

Para Villa Briceño se tiene una carga normal al cimiento de 6045daN≈ (6164 kg) dada por el fabricante. Con ella para un cimiento de 6,00m de ancho se obtiene un incremento de presión de 0,08kg/cm², para el cual el valor de asentamiento incrementado en un 10% es de 0,44 cm.

Debido a que los módulos del presiómetro son relativamente pequeños, mediante la ecuación 7 presentada en el marco

teórico se relacionan mediante E_0/α para observar si con esta ecuación tienden a tomar cierta similitud con respecto al módulo de Young, por lo tanto, en los cuadros 63, 64 y 65 se muestra la conversión del módulo del presiométrico dividido por el coeficiente $\alpha=1/2$ y tomado del cuadro 6 del presente informe.

CUADRO 63. RELACIÓN DE MÓDULOS PARA EÓLICO TEJONA (Autora)					
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_0 (kg/cm ²)	E_0/α (kg/cm ²)	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)
PT-1	4,23	Saprolito	11,54	23,08	60,00
	7,25		28,79	57,58	110,00
	11,40		42,65	85,30	110,00
PT-4	4,50		55,51	111,02	60,00
PT-5	4,45		86,26	172,52	60,00
	6,35		71,24	142,48	110,00
	8,15		31,48	62,97	110,00

EXCEL 2007

CUADRO 64. RELACIÓN DE MÓDULO PARA EDIFICO CENTRAL (Autora)					
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_0 (kg/cm ²)	E_0/α (kg/cm ²)	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)
P3	3,5	Limo de consistencia media a blanda	66,67	133,34	60,00
	5,5		27,96	55,92	
	7		93,90	187,80	
	9		24,31	48,63	

EXCEL 2007

CUADRO 65. RELACIÓN DE MÓDULO PARA PHED (Autora)					
Perforación	Profundidad (m)	Tipo de suelo	E_0 (kg/cm ²)	E_0/α (kg/cm ²)	$E_{teórico}$ (kg/cm ²)
Perforación	0,85	Limo-arcilloso poco plástico	36,38	72,77	40,00
T-03-CM	1,30	-	9,68	19,36	
Camino alterno	2,95	Limo arcilloso, plasticidad media	66,03	132,05	
T-01-CM	4,60	Limo-arcilloso plástico	38,60	77,21	

EXCEL 2007

Análisis de Resultados

Del funcionamiento y operación del equipo

Con las calibraciones de la probeta y el equipo, realizadas al inicio de la práctica se corroboró que era necesario cambiar las membranas de las probetas que se probaron (58mm y 70mm de diámetro nominal); ya que cuando se les inyectó presión y agua ambas membranas estallaron. Esto fue debido a que el equipo se tenía en abandono, por ello con el paso del tiempo las membranas fueron perdiendo su resistencia a inflarse y en el momento de ponerla en actividad no aguantaron la inyección de gas y agua. Además hubo que ajustar ciertas válvulas, en especial la válvula 7 pues no marcaba con exactitud el valor de presión requerido, esta válvula es muy importante en este presiómetro porque es la que mantiene la presión diferencial. Cuando la profundidad del ensayo es menor a los 11,00m, la presión diferencial se obtiene ajustando la válvula 7; por lo tanto, si esta se encuentra en mal estado no es posible obtener dicha presión con exactitud. Es necesario recalcar que la presión diferencial se debe obtener para poder extraer la probeta del agujero y además para garantizar que la presión en la celda central es mayor que la presión en las celdas de guarda, lo cual evita daños a la membrana. Se hizo una revisión de este regulador de presión para asegurarse que ninguna pieza se encontrara quebrada ni seca. Una vez verificado esto se volvió a colocar en su posición original y se realizó un ajuste de la pieza, resultando un mejor funcionamiento, lastimosamente no de manera óptima pero si presentó mejor comportamiento.

Durante los ensayos de calibración del equipo se pudo constatar que el mismo se encontraba libre de fisuras, esto porque al inyectar agua o gas se corroboró que no se detectaran fugas en el sistema, tanto en el tubo

coaxial como en la membrana y demás tuberías ubicadas en la parte de trasera de la unidad de control. Además se realizó la saturación de la probeta y las tuberías según las indicaciones del manual del equipo, es decir, corroborando que el agua fluyera libremente por las salidas del tubo coaxial hasta esperar la ausencia de burbujas. Lo que se busca con esto es evitar las burbujas de aire que hay dentro del tubo para no llenar la probeta con gas que no es contabilizado y por ende tener resultados de presión mayores, lo cual afectaría el valor de presión límite.

De los ensayos de campo descartados

Las primeras pruebas fueron realizadas en la Finca Camaronal en la perforación PHED-47-CM. Como se pudo observar en los resultados se decidió descartar esta prueba. La razón principal es que las curvas obtenidas del presiómetro no mostraron tendencia o similitud en cuanto a la curva característica, es decir, la fase inicial y elástica no se formaban. Lo mismo sucedió con la prueba realizada en Sangregado, Arenal. Cabe destacar que para las pruebas del presiómetro, una buena lectura e interpretación de las curvas es lo que dará correctos resultados del ensayo. Esto debido a que cada parte de la curva muestra un parámetro en específico, tales como módulo presiométrico, presión final elástica o presión límite.

En el caso de El Diquis posiblemente los resultados no fueron favorables debido al método de perforación utilizado, en este sitio se utilizó perforación por rotación con lodos. El uso de lodos es para facilitar el proceso de perforación; no obstante, los lodos ensanchan las partículas de suelo y las saturan, por ello las cavidades de la perforación se vuelven susceptibles, lo que provoca que no ejercen fuerzas contrarias mientras se realiza el ensayo, es decir, si las

partículas del suelo se encuentran saturadas hay mayor facilidad para ensanchar el agujero y peligra el principio de que el suelo no llegue a la falla. Bajo esta situación es importante recordar que aunque no se llegue a la falla del suelo, el ensayo debe detenerse cuando se ha llegado al límite de centímetros cúbicos de inyección (700cc). Por lo tanto una buena escogencia en cuanto al método y equipo de perforación juega un papel preponderante en los ensayos presiométricos.

En el caso de la prueba que se ejecutó en Arenal se considera que el suelo predominante en el sitio fue el que provocó que las curvas resultantes no presentaran una correcta definición de las partes principales. En Sangregado el suelo encontrado fue un limo arenoso bastante suelto. Se notó que mientras se efectuaba la perforación las paredes del agujero no se mantenían estables y se caían cierta cantidad de partículas. Este es un principio similar al anterior, ya que si las partículas no se sostienen, al inyectar presiones, ya sea de agua o gas no se va a generar el comportamiento deseado, esto porque al ensanchar el diámetro de la probeta el suelo circundante va a ser permisible ante la aplicación de presiones, es decir, no va a generar la presión contraria de respuesta del suelo. Por consiguiente las lecturas tomadas no serán absolutamente reales. Esto se pudo corroborar una vez que se graficaron las curvas correspondientes, ya que las mismas no asimilan la curva característica presiométrica.

De los ensayos realizados y analizados

Para el resto de ensayos realizados en campo, (las 4 pruebas realizadas en las trincheras de la finca Camaronal de PHED y la prueba de Villa Briceño) las curvas presiométricas obtenidas fueron bastante certeras. En todos estos casos se optó por utilizar el Auger Manual para llegar hasta una profundidad cercana a la que se desea hacer el PMT. Se dice que cercana porque para llegar a la profundidad deseada se propone seguir perforando con un tubo Shelby, esto para que el agujero no se vea maltratado por la acción del Auger y no se altere el medio. Con el tubo Shelby se perfora una longitud de al menos 70cm, de manera que la probeta quede

completamente introducida en el agujero y con ello asegurarse que la probeta y más aún, la parte inflable de ella se encuentre cubierta y el ensayo se ejecute de manera debida.

Con los ensayos realizados en las trincheras de El Diquis y Villa Briceño se descubrió que para suelos limo-arcillosos los mejores métodos de perforación son el Auger Manual y el tubo de pared delgada, esto se evidencia con las curvas presiométricas. Pero también puede ser fundamentando bajo las proposiciones que expone la norma y que es posible observar en la figura 19. Esta tabla indica que para suelos limosos y donde no se ha alcanzado el nivel freático el método como primera opción es el Auger manual y la segunda opción es el tubo de pared delgada, aunque también una opción es la perforación por rotación con descarga de fondo. Así que para los sitios anteriormente ensayados, ya sea El Diquis, la Ampliación del Edificio Central y Villa Briceño, los tres métodos de perforación son recomendados. No obstante, es importante reconocer que en un suelo con presencia de bloques el Auger Manual y el tubo de pared delgada no vendrían a ser los métodos más óptimos, ya que estos obstruyen el paso de la pala posteadora y limitan la profundidad a la que se desea realizar la prueba.

En el informe geotécnico del análisis del terreno para el proyecto Eólico Tejona se especificó que el método de perforación utilizado fue rotación-percusión. Pero según la Figura 19 este método para el suelo predominante en el lugar no es recomendable. Esto se puede observar en los cuadros 45, 46 y 51, donde se puede ver que con respecto a la resistencia al corte no drenada y a la capacidad de soporte del suelo, el PMT brinda valores más altos que los obtenidos con los otros dos ensayos (UU y SPT). En relación con esta situación, sería conveniente que mientras se estudien los resultados del PMT se analicen también otros medios, otras técnicas, como es el caso de guiarse con la descripciones de campo de la Figura 20, o bien, con los valores teóricos del cuadro 2, y así respaldar con criterio y poder descartar aquellos valores que por diferentes motivos, no cumplen con ser característicos para cada tipo de suelo. Dentro de estos motivos se mencionan lo que es el método de perforación utilizado, los métodos para calcular la presión límite, las condiciones del equipo, ya sea membranas, reservorio, válvulas, entre otros.

En la metodología en las figuras 17 y 18 se muestra la forma que toman las curvas presiométricas cuando el agujero en que se trabaja es muy pequeño o muy grande. Con estas curvas características y con las reales (obtenidas en los ensayos realizados y estudiados) que se encuentran en el apéndice 1 de este trabajo, se hace una comparación de ambos comportamientos. En el caso de las pruebas de Tejona y de la ampliación del Edificio Central ICE, se puede decir que el diámetro del agujero es muy grande con respecto al requerido, ya que se observa que en los inicios de la curva presiométrica hay una pérdida de volumen que no se considera como característico del PMT. En la metodología también hay unas relaciones para comprobar que el diámetro del agujero es el correcto, esto se puede verificar en el caso de los ensayos realizados en PHED y Villa Briceño. En estos casos se utilizó un tubo Shelby de diámetro interno de 71mm y de diámetro externo de 73mm y una probeta de diámetro real igual a 70mm, por lo tanto con las relaciones de las ecuaciones 62 y 63 se cumple que los diámetros utilizados para estas perforaciones son los correctos. En este caso, si se hace un respaldo con respecto a la curva presiométrica, se observa que el agujero aunque esté dentro de los valores teóricos recomendables tiende a ser pequeño, esto porque al inicio de la curva hay una pérdida de presión, misma que luego afectará los resultados del módulo presiométrico; no obstante esta pérdida de presión también se debe a la sustracción de la presión de inercia, la cual depende de la presión atmosférica y de la resistencia de la membrana a inflarse.

Todo ensayo con el presiómetro se respalda básicamente con la curva de volumen versus presión, por ello, es importante mencionar que para obtener una curva presiométrica bien definida son necesarias al menos 10 lecturas, situación que no cumplen todos los ensayos, principalmente los de Tejona. No obstante esto puede no ser tan perjudicial, ya que gráficamente se puede observar que la curva real toma cierta similitud a la curva característica. Claro, el tener más puntos para generar una curva es beneficioso para quien le toca interpretar resultados, ya que puede facilitarse este trabajo y ayudarse un poco más de manera gráfica y no tanto teórica como se ha tratado en este informe. Debido a que las curvas obtenidas no presentan valores definidos de presión límite.

Para los ensayos presiométricos, alcanzar el valor real de presión límite de un suelo beneficia absolutamente todos los resultados, puesto que este parámetro es el más importante para los cálculos de PMT, es decir, se utiliza la presión límite obtenida para calcular la capacidad soportante de un suelo, para la resistencia al corte no drenada y hasta para obtener la presión de fluencia de un suelo, es decir, si se tiene la p_L se puede obtener la p_F y si se conoce con exactitud la presión de fluencia de un suelo, se conoce el final de la fase pseudo-elástica de la curva presiométrica. Con esta presión y la p_0 se obtienen los valores de módulo presiométrico, por lo cual la definición de la presión de fluencia presenta un parámetro importante para el valor del E_0 .

Fundamentándose en los valores teóricos tabulados en el cuadro 2, se puede rescatar que en su mayoría los valores del módulo presiométrico obtenidos para todos los proyectos se encuentran cercanos o dentro del rango teórico esperado, es decir, entre 2000-10000 kPa para limos, en este rango debe exceptuarse los valores obtenidos para la prueba realizada a 4,23m de profundidad en el proyecto Eólico Tejona, el ensayo a 1,30m del PHED y la prueba de Villa Briceño, ya que sus resultados se encuentran bajo este rango teórico. A pesar que este es un amplio rango, la variación de valores también se puede ver en los cuadros 17, 18, 19 y 20, nótese que para un mismo proyecto estos valores son relativamente diferentes. Esto se debe principalmente al diámetro del agujero, esto porque el valor del módulo se obtiene en la fase elástica de la curva presiométrica, parte que se empieza a medir una vez que la probeta choca contra las paredes de la perforación, por lo tanto si el diámetro del agujero es muy pequeño con respecto a los rangos dados el valor del módulo comenzaría prácticamente desde el valor de cero presión, y la probeta no tiene ese espacio de 0 a P_0 (indicado en la Figura 6) para acomodarse en la cavidad y comenzar su trabajo. Además que si el diámetro del agujero es muy pequeño con relación al diámetro de la probeta, el suelo va a tender a fallar casi al instante de comenzar a inyectar presión y agua a la probeta, por ello buscaría la tendencia asintótica de la presión límite. Aunque también el valor de módulo se puede ver afectado por la manipulación de la probeta a inicios de la prueba, es decir, si el agujero de la perforación se ve afectado por la

manipulación de la probeta, las paredes tienden dañarse y se ven afectadas las condiciones del suelo en el instante. Aspecto que se trata de prevenir, por tratarse de una prueba "in situ".

Una vez realizados los cálculos del módulo, se hizo uso de la figura 32 (figura tomada de Briaund, 1992). Nótese que, al graficar los resultados obtenidos para cada módulo contra la resistencia cortante no drenada de laboratorio, los datos obtenidos para los proyectos en análisis, calzan de manera óptima dentro de la nube de puntos que propone el autor. Esto se hizo con el fin de conocer y verificar que los resultados obtenidos calzaban dentro de resultados ya estudiados. No obstante, esta nube de puntos presenta dispersiones muy amplias, por lo tanto la Figura 32 no da parámetros autosuficientes.

En la Figura 20 aparecen los valores de p_L^* , que en suelos saturados es lo mismo que $p_L - u_0$. Al clasificar los resultados obtenidos, en general se considera que se pueden clasificar en tres diferentes categorías, desde firmes hasta muy rígidos, ya que los valores de presión límite varían entre los 150 y 1600 kPa. Según estas clasificaciones y las descripciones de campo dadas en la Figura 20 se puede catalogar como suelos de difícil penetración y a veces hasta difícil de romper. Esto sucede en casi todas las presiones límites obtenidas, es decir, en las presiones límites calculadas con los métodos 1, 2, 3 y 4 y tabuladas desde el cuadro 21 hasta el 24. Sin embargo, en cada caso hay dispersión de los datos y algunos casos hasta clasifican el suelo como un suelo cohesivo duro. Estas descripciones de campo pueden ayudar como guía para poder clasificar un tipo de suelo en el campo, es decir, es ideal clasificar el suelo según estas condiciones, pero verificar su clasificación una vez que se tengan los resultados del presiómetro y también una vez que se tenga la clasificación de suelo de laboratorio, clasificación SUCS, por lo general.

Como se observó en la sección de resultados se realizó los cálculos respectivos de presión límite según los cuatro métodos explicados en el marco teórico. Además se obtuvo la resistencia cortante no drenada para los cuatro métodos de presión límite, así como la capacidad de soporte, dados todos estos resultados y revisando cada técnica utilizada se puede concluir que la presión límite que más se acerca a los resultados reales, o más bien, a los

resultados que se consideran correctos es el cálculo correspondiente a la presión límite 2, denominada como presión límite de Ménard, se concluye esto por varias razones:

- El método 1 y 2 son recomendados por Ménard.
- En su mayoría se encuentran dentro de los rangos teóricos tabulados en el cuadro 2 de presión límite.
- Al analizar cada valor de resistencia al corte no drenada que se obtuvo mediante una prueba de laboratorio triaxial UU con la prueba de PMT, realizada a una profundidad o distancia relativamente cercana entre ellas, se corrobora que el dato de resistencia al corte no drenada brinda los valores más cercanos.
- Lo mismo sucede al analizar la capacidad de soporte, ya que al obtener este parámetro con métodos del PMT y correlacionarlos con los métodos según Vésic se encuentra cierta similitud entre los resultados de presión límite 2, con respecto a triaxiales UU.

La presión límite 2, se da cuando el volumen en la probeta es igual al incremento de volumen en el ensayo, en palabras simples, este volumen es alcanzado sumando el volumen de la probeta desinflada V_0 más el volumen inyectado para que las paredes de la capa metálica entre en contacto con las paredes del agujero durante la prueba V_i .

El volumen límite varía según las condiciones del suelo, tipo, humedad, granulometría entre otros, por ello para cada prueba es un valor único. Además, cabe mencionar que este volumen límite puede no ser alcanzado durante la ejecución de la prueba, por lo que se propone extrapolar los resultados hasta encontrar el valor deseado e intersecarlo con el eje de las abscisas para obtener la presión límite.

Con los ensayos realizados durante los últimos meses se pudo observar que el volumen límite no fue alcanzado en ninguna de las pruebas de campo realizadas. Se presume que esto es porque la presión aplicada y el volumen total inyectado a la probeta no son suficientes para hacer fallar el suelo, dando como resultado que la curva presiométrica no muestra los valores de presión límite. En este caso sería conveniente que antes de realizar un PMT para obtener resultados para un diseño, es preferible realizar una prueba en el sitio y obtener la presión límite

con esa prueba, una vez obtenida esta presión se puede dividir por 10, este resultado sería el valor de cada incremento de presión que se debe realizar en el ensayo real. Es decir, si se tiene conocimiento de un valor acercado de presión límite y se hacen los incrementos respectivos de la misma, el volumen en el presiómetro podría conservarse y tener una pérdida gradual, lo que ayudaría a obtener valores más cercanos a la realidad y además curvas bien definidas. Esta idea de conservar el volumen se considera necesario mencionar, ya que el máximo volumen inyectado a la probeta ronda entre 600cc y 700cc y se debe aprovechar este volumen sin desperdiciarlo en incrementos de presión poco útiles. Si bien es cierto, hay una capacidad de inyección hasta los 800cc, pero según la teoría llegar hasta el límite puede causarle daños a la membrana. Por lo tanto, en todos los ensayos realizados se prefiere llegar hasta los 700cc, nótese que por esta restricción, el volumen es el factor dominante en los ensayos presiométricos, ya que el presiómetro propiedad de la UEG tiene capacidad para presiones de hasta 2500kPa, y en los ensayos realizados en campo se llega a lo sumo a 1000kPa. No obstante, siempre es posible obtener el valor de presión límite a pesar de ser mediante extrapolación.

Obtenidos los resultados de presión límite para cada prueba, se hizo una comparación con los valores teóricos de presión límite tabulados en el cuadro 2. Al notar que los valores obtenidos se encontraban dentro del rango teórico se deduce que los métodos propuestos para el cálculo de dicha presión son fiables. Por ejemplo, para limos se dice que la presión límite puede rondar entre los 200kPa y 1500kPa, así que con los valores obtenidos a partir de la prueba presiométrica se ha corroborado que los resultados de campo estén dentro de estos rangos. Con ello, ha sido posible observar que los resultados de la presión límite del método 2, o bien, la presión límite de Ménard es la que mejor se ajusta a estos valores. Es obvio que entre ellos tengan sus incertidumbres, por las diferentes condiciones que se presentan en el agujero, a pesar de ser en un mismo sitio, pero al menos todos los datos recolectados cumplen con estar dentro del rango teórico.

Para el caso de la resistencia cortante no drenada y cuadros confeccionados en la sección anterior (del cuadro 25 al 44), es objetivo inferir que la presión límite de Ménard (método 2,

cuadro 29, 30, 31 y 32) es la que brinda los mejores resultados. Al menos esto se deduce cuando se efectúa una comparación entre los métodos del PMT, triaxiales UU y SPT, para esto se pueden observar las Figuras 34 y 35, nótese que la Figura 34 muestra los resultados de triaxial UU elaborados a una profundidad o distancia relativamente cercana a los del PMT. Por ejemplo, para el proyecto Eólico Tejona se graficó el valor de resistencia al corte no drenada según la triaxial realizada, muestras que fueron tomadas entre los 3,30m y 4,30m de profundidad en PT-5, por ello para correlacionarlo se usó la prueba de PMT realizada en PT-5 a 4,45m. Para el estudio del terreno para la Ampliación del Edificio Central se utilizó la prueba de PMT realizada a los 9,00m de profundidad, y las muestras para triaxiales UU fueron tomadas de los 7,95m a los 9,35m.

En el PHED se hizo uso de M03CM, muestra para ensayo triaxial tomada cerca de T-04-CM, donde se efectuó una prueba con el presiómetro, la diferencia acá son las profundidades, ya que las muestras para triaxial se tomaron a los 0,75m, mientras que la prueba de PMT se ejecutó a los 4,60m.

En específico, para esta figura, se pudo obtener las siguientes relaciones para el método de presión límite 2, las cuales varían entre:

$$Cu_{Ménard} = \frac{4}{3} Cu_{Triaxial}$$

$$Cu_{Ménard} = \frac{10}{9} Cu_{Triaxial}$$

Al trazar una curva de mejor ajuste, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$C_{uu} = 0,7846 C_{u_{PMT}} \\ R^2 = 0,0075$$

En la Figura 35 se evalúa los resultados de la resistencia cortante no drenada de los ensayos de SPT versus los resultados de PMT tabulados en el cuadro 46, de esta figura no se puede extraer relaciones, ya que en ciertas pruebas los resultados de resistencia al corte no drenada de SPT es mayor con respecto a las del PMT, esto pasa en el caso del PHED, donde los puntos graficados se observan muy arriba con respecto a los demás puntos, es decir, con

respecto a los puntos de Eólico Tejona y del Edificio Central.

Los SPT utilizados para el proyecto Hidroeléctrico El Diquis se encontraban un poco alejados con respecto a las pruebas del presiómetro, esto pudo haber influenciado en esta situación. Para los demás puntos, según la línea de identidad trazada; en ciertos casos hay una relación 1:1; no obstante, no se cumple en todos los ensayos, ya que en general los resultados con el presiómetro son mayores que los resultados con correlaciones de SPT y triaxiales UU.

Se ha corroborado que la similitud entre profundidades juega un papel importante en la correlación de resultados, es decir, para el caso del proyecto Eólico de Tejona las muestras para la resistencia no drenada de laboratorio caracterizaban a PT-5 de los 3,30m a los 4,30m y el C_u obtenido del promedio de los círculos de Mohr dio 66,50kPa y para la prueba del presiómetro la C_u a los 4,45m en PT-5 obtenida a partir de la presión límite 2 fue de 85,57kPa. En este proyecto se realizó una prueba de SPT para cada una de las perforaciones donde se hizo pruebas con el PMT (PT-1, PT-4 y PT-5), con esto, se tomó la capa de suelo según el SPT para cada una de las profundidades donde se hizo PMT, de manera que la prueba de PMT quedara dentro de la capa de SPT. Esto para evaluar los resultados a la misma profundidad, estos resultados se pueden observar en el cuadro 46, nótese en este cuadro y en la Figura 35 que las pruebas de PMT que más se alejan de SPT son a los 6,35m y 4,50m, las demás presentan una relación de casi 1:1.

En el caso de la Ampliación del Edificio Central los valores de resistencia cortante no drenada brinda valores más cercanos, es decir, el valor de resistencia cortante no drenada obtenido a partir de muestras tomadas en campo para un ensayo triaxial UU dio 58kPa, las muestras extraídas para este ensayo fueron a profundidades entre los 7,95m y 9,35m. En este proyecto se hicieron 4 pruebas con el presiómetro, sin embargo se ejecutó una a los 9,00m de profundidad, esta fue la que se utilizó para correlacionarla con los datos de triaxial UU, la resistencia no drenada correspondiente a esta prueba fue de 65,34kPa para la presión límite 2. Con respecto a los SPT, se procedió de igual manera que la explicación anterior, dando como resultado que los valores de resistencia al corte

no drenada a los 3,50m y a los 7,00m, se alejaron más de la línea de identidad, mientras que los otros 2, a los 5,50m y 9,00m, la relación resultante es de casi 1:1. Estas dispersiones se pueden observar en la Figura 34, o bien, en el cuadro 45.

Como antes se mencionó, el PHED fue el que presentó las mayores variaciones en relación con la relación entre SPT y PMT, nótese que los tres puntos graficados (0,85m, 1,30m y 2,95m) quedan sobre la línea de identidad trazada, por ende, los resultados entre ambos métodos son dispersos entre sí. En este proyecto se tomó una prueba triaxial UU cerca de T-04-CM, la cual se denomina M03CM, la resistencia no drenada de esta prueba resultó de 68,65kPa, esto en caso de obtenerse la resistencia no drenada sólo para la muestra A, la cual es la que presenta mayor radio en los círculos de Mohr. El valor de C_u para la PMT resultó ser de 92,78kPa.

En el proyecto de GSM-BT's en Villa Briceño los cálculos de resistencia la corte no drenada de PMT y SPT, muestran una relación de casi 1:1, no obstante, siempre el presiómetro brinda valores un poco más altos, esto se puede observar en la Figura 35.

Es de esperarse que una prueba en la máquina triaxial UU no se aproxime a los resultados del PMT, primero porque son ensayos diferentes. Uno es en el laboratorio, bajo condiciones controladas, mientras que el otro es en el campo en suelo bajo condiciones reales. Además que el grado de saturación de las muestras también juega un papel importante en cada prueba. Es más, esto se comprueba con ensayos en la misma máquina triaxial, donde los círculos de Mohr no tienen siempre el mismo radio. Por lo tanto, no se debe esperar que ambos ensayos brinden resultados similares. No obstante, si podría plantearse correlaciones entre ambas pruebas, similares a las anteriores, pero con mayor cantidad de ensayos. Para esto sería necesario que el sitio donde se tome la muestra para llevarla al laboratorio también se ejecute la PMT, esto para considerar que en ambas pruebas el sitio está en condiciones de saturación y estado de esfuerzos similares.

A todo esto, cabe mencionar los puntos ubicados en la figura 33. Nótese que para estos puntos la curva de mejor ajuste que se propone queda un poco sobre los puntos obtenidos en los ensayos realizados y analizados en este proyecto. Por ello, esta curva al igual que 32 no

dicen nada para los proyectos analizados en este trabajo.

Se considera que el ángulo fricción interna Φ , no es un parámetro relevante en los sitios analizados, esto por el tipo de suelo predominante, donde la resistencia al corte no drenada viene a ser de mayor importancia. Si bien es cierto, Ménard propone unas curvas a base de correlaciones empíricas, no obstante estas curvas no muestran con nitidez en qué tipo de suelos es posible aplicarlas. Además según el marco teórico las ecuaciones propuestas para el cálculo de este valor no son netamente confiables, por lo tanto se evita hacer mención a resultados erróneos.

En el caso de la capacidad de soporte también se escogen los mismos ensayos que en caso de la resistencia al corte no drenada, esto para generar las Figuras 36, 37 y 38. En la figura 36 se grafican los valores de capacidad de soporte según Vésic utilizando la resistencia cortante no drenada dada a partir del ensayo triaxial UU, contra los resultados dados con el presiómetro Ménard. Para esta figura no se proponen relaciones, ya que los puntos graficados se ubican entre los $5,00\text{kg/cm}^2$ y $6,00\text{kg/cm}^2$ según las pruebas triaxiales, mientras que para las pruebas con el Ménard varían desde los $3,00\text{kg/cm}^2$ hasta los $19,00\text{kg/cm}^2$. A pesar de que en esta figura se evalúan los valores de capacidad de soporte última, la sobrecarga no hace una diferencia pronunciada para los valores con respecto a la capacidad de soporte con Cuu.

La Figura 37 por su parte muestra los valores calculados con el método de Vésic. En este caso se hace uso de la resistencia cortante no drenada obtenida a partir de los métodos del presiómetro y la resistencia al corte no drenada con la prueba triaxial UU. Con esto, para la presión límite con el método 2, los valores de capacidad de soporte calculada con el método de Vésic con Cu_{PMT} varían entre las siguientes relaciones, con respecto a la capacidad de soporte calculada con Vésic y Cuu:

$$q_{Ménard-Vésic} = \frac{3}{2} q_{Vésic}$$

$$q_{Ménard-Vésic} = 2q_{Vésic}$$

En este caso se exceptúa dentro de estas relaciones y valor de capacidad de soporte para el proyecto Eólico Tejona a los 6,25m, ya que el

valor obtenido según Vésic con la resistencia al corte del presiómetro es casi el doble del valor respectivo para Vésic con Cuu. Nótese en esta figura, que los demás valores cumplen con tener una relación de 1:1.

Finalmente, la Figura 38 corresponde a un gráfico de dispersión de los valores de capacidad de soporte según Vésic con el valor de resistencia al corte no drenada de SPT contra los valores de capacidad de soporte última obtenida a partir del método del PMT (ecuación 13). Con esta figura tampoco se pueden corroborar las relaciones, lo que se puede visualizar es el comportamiento de los resultados para el método de presión límite 2.

En el caso de Eólico Tejona, los valores de capacidad de soporte con SPT son un poco menores con respecto a los obtenidos mediante el método de Ménard, esto porque dichos valores se alejan de la línea de identidad trazada en este gráfico. Se puede observar que los que más se alejan son los valores correspondientes a 11,40m, 4,50m y 6,35m; los demás resultados tienden a ser más o menos la mitad, es decir:

$$q_{Ménard} = 2q_{SPT}$$

En el caso del proyecto de la propuesta a la Ampliación del Edificio Central se tenía una propuesta de diseño de dos tipos de placas, unas de 2,80m de lado y otras de 4,60m de lado; así que se calculó la capacidad de soporte para ambos tipos de placas. Nótese en el cuadro 48 que los ensayos realizados con el presiómetro a los 5,50m y 9,00m de profundidad fueron los que brindaron mejor comportamiento, es decir, estos se ubicaron justo sobre el trazo de la línea identidad, por lo tanto, se cumple entre ellos una relación 1:1, mientras que los demás ensayos, a 3,50m y a 7,00m se alejaron más de esta curva. A esta situación se le alude el hecho de que la presión límite para estos valores con el PMT era más grande con respecto a las de las profundidades de 5,50m y 9,00m. El hecho de que la presión límite sea mayor afecta la capacidad de soporte, ya que según la ecuación 13, la capacidad de soporte de un suelo calculada con los métodos del presiómetro es directamente proporcional a la presión límite. Si la presión límite es la responsable de esta dispersión se debe a que, posiblemente el agujero sea muy grande con respecto al diámetro de la probeta, lo que ocasiona una pérdida de

volumen que no se espera, ya que lo ideal es que haya una relación definida de inyección de volumen de agua contra inyección de presión, esto para que resulte una curva presiométrica con sus partes bien definidas, esto se puede corroborar al observar las curvas presiométricas obtenidas y ubicadas en la sección de apéndices, en apéndice 1, para los ensayos del Edificio Central.

Para el caso del PHED se tiene que los ensayos de SPT fueron cercanos, más no en las mismas coordenadas que los ensayos en T-01-CM, T-03-CM y Camino alterno, esta situación es la que pudo provocar la dispersión de los resultados. Se puede observar que los valores de capacidad de soporte a 1,30m fueron los que más se acercaron a la línea de identidad y con respecto a la ubicación del SPT2 (520747, 325773, en coordenadas Lambert) el punto a 1,30m de PMT se ubica bastante cercano (520629, 325706). No obstante el SPT1 (520453, 325276) también se ubica cercano a lo que es Trincheras 1 y Trincheras 3 (520457, 325272) y (520402, 325228) respectivamente, por lo tanto no se le puede aludir estas dispersiones absolutamente a la diferencia de distancias entre pruebas. Cabe destacar que las descripciones para ambos ensayos es bastante similar, lo cual, se dice que el tipo de suelo acá no es el que predomina en esta situación. Algo que sí jugaría un papel preponderante sería el porcentaje de humedad del suelo, ya que si éste está saturado es más fácil alcanzar la presión límite, por consiguiente con ello la capacidad de soporte.

En la Figura 38, se nota que la capacidad de soporte del proyecto de Villa Briceño con el SPT es más o menos una tercera parte del valor de capacidad de soporte con PMT. Lo que sigue indicando que los resultados con el presiómetro son mayores con respecto al SPT. Este optimismo del PMT debe ser valorado y castigado con un factor de seguridad que tome en cuenta las diferencias de resultados entre los ensayos analizados.

En general, a las dispersiones de los cálculos realizados se le puede aludir la dificultad que hay para obtener el valor de la presión límite, misma que ha sido mediante extrapolación.

Cabe destacar que, a pesar de que se trabaja con dos métodos para el cálculo de presión horizontal de reposo, la capacidad de soporte neta obtenida con ambos métodos no genera grandes diferencias, por lo tanto se

considera que el método que se utilice no influye en los resultados del cuadro 47 al 54. No obstante, si se tiene la posibilidad de obtenerlo gráficamente es más conveniente, ya que de esta manera se toma en cuenta las características y propiedades particulares de cada ensayo, mientras que si se calcula matemáticamente con un valor de $k_0=0,5$ no se considera el ensayo propiamente en sitio, a pesar de que los resultados sean aceptables.

El tema de los asentamientos tiende a volverse un tema quizá un poco complicado, o bien, algo difícil de tratar. Según la teoría del presiómetro los asentamientos calculados con el equipo pueden dividirse en dos, asentamientos por deformación volumétrica y deformación por cortante. Ambas condiciones se tratan como asentamientos instantáneos, no obstante esta consideración no cumple con la realidad, ya que con los resultados obtenidos se verificó que la condición de deformación volumétrica y la condición de deformación por cortante no igualan a los asentamientos que sufre el material. Esto porque los cálculos de asentamientos con los métodos del PMT resultaron ser menores con respecto a los asentamientos calculados con los métodos convencionales. A excepción de los asentamientos calculados para el PHED, donde los asentamientos con el presiómetro resultaron mayores que los asentamientos elásticos con los métodos convencionales.

Nótese en el cuadro 58 que solo los asentamientos a 4,23m de la PT-1 del proyecto Eólico Tejona son los que se asemejan a los asentamientos calculados con los métodos del PMT. Los demás resultados son menores que los calculados por los métodos convencionales; por lo tanto, debería hacerse un análisis más profundo acerca del tema de los asentamientos, o bien, comparar los asentamientos calculados con el presiómetro con los asentamientos reales que sufre el suelo, es decir, estar midiendo los asentamientos que está sufriendo el suelo después de haber construido la estructura correspondiente.

Además, es importante para el tema de los asentamientos, verificar que el valor del módulo presiométrico es correcto, por lo tanto antes de utilizar el valor de asentamiento obtenido por el ensayo presiométrico, es preferible realizar una investigación más a fondo.

Los asentamientos obtenidos con los métodos del presiómetro se calculan con el

módulo presiométrico, valor que no es igual al módulo de Young, sin embargo utilizando el factor α se puede convertir E_0 en módulo de Young, al hacer esta relación se puede observar en los cuadros 64 y 65 que los ensayos a 5,50m y 1,30m, respectivamente son semejantes al módulo de Young, los demás resultan ser mayores a este valor, lo que implicaría que a mayor módulo menor sea el asentamiento, por lo tanto tampoco conviene utilizar estos valores para no caer en errores de cálculos.

Cabe mencionar que en el caso del PHED, el cálculo de los asentamientos fue preliminar, puesto que se utilizó el valor de capacidad de soporte admisible y no cargas reales, esto primero porque las cargas normales y diseño de cimentación están en proceso de diseño. Además porque se ha determinado que el suelo a cimentar no será la capa en la que se han ejecutado los ensayos del PMT. Por ende se considera que evaluar esta capa no es lo más conveniente. Sin embargo, es aceptable tomar como incremento de presión la capacidad de soporte admisible para considerar que las cargas que le llegan al cimiento rondan estos valores, esto porque las cargas aplicadas al cimiento deben ser tomadas por el correcto dimensionamiento de placa y capacidad soportante. Debido a que todo diseño debe considerar los efectos de volcamiento, fuerzas tensoras y a compresión para garantizar seguridad, calidad y funcionamiento óptimo del cimiento ante distintas cargas.

Conclusiones y Recomendaciones

- Con el manejo del equipo se ha podido notar que el funcionamiento ha sido óptimo, sin embargo un cambio de ciertas válvulas y manómetros sería conveniente, ya que el desuso del mismo ha ocasionado que estas válvulas pierdan la facilidad para posicionarlas en la medida deseada (en especial la válvula 7), además el manómetro de medición de volumen (reservorio) es opaco, esto influye mucho en la dificultad de observar y tomar las mediciones en campo, esto porque al mostrarse opaco y perturbado saber con exactitud la ubicación del menisco es complicado.
- Cada vez que se ejecute una prueba es necesario que se realice la calibración por inercia de la probeta, esto para tomar en consideración los cambios de presión en cada sitio y para poner a trabajar la probeta después de hacer un recorrido, y además para luego poder corregir las lecturas de presión en la curva presiométrica. Debe conocerse si la probeta se encuentra saturada, porque de no ser así el agua faltante no será recuperada al final de la prueba y se presentaría errores en las lecturas de volumen tomadas, puesto que si la probeta no está saturada ella va a tomar parte del volumen que se le inyecta para su saturación y este volumen no se debe contabilizar en las lecturas tomadas, ya que ese volumen no está actuando sobre el suelo, por lo tanto sería un gasto de volumen innecesario, y si no se verifica se cometen errores en los cálculos respectivos.
- No es necesario repetir la calibración por deformabilidad interna del aparato cada vez que se realice una prueba, claro está que sea mientras la probeta no sufra cambio de membrana o se realice un ensayo a gran profundidad, o bien, haya pasado un tiempo considerablemente largo para requerir la calibración, es decir, para corroborar su buen estado.
- El método de perforación a utilizar es de los aspectos más relevantes en cuanto a la obtención de resultados confiables, entre los principios de la prueba presiométrica se requiere que el diámetro de la perforación sea tal que la probeta pueda bajar por gravitación, es decir, sin aplicarle grandes fuerzas. Pero se debe mantener un margen considerable, o sea, que no se tenga un agujero de diámetro muy amplio, ya que esto provocaría que la probeta no entre en contacto con las paredes de la perforación y por ende las acciones volumétricas al inyectarle presión y volumen tomarían datos erróneos, sin mostrar las tendencias reales de la curva presiométrica.
- Perforar con Auger Manual hasta cierta profundidad y luego cerca de 70cm con un tubo Shelby es un procedimiento bastante fiable, puesto que se da un correcto ajuste entre la probeta y las cavidades del agujero, eso sí, mientras se utilice un diámetro correcto del tubo Shelby. Para verificar este diámetro se pueden utilizar las relaciones de las ecuaciones 62 y 63.
- De una correcta obtención de la presión límite y del módulo presiométrico dependerán los resultados posteriores; por lo tanto, entre más pares se tenga para crear la curva presiométrica, mejor, para definir una curva legible y con pronunciadas partes tales como fase inicial, fase elástica y fase plástica.
- Para obtener la cantidad de puntos referida, es conveniente aplicar la recomendación de realizar una prueba antes de ejecutar el ensayo y con ella obtener la presión límite, con este valor se pueden definir los incrementos

- necesarios para así tener un mejor aprovechamiento del volumen del presiómetro.
- El valor de presión límite depende del V_0 y este a su vez depende de la calibración por volumen de la probeta; por lo tanto, se debe realizar una correcta calibración para poder tener un valor de volumen inicial que beneficie los resultados de la presión límite. Esta correcta calibración se logra insertando la probeta en un tubo que sea rígido y que el diámetro del mismo cumpla con la ecuación 62. Además, es importante revisar la saturación de la probeta antes de realizar la calibración por deformabilidad interna del aparato, porque si la probeta no está saturada no devolverá el agua, entonces el volumen de intersección que se le debe restar a la ecuación 5 aumentará, provocando una disminución en el V_0 , lo que provocará errores en los cálculos posteriores.
 - El PMT es un ensayo relativamente rápido, ya que puede tardar entre 30 minutos y 40 minutos, esto considerando el tiempo de inyección y el tiempo de recuperación de volumen y presión, la cual es la fase más lenta puesto que hay que esperar que la probeta se desinfla bajo la acción de la presión diferencial, para así poder extraerla del agujero. Sin embargo, considerando estos tiempos, se puede decir que es una prueba a corto plazo. A pesar de que otras pruebas de laboratorio con las cuales se puede obtener parámetros similares a los del PMT son también a corto plazo la ventaja que tiene el PMT es que es una prueba "in situ", bajo condiciones reales, mientras que las de laboratorio son bajo condiciones controladas.
 - Este ensayo provoca menos alteración al medio, ya que toma las condiciones del sitio en el instante, es decir, lo único que alteraría el medio es el método de perforación, pero suponiendo que es el correcto entonces una vez realizada la perforación el suelo tiende a relajarse pero de inmediato genera fuerzas para cerrarse y recuperar su condición estado inicial, por ello se da el contacto entre probeta y cavidades de perforación.
 - Se considera necesario que para generar una base de datos de estudios realizados y crear correlaciones para los métodos del presiómetro, lo ideal es que en el sitio y a la profundidad que se realice el ensayo de PMT se tomen muestras para hacer otras pruebas en laboratorio, tales como triaxiales UU, o bien, hacer SPT. Como se ha observado en el desarrollo de los resultados, el complemento de otras pruebas ayuda a discernir entre la calidad y confianza en los datos del presiómetro, no obstante, uno de los problemas fue que las profundidades donde se ejecutaron ensayos de PMT eran diferentes de las profundidades donde se tomaron muestras para analizarlas en el laboratorio. Sin embargo se buscó la manera de relacionarlos con el fin de poder respaldarse en información recolectada y poder proponer correlaciones correctamente estudiadas. Es importante mencionar que esto se hace como una propuesta, ya que es bien sabido que no siempre se puede realizar varios ensayos para un mismo proyecto, porque la unidad y el personal no da abasto para acaparar todo lo que ambiciosamente se desea.
 - En el análisis de resultados se enlistan las correlaciones que se pudieron obtener para los ensayos realizados con el presiómetro y cercanos a los ensayos realizados con otros métodos de investigación geotécnica (Triaxial UU y SPT). Cabe destacar que estas correlaciones son sólo una propuesta basada en los resultados obtenidos en este trabajo y para los sitios analizados, esto se hizo con el fin de darse una idea de cómo están los resultados del PMT en relación con otros métodos. Bajo esta situación, se propone seguir trabajando en esta propuesta hasta crear una nube de puntos que brinden correlaciones o ecuaciones mejor respaldadas.
 - La prueba del presiómetro se toma como un buen ensayo para la determinación de parámetros para el diseño geotécnico en suelos cohesivos de dureza media a baja, entre estos parámetros se puede mencionar la resistencia al corte no drenada y la capacidad de soporte, eso

sí, mientras el ensayo se realice en óptimas condiciones y aplicando cada una de las recomendaciones brindadas. Lo que corresponde a asentamientos y módulo debería analizarse con más pruebas y cálculos correspondientes a este tema, ya que con los resultados obtenidos no se puede brindar la confianza necesaria.

- La resistencia al corte no drenada de los sitios analizados se calculó con 4 métodos del PMT, con esto se pudo observar que entre ellos los métodos 1 y 3 daban resultados muy similares, mientras que el método 2 divergía de ellos. Era de esperarse que el método 2 diera resultados diferentes, ya que fue calculada con un denominador mayor al de los otros métodos, esto porque este denominador es un promedio propuesto para el autor Braja Das (1999), y se optó por tomar este promedio. Nótese que los resultados de Cu_1 y Cu_3 , dan bastante similar, con respecto a Cu_3 , este se obtiene a partir de la curva de mejor ajuste que se observa en la Figura 14 y encontrada en Briaund, 1992. En esta misma Figura se observa que la dispersión de los puntos es amplia, con lo cual no se tiene la seguridad de que los sitios analizados se ubican cercanos a la curva de mejor ajuste. Debido a esto es que se muestra la Figura 33, en la cual se hace un bosquejo de la ubicación de los puntos según la presión límite del método 2 obtenida y la resistencia al corte no drenada de triaxiales UU. En este bosquejo se observa que los puntos de los proyectos analizados en este informe, en general, se ubican bajo la curva de mejor ajuste. Para los proyectos analizados se obtuvo unas correlaciones que relacionan la resistencia al corte no drenada de la triaxial UU con respecto a los resultados del PMT. La correlación obtenida en este caso fue $C_{uu} = 0,7846C_{u_{PMT}}$, para obtenerla, se valoraron las pruebas de PMT realizadas a 4,45m, 9,00m y 4,60m de los proyectos Eólico Tejona, Ampliación del Edificio Central y PHED, respectivamente. Con esta ecuación podemos ver que los resultados tienen un aumento progresivo

lineal. Se nota en los cálculos que el presiómetro da valores mayores que los de otros ensayos, por lo cual, se puede decir, que el equipo es más optimista. La congruencia entre los valores obtenidos en cada proyecto puede deberse a varias razones, entre ellas una saturación de suelo similar entre las pruebas con los otros métodos, o bien, la similitud entre el tipo de suelo encontrado en cada sitio, según sus profundidades.

- Con respecto a la capacidad de soporte, ésta se calculó con dos métodos, según Vésic (**Tapia, 2005**) y según la ecuación 13 de este trabajo. Según la ecuación de Vésic se calculó a partir de 3 valores de resistencia al corte no drenada, la Cu_{SPT} , $Cu_{Triaxial}$ y Cu_{PMT} . En varios casos la q_{ultima} de los proyectos analizados dio valores cercanos entre los métodos de cálculo empleados. No obstante, el valor de capacidad de soporte es directamente proporcional al valor de presión límite. Los valores de q_{ultima} que más se acercaron en los métodos analizados son los provenientes de p_{L2} , pero algunas presiones límites de este método divergen entre sí. Cabe recordar que el valor de presión límite depende del V_0 y del V_i , por lo tanto, también influye el diámetro del "casing" y del agujero, además la saturación de la probeta. Así que, se debe verificar que cada uno de estos pasos se cumplan correctamente para poder asegurar el valor de presión límite y con él los valores de q_{ultima} . En el análisis se proponen unas ecuaciones derivadas de las Figuras 37 y 38, además en dichas figuras se incluye la línea de identidad para más o menos correlacionar los resultados de ambos métodos, y al igual que el caso de la resistencia al corte no drenada se observa que el presiómetro da valores mayores a los de Vésic con UU. Bajo esta situación es conveniente castigar los resultados del presiómetro con un factor de seguridad que brinde la confianza para utilizar los resultados, para poder generar diseños geotécnicos.
- El caso de los asentamientos es un parámetro de diseño geotécnico que amerita más estudio, ya que los

resultados entre los métodos convencionales y el presiómetro Ménard no estuvieron cercanos. Por lo tanto, se recomienda buscar la manera de estudiarlo más a fondo y compararlos con los asentamientos reales que sufre el suelo después de la construcción de la estructura. Si bien es cierto, los asentamientos que sufre el suelo después de la implantación de la estructura son asentamientos por consolidación o asentamientos a largo plazo y el presiómetro mide características del suelo a corto plazo, no obstante, el medir el asentamiento que sufre el suelo una vez cargado es la mejor forma de comparar si los resultados del PMT están en lo cierto o no.

- Valorar la adquisición de una nueva unidad del presiómetro Ménard, dado que como es una prueba de corto plazo, ofrece resultados bastante rápidos para el diseño geotécnico, y es bastante aplicable, en general, a suelos tropicales, en su mayoría los que predominan en el país. Además existen presiómetros autoperforantes, con los cuales se ahorraría la tediosa complicación de buscar y escoger el método de perforación adecuado.
- En el anexo 2 de este trabajo se tiene un manual del equipo, este manual incluye los pasos a seguir para elaborar las calibraciones, los ensayos de campo, la saturación, el llenado del equipo y el transporte del equipo, todo esto en relación con su operación. También está un apartado referido al mantenimiento, la forma de realizar el ensamble y desensamble de algunas piezas para su correspondiente limpieza. Además se agrega una sección de problemas frecuentes, en esta sección se enlistan una serie de problemas y se les da una eventual solución. Este anexo se basa en el manual del equipo y es una reelaboración del mismo.
- Un uso y mantenimiento continuo del equipo sería conveniente para los proyectos que genera el ICE. Además es una herramienta bastante útil para la Unidad de Experimentación Geotécnica

con respecto a las investigaciones destinadas, por ello se recomienda utilizarlo a menudo.

- En general se considera que se cumplió con los objetivos del trabajo, debido a que se ha vuelto a poner en funcionamiento el presiómetro Ménard. Además se pudo generar la hoja de cálculo para obtener los resultados de manera rápida; no obstante, hizo falta mayor cantidad de ensayos y pruebas de laboratorio para poder respaldar los resultados con el presiómetro y poder generar correlaciones de mejor ajuste. En el apéndice 3 se agrega una ayuda para poder utilizar el programa elaborado.

Apéndices

Apéndice 1:

Datos tomados en campo y curvas respectivas.


Se considera importante y necesario mostrar los valores de las presiones y volúmenes leídos en el campo para cada uno de los ensayos. Además de estos cuadros se anexan también las curvas correspondientes. Una curva es la curva para obtener la p_0 , valor que se ha explicado durante

el desarrollo del proyecto, no obstante es importante recordar que este valor se obtiene en la máxima curvatura de la curva y la otra curva es la curva presiométrica, que es la necesaria para obtener los valores a correspondientes de módulo presiométrico y presión límite.

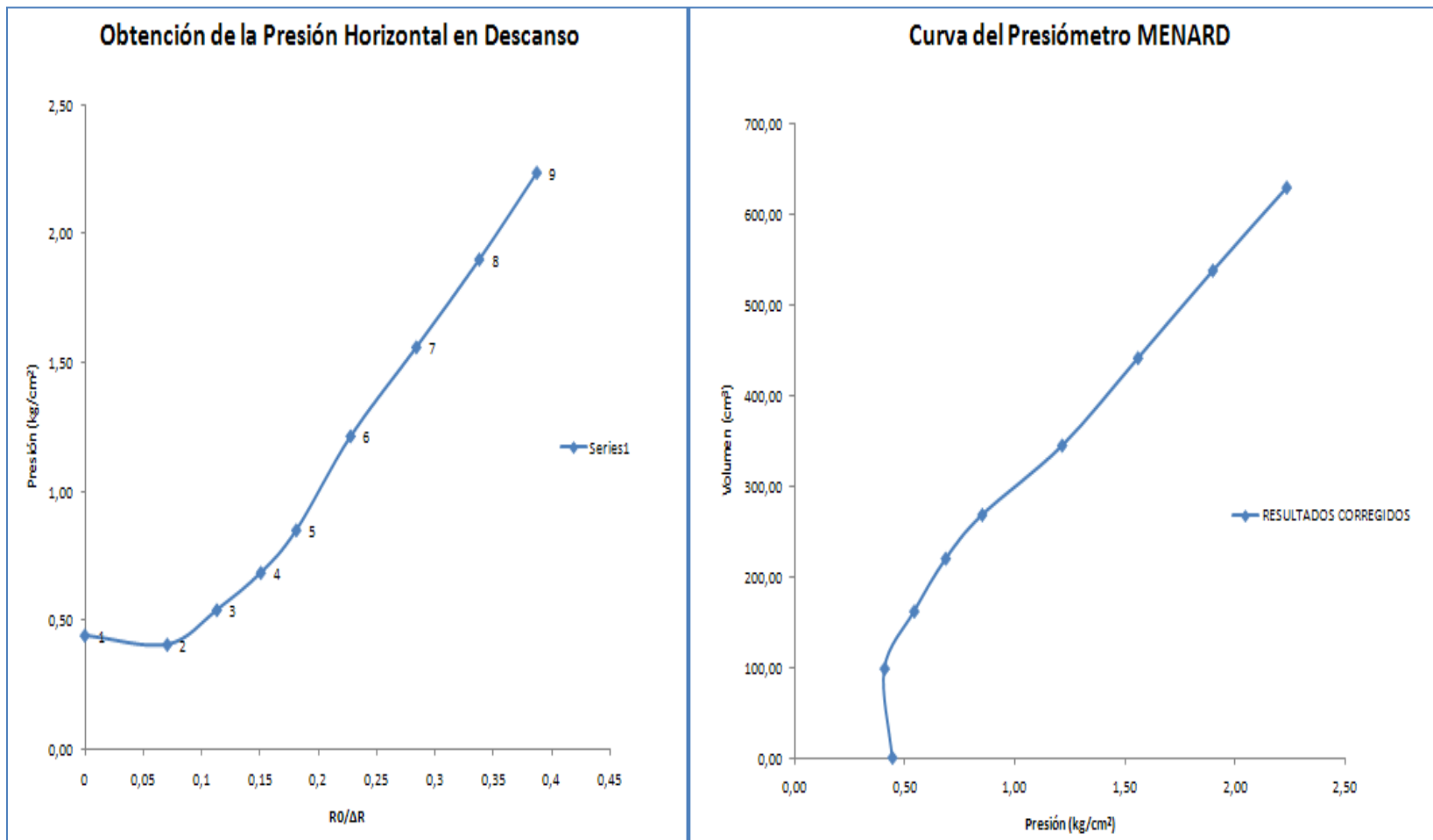
Proyecto Eólico Tejona

Los resultados se ubican desde la prueba de menor profundidad hasta la prueba de mayor profundidad.

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,44	0,44	0,00	0,00
0,25	55	100	0,41	0,41	53,33	98,33
0,50	140	165	0,47	0,54	136,67	161,67
0,75	200	225	0,61	0,69	195,00	220,00
1,00	255	275	0,77	0,85	248,33	268,33
1,50	320	355	1,15	1,22	310,00	345,00
2,00	415	455	1,50	1,56	401,67	441,67
2,50	515	555	1,85	1,90	498,33	538,33
3,00	610	650	2,21	2,24	590,00	630,00

ICE - ENERGÍA UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS CENTRO DE SERVICIO DISEÑO ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD			
PROYECTO:	Eólico Tejona	FECHA:	27/09/2000
OBRA:	Cimentación de Torres	OPERADOR:	Walter Solano
SONDEO:	PT1	TIPO DE SUELO:	Residual de lava
PROFUNDIDAD:	4,23m	NIVEL FREÁTICO:	No se detecta

Diámetro de la probeta (mm): 70
 Diámetro del casing (mm): 74,93
 Longitud de probeta (cm): 21
 Altura de monitor sobre superficie: 1,00m
 Volumen inicial: 0,00cm³
 Corrección por inercia: De acuerdo a curva realizada el 07/09/00
 Corrección por deformabilidad interna De acuerdo a curva realizada el 07/09/00



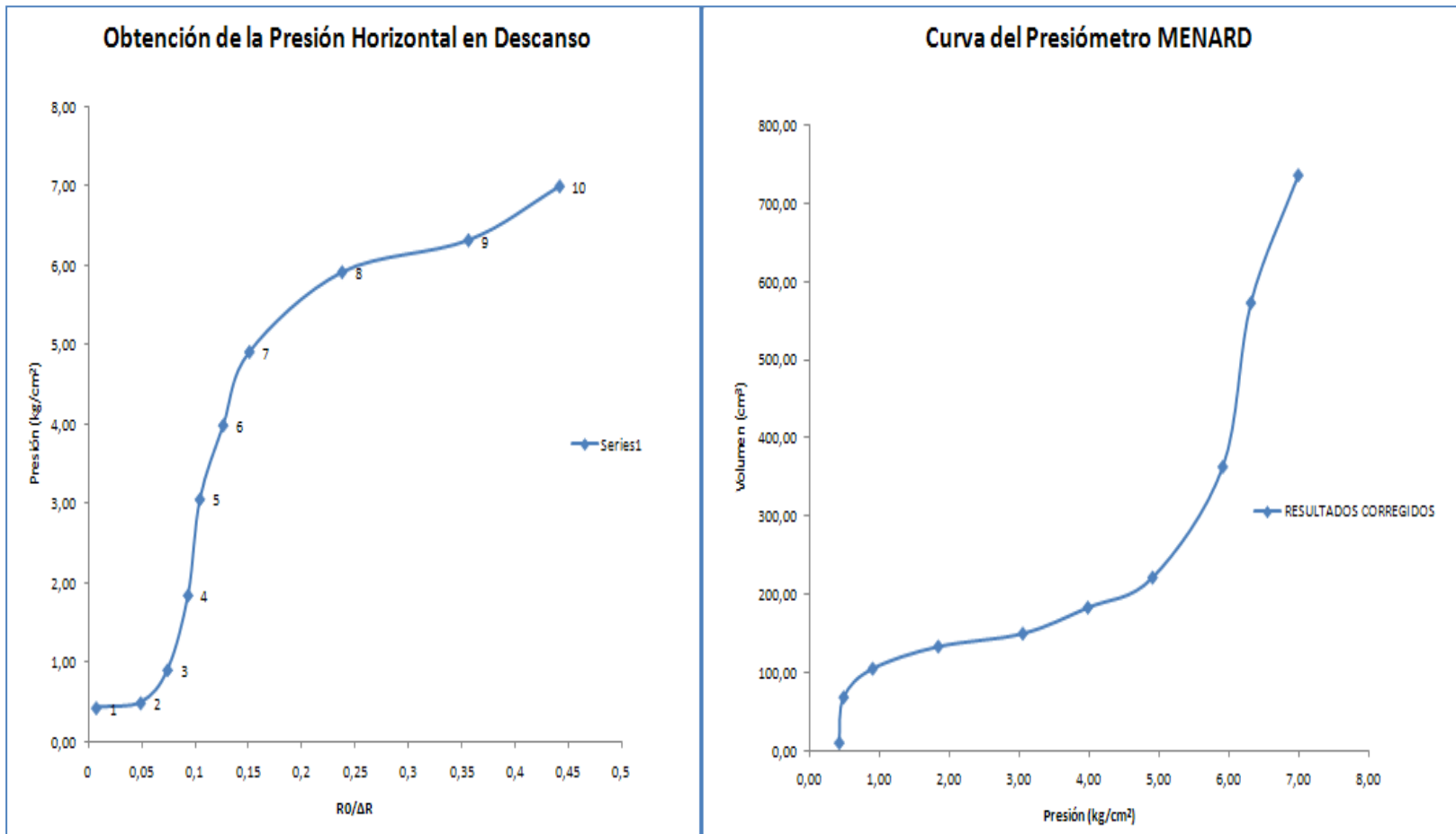
ICE - ENERGIA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/> OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/> SONDEO: <input type="text" value="PT5"/> PROFUNDIDAD: <input type="text" value="4,45m"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/> OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/> TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/> NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>
---	--

Diámetro de la probeta (mm):	<input type="text" value="70"/>
Diámetro del casing (mm):	<input type="text" value="74,93"/>
Longitud de probeta (cm):	<input type="text" value="21"/>
Altura de monitor sobre superficie:	<input type="text" value="1,00m"/>
Volumen inicial:	<input type="text" value="0,00cm3"/>
Corrección por inercia:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>
Corrección por deformabilidad interna:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	10	0,47	0,43	0,00	10,00
0,25	50	70	0,44	0,50	48,33	68,33
0,75	100	110	0,83	0,91	95,00	105,00
1,75	140	145	1,75	1,85	128,33	133,33
3,00	165	170	2,95	3,06	145,00	150,00
4,00	195	210	3,89	3,98	168,33	183,33
5,00	240	255	4,81	4,91	206,67	221,67
6,25	330	405	5,91	5,91	288,33	363,33
7,00	520	620	6,36	6,31	473,33	573,33
8,00	730	790	6,98	6,99	676,67	736,67



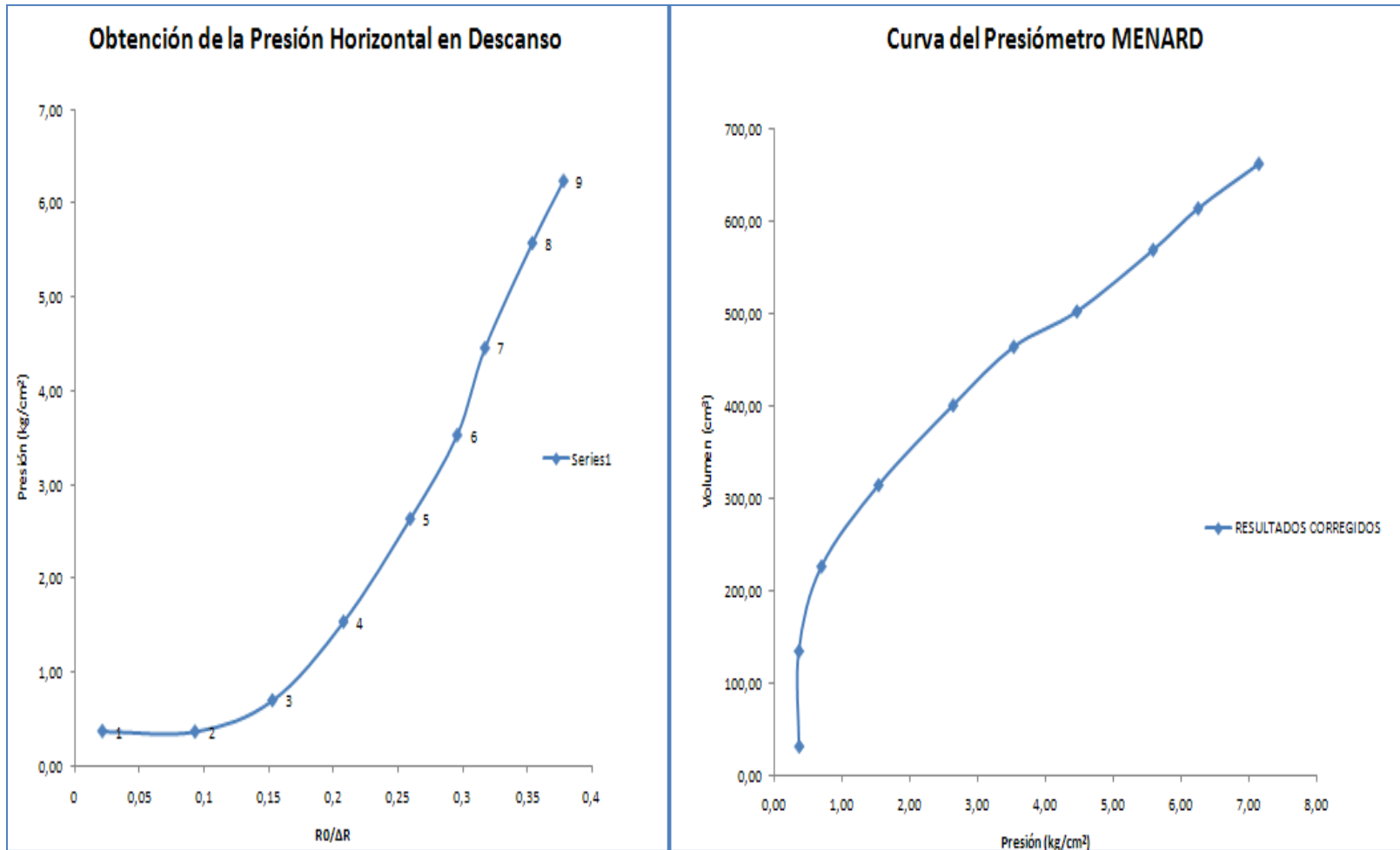
ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/>	OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/>
SONDEO: <input type="text" value="PT4"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="4,50m"/>	NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>

Diámetro de la probeta (mm):	<input type="text" value="70"/>
Diámetro del casing (mm):	<input type="text" value="74,93"/>
Longitud de probeta (cm):	<input type="text" value="21"/>
Altura de monitor sobre superficie:	<input type="text" value="1,00m"/>
Volumen inicial:	<input type="text" value="0,00cm3"/>
Corrección por inercia:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>
Corrección por deformabilidad interna:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	30	0,47	0,38	0,00	30,00
0,25	90	135	0,36	0,37	88,33	133,33
0,75	195	230	0,65	0,70	190,00	225,00
1,75	290	325	1,48	1,54	278,33	313,33
3,00	390	420	2,57	2,64	370,00	400,00
4,00	470	490	3,44	3,53	443,33	463,33
5,00	525	535	4,36	4,46	491,67	501,67
6,25	590	610	5,52	5,58	548,33	568,33
7,00	645	660	6,17	6,25	598,33	613,33
8,00	690	715	7,07	7,14	636,67	661,67



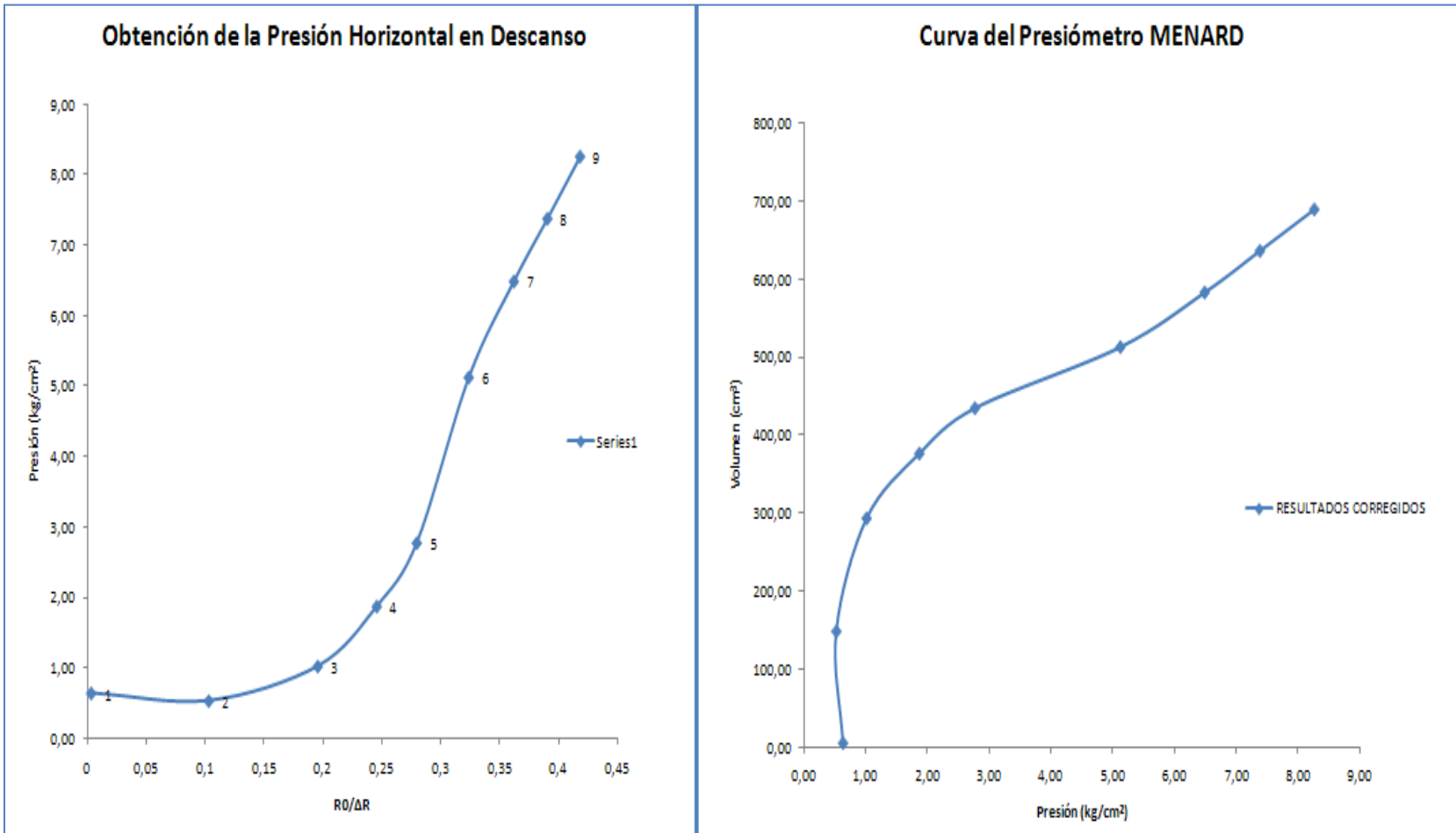
ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/>	OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/>
SONDEO: <input type="text" value="PT5"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="6,35m"/>	NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>

Diámetro de la probeta (mm):
 Diámetro del casing (mm):
 Longitud de probeta (cm):
 Altura de monitor sobre superficie:
 Volumen inicial:
 Corrección por inercia:
 Corrección por deformabilidad interna

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	5	0,66	0,64	0,00	5,00
0,25	85	150	0,56	0,53	83,33	148,33
1,00	250	300	0,99	1,02	243,33	293,33
2,00	370	390	1,79	1,87	356,67	376,67
3,00	440	455	2,67	2,77	420,00	435,00
5,50	530	550	5,04	5,12	493,33	513,33
7,00	610	630	6,42	6,48	563,33	583,33
8,00	670	690	7,30	7,38	616,67	636,67
9,00	730	750	8,17	8,26	670,00	690,00



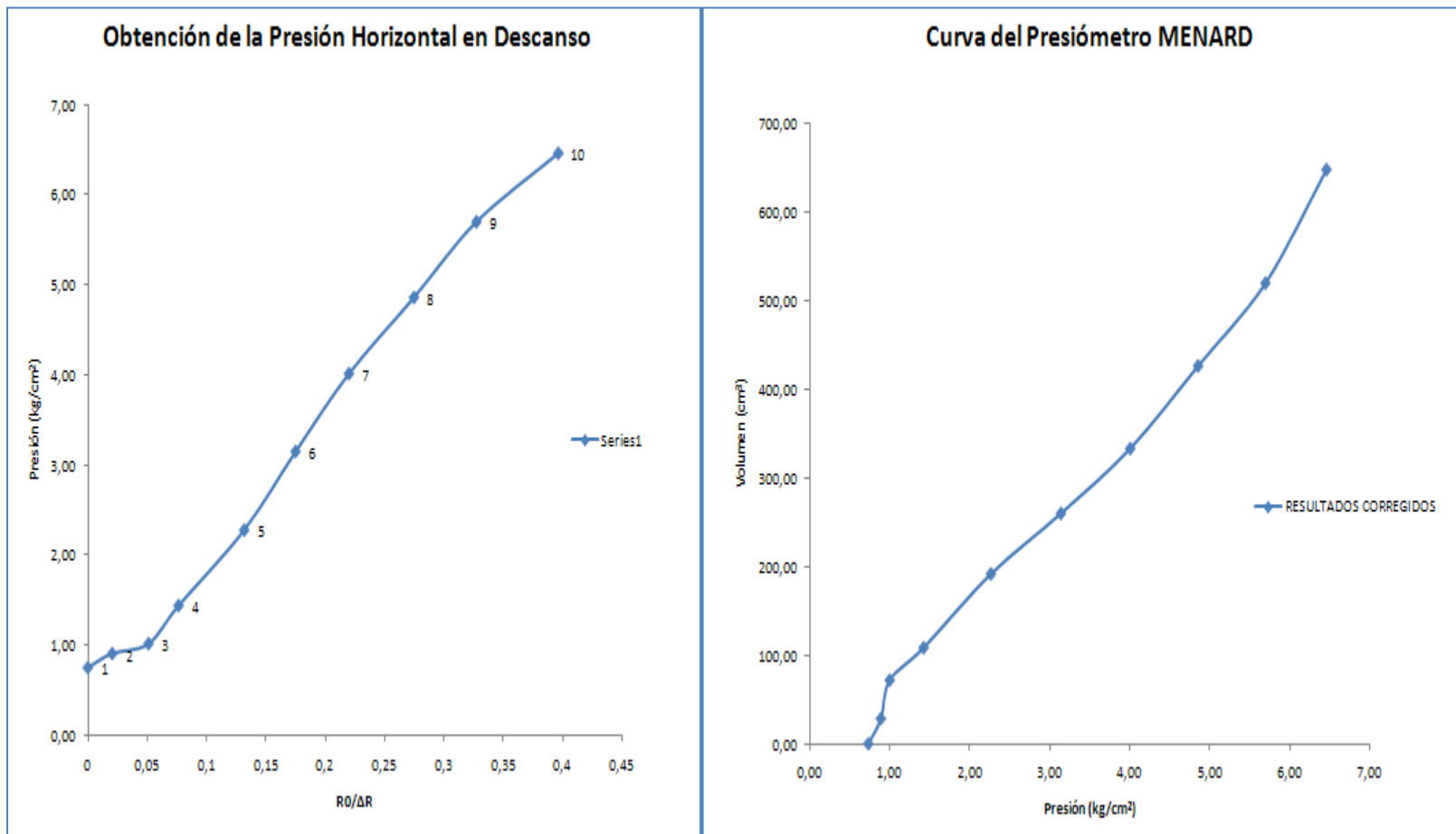
ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/>	OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/>
SONDEO: <input type="text" value="PT1"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="7,25m"/>	NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>

Diámetro de la probeta (mm):	<input type="text" value="70"/>
Diámetro del casing (mm):	<input type="text" value="74,93"/>
Longitud de probeta (cm):	<input type="text" value="21"/>
Altura de monitor sobre superficie:	<input type="text" value="1,00m"/>
Volumen inicial:	<input type="text" value="0,00cm3"/>
Corrección por inercia:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>
Corrección por deformabilidad interna:	<input type="text" value="De acuerdo a curva realizada el 07/09/00"/>

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,75	0,75	0,00	0,00
0,25	5	30	0,96	0,90	3,33	28,33
0,50	60	75	0,95	1,01	56,67	71,67
1,00	100	115	1,36	1,43	93,33	108,33
2,00	175	205	2,21	2,27	161,67	191,67
3,00	255	280	3,07	3,14	235,00	260,00
4,00	330	360	3,94	4,01	303,33	333,33
5,00	430	460	4,78	4,86	396,67	426,67
6,00	525	560	5,64	5,69	485,00	520,00
7,00	630	695	6,47	6,46	583,33	648,33



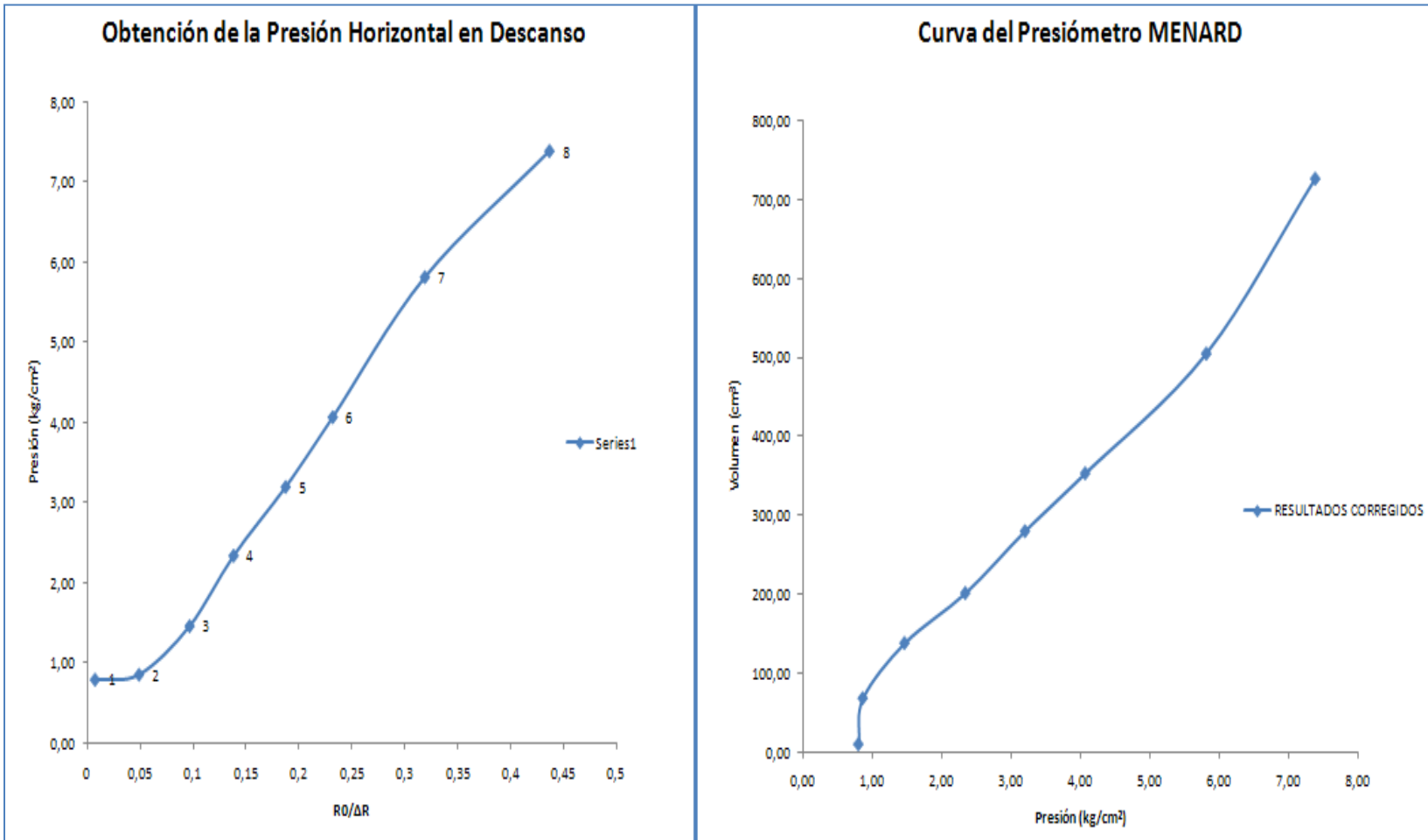
ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/>	OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/>
SONDEO: <input type="text" value="PT5"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="8,15m"/>	NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>

Diámetro de la probeta (mm):
 Diámetro del casing (mm):
 Longitud de probeta (cm):
 Altura de monitor sobre superficie:
 Volumen inicial:
 Corrección por inercia:
 Corrección por deformabilidad interna:

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada	Volumen registrado	Volumen registrado 60"	Presión corregida 30"	Presión corregida 60"	Volumen corregido 30"	Volumen corregido 60"
(kg/cm ²)	30" (cm ³)	(cm ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(cm ³)	(cm ³)
0,00	0	10	0,84	0,80	0,00	10,00
0,25	50	70	0,81	0,87	48,33	68,33
1,00	115	145	1,42	1,47	108,33	138,33
2,00	195	215	2,26	2,35	181,67	201,67
3,00	280	300	3,11	3,20	260,00	280,00
4,00	350	380	4,00	4,07	323,33	353,33
6,00	470	545	5,81	5,81	430,00	505,00
8,00	590	780	7,63	7,38	536,67	726,67



ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="Eólico Tejona"/> OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Torres"/> SONDEO: <input type="text" value="PT1"/> PROFUNDIDAD: <input type="text" value="11,40m"/>	FECHA: <input type="text" value="27/09/2000"/> OPERADOR: <input type="text" value="Walter Solano"/> TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Residual de lava"/> NIVEL FREÁTICO: <input type="text" value="No se detecta"/>
--	--

Diámetro de la probeta (mm):

Diámetro del casing (mm):

Longitud de probeta (cm):

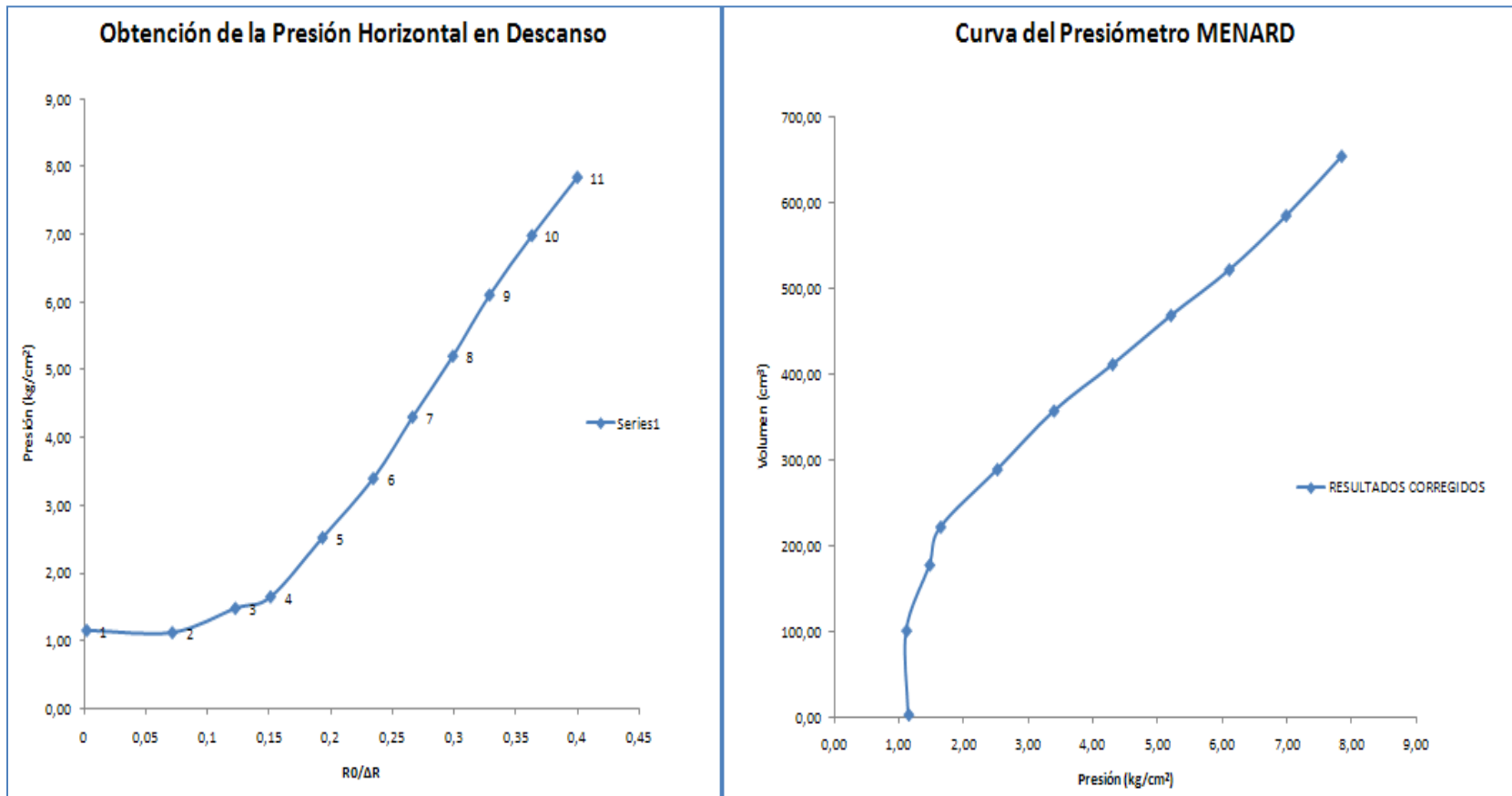
Altura de monitor sobre superficie:

Volumen inicial:


Corrección por inercia:

Corrección por deformabilidad interr:

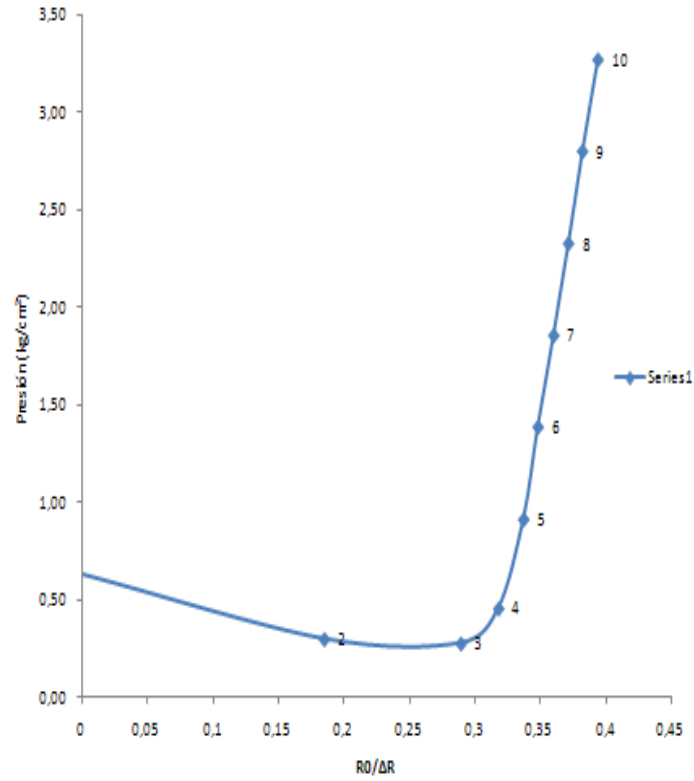
DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	2,5	1,16	1,15	0,00	2,50
0,25	62,5	102,5	1,11	1,12	60,83	100,83
0,75	152,5	182,5	1,42	1,48	147,50	177,50
1,00	208,5	228,5	1,57	1,65	201,83	221,83
2,00	277,5	302,5	2,44	2,52	264,17	289,17
3,00	352,5	377,5	3,32	3,40	332,50	357,50
4,00	422,5	438,5	4,21	4,30	395,83	411,83
5,00	482,5	502,5	5,11	5,20	449,17	469,17
6,00	542,5	562,5	6,03	6,11	502,50	522,50
7,00	612,5	632,5	6,92	6,98	565,83	585,83
8,00	682,5	708,5	7,78	7,84	629,17	655,17



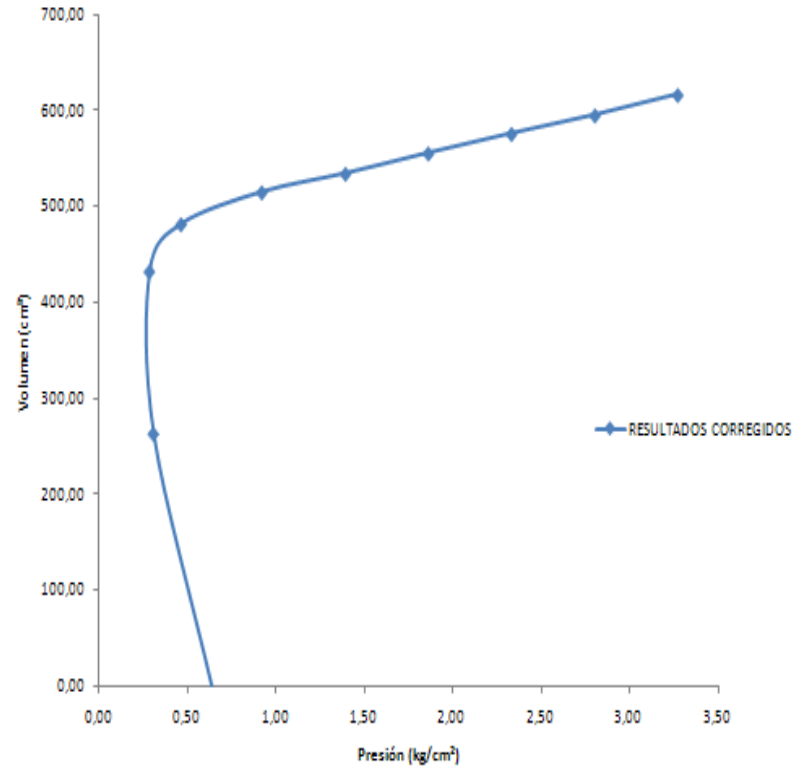
Proyecto Ampliación del Edificio Central

ICE - ENERGÍA			UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS			
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO						
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA						
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD						
PROYECTO:	Ampliación del Edificio Central		FECHA:	30/07/2002		
OBRA:	Cimentación de Edificio		OPERADOR:	Luis Bermúdez		
SONDEO:	P3		TIPO DE SUELO:	Limo Compacto-Café O:		
PROFUNDIDAD:	3,50m		NIVEL FREÁTICO:	No se detecta		
Diámetro de la probeta (mm):	70					
Diámetro del casing (mm):	74,93					
Longitud de probeta (cm):	21					
Altura de monitor sobre superficie:	1,00m					
Volumen inicial:	0,00cm ³					
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02					
Corrección por deformabilidad interna	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02					
DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,25	0	0	0,63	0,63	-0,85	-0,85
0,51	152	265	0,39	0,30	150,30	263,30
0,76	370	435	0,27	0,28	367,45	432,45
1,02	475	485	0,35	0,46	471,60	481,60
1,53	512	520	0,81	0,92	506,90	514,90
2,04	537	541	1,28	1,39	530,20	534,20
2,55	560	564	1,76	1,86	551,50	555,50
3,06	582	586	2,23	2,33	571,80	575,80
3,57	602	607	2,71	2,80	590,10	595,10
4,08	625	630	3,18	3,27	611,40	616,40

Obtención de la Presión Horizontal en Descanso



Curva del Presiómetro MENARD



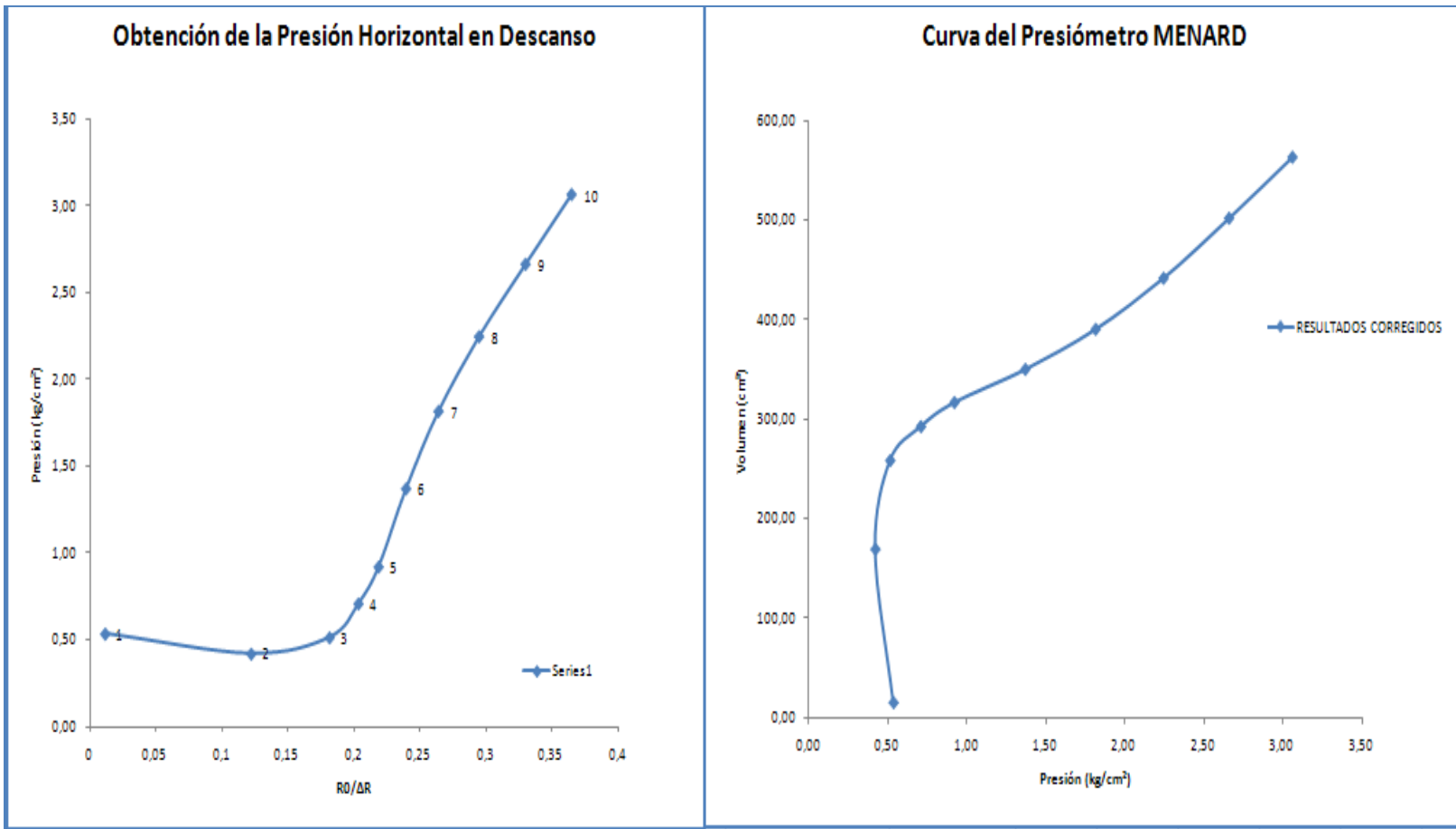
ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: Ampliación del Edificio Central ▾ OBRA: Cimentación de Edificio ▾ SONDEO: P3 ▾ PROFUNDIDAD: 5,50m	FECHA: 30/07/2002 ▾ OPERADOR: Luis Bermúdez TIPO DE SUELO: Limo Compacto-Café O: ▾ NIVEL FREÁTICO: No se detecta
--	---

Diámetro de la probeta (mm): 70 ▾
 Diámetro del casing (mm): 74,93 ▾
 Longitud de probeta (cm): 21 ▾
 Altura de monitor sobre superficie: 1,00m
 Volumen inicial: 0,00cm³
 Corrección por inercia: De acuerdo a curva realizada el 01/06/02
 Corrección por deformabilidad interna De acuerdo a curva realizada el 01/06/02

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	15	0,58	0,53	0,00	15,00
0,25	105	170	0,43	0,42	104,15	169,15
0,51	230	260	0,45	0,51	228,30	258,30
0,76	285	295	0,60	0,71	282,45	292,45
1,02	312	320	0,81	0,92	308,60	316,60
1,53	347	355	1,27	1,37	341,90	349,90
2,04	385	397	1,72	1,81	378,20	390,20
2,55	435	450	2,15	2,24	426,50	441,50
3,06	490	512	2,57	2,66	479,80	501,80
3,57	550	575	2,99	3,06	538,10	563,10



ICE - ENERGÍA
UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD

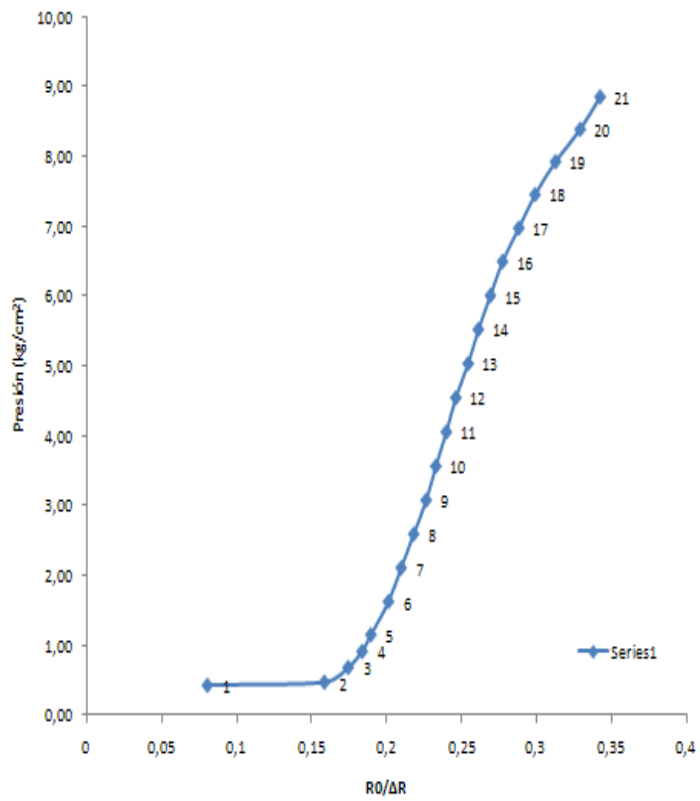


PROYECTO: Ampliación del Edificio Central	FECHA: 30/07/20
OBRA: Cimentación de Edificio	OPERADOR: Luis Bermúdez
SONDEO: P3	TIPO DE SUELO: Limo Compacto-Café O
PROFUNDIDAD: 7,00m	NIVEL FREÁTICO: No se detecta

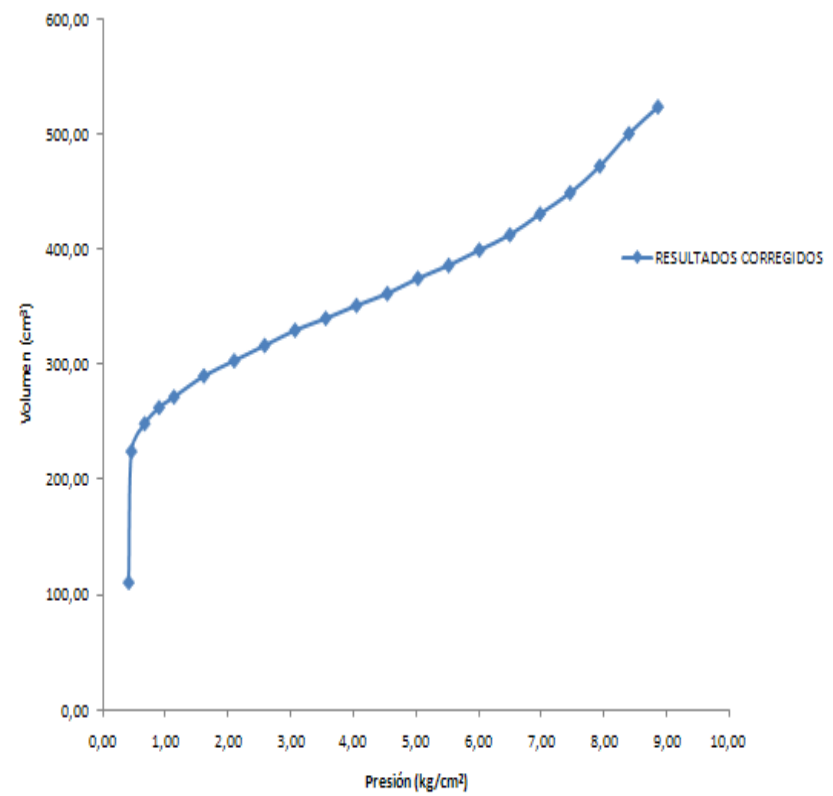
Diámetro de la probeta (mm):	70
Diámetro del casing (mm):	74,93
Longitud de probeta (cm):	21
Altura de monitor sobre superficie:	1,00m
Volumen inicial:	0,00cm ³
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02
Corrección por deformabilidad interna:	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	110	0,73	0,42	0,00	110,00
0,25	190	225	0,41	0,47	189,15	224,15
0,51	245	250	0,57	0,68	243,30	248,30
0,76	260	265	0,80	0,91	257,45	262,45
1,02	270	275	1,04	1,15	266,60	271,60
1,53	290	295	1,51	1,62	284,90	289,90
2,04	305	310	2,00	2,11	298,20	303,20
2,55	320	325	2,48	2,59	311,50	316,50
3,06	337	340	2,96	3,07	326,80	329,80
3,57	350	352	3,45	3,56	338,10	340,10
4,08	365	365	3,94	4,05	351,40	351,40
4,59	375	377	4,43	4,54	359,70	361,70
5,10	390	392	4,92	5,03	373,00	375,00
5,61	400	405	5,41	5,52	381,31	386,31
6,12	415	420	5,90	6,01	394,61	399,61
6,63	430	435	6,38	6,49	407,91	412,91
7,14	450	455	6,86	6,97	426,21	431,21
7,64787	470	475	7,34	7,45	444,51	449,51
8,16	495	500	7,81	7,93	467,81	472,81
8,67	520	530	8,28	8,39	491,11	501,11
9,18	545	555	8,76	8,85	514,41	524,41

Obtención de la Presión Horizontal en Descanso



Curva del Presiómetro MENARD



ICE - ENERGÍA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD

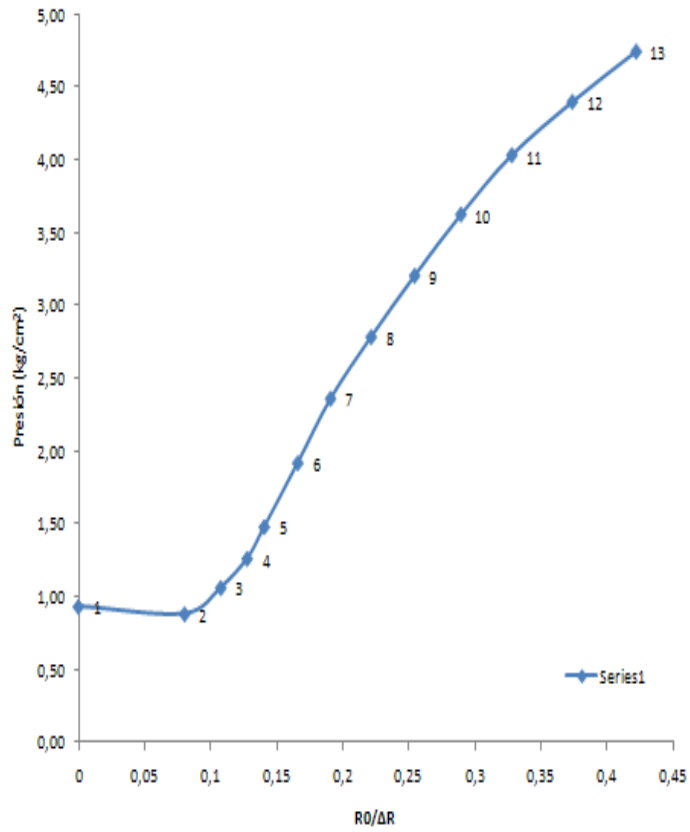


PROYECTO: <input type="text" value="Ampliación del Edificio Central"/>	FECHA: <input type="text" value="30/07/2002"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación de Edificio"/>	OPERADOR: Luis Bermúdez
SONDEO: <input type="text" value="P3"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Limo Compacto-Café O."/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="9,00m"/>	NIVEL FREÁTICO: No se detecta

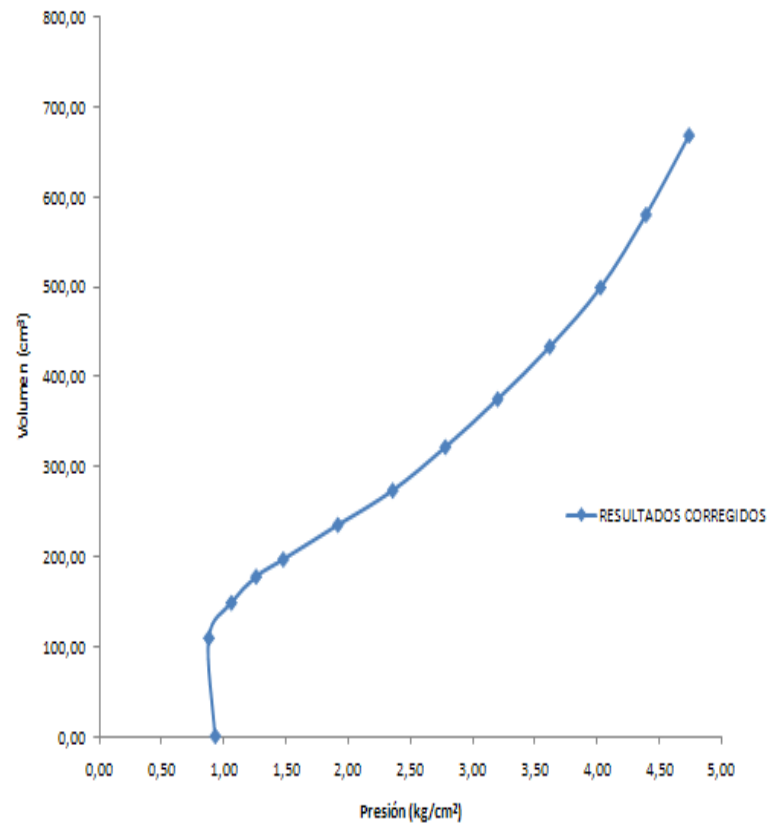
Diámetro de la probeta (mm):	<input type="text" value="70"/>
Diámetro del casing (mm):	<input type="text" value="74,93"/>
Longitud de probeta (cm):	<input type="text" value="21"/>
Altura de monitor sobre superficie:	1,00m
Volumen inicial:	0,00cm ³
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02
Corrección por deformabilidad interna:	De acuerdo a curva realizada el 01/06/02

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada	Volumen registrado	Volumen registrado 60"	Presión corregida 30"	Presión corregida 60"	Volumen corregido 30"	Volumen corregido 60"
(kg/cm ²)	30" (cm ²)	(cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(cm ²)	60" (cm ²)
0,00	0	0	0,93	0,93	0,00	0,00
0,25	85	110	0,83	0,88	84,15	109,15
0,51	140	150	0,96	1,06	138,30	148,30
0,76	175	180	1,15	1,26	172,45	177,45
1,02	195	200	1,37	1,48	191,60	196,60
1,53	225	240	1,83	1,92	219,90	234,90
2,04	267,5	280	2,26	2,36	260,70	273,20
2,55	312,5	330	2,69	2,78	304,00	321,50
3,06	365	385	3,12	3,20	354,80	374,80
3,57	422,5	445	3,54	3,62	410,60	433,10
4,08	487,5	512,5	3,94	4,03	473,90	498,90
4,59	560	595	4,34	4,39	544,70	579,70
5,10	650	685	4,69	4,74	633,00	668,00

Obtención de la Presión Horizontal en Descanso

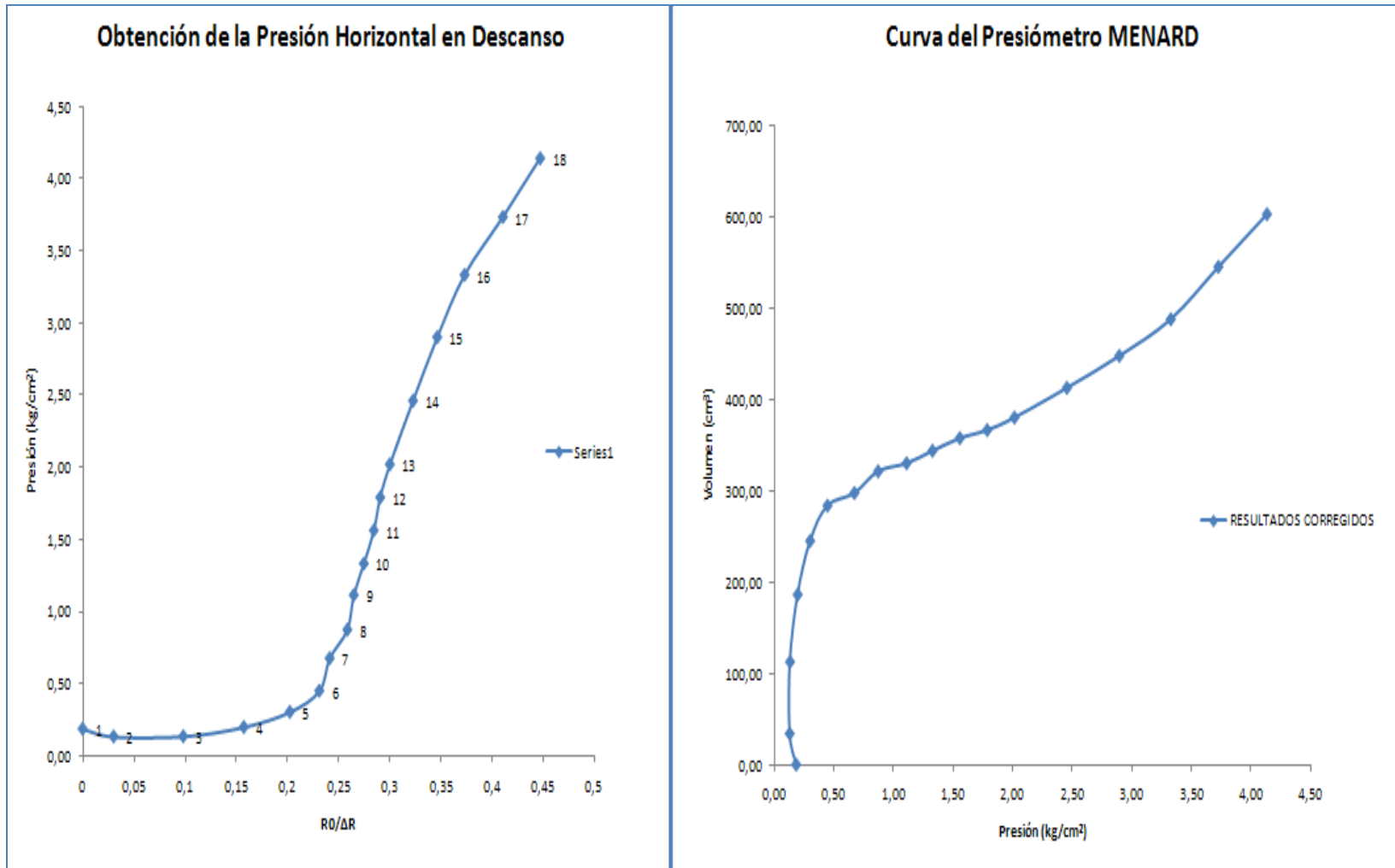


Curva del Presiómetro MENARD



Proyecto Hidroeléctrico El Diquis

ICE - ENERGÍA			UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS			
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO						
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA						
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD						
PROYECTO:	PHEl Diquis			FECHA:	28/07/2009	
OBRA:	Cimentación Casa Máquinas			OPERADOR:	Luis Bermúdez	
SONDEO:	Trinchera # 3			TIPO DE SUEL:	Lim o Compacto-Café O:	
PROFUNDIDAD	0,85m			NIVEL FREÁTIC	No se detecta	
Diámetro de la probeta (mm):	70			Diámetro del casing (mm):	74,93	
Longitud de probeta (cm):	21			Altura de monitor sobre superficie:	1,00m	
Volumen inicial:	0,00cm ³			Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 27/07/09	
Corrección por deformabilidad interna:				Corrección por deformabilidad interna:	De acuerdo a curva realizada el 03/08/09	
DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada	Volumen registrado	Volumen registrado 60"	Presión corregida 30"	Presión corregida 60"	Volumen corregido 30"	Volumen corregido 60"
(kg/cm ²)	30" (cm ³)	(cm ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(cm ³)	60" (cm ³)
0,00	0	0	0,19	0,19	0,00	0,00
0,25	25	35	0,11	0,13	23,83	33,83
0,51	85	115	0,12	0,13	82,61	112,61
0,76	165	190	0,15	0,20	161,44	186,44
1,02	225	250	0,25	0,30	220,23	245,23
1,27	275	290	0,38	0,45	269,06	284,06
1,53	297,5	305	0,59	0,67	290,34	297,84
1,78	320	330	0,79	0,87	311,67	321,67
2,04	340	340	1,00	1,11	330,45	330,45
2,29	350	355	1,23	1,33	339,28	344,28
2,55	370	370	1,45	1,56	358,06	358,06
2,80	377,5	380	1,68	1,79	364,39	366,89
3,06	395	395	1,91	2,02	380,68	380,68
3,57	422,5	430	2,36	2,46	405,79	413,29
4,08	455	467,5	2,81	2,90	435,90	448,40
4,59	497,5	510	3,23	3,33	476,02	488,52
5,10	550	570	3,66	3,73	526,13	546,13
5,61	605	630	4,07	4,14	578,74	603,74



ICE - ENERGIA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: <input type="text" value="PHEI Diquis"/>	FECHA: <input type="text" value="28/07/2009"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación Casa Máquinas"/>	OPERADOR: Luis Bermúdez
SONDEO: <input type="text" value="Trinchera # 4"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Limo Compacto-Café O"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="1,30m"/>	NIVEL FREÁTICO: No se detecta

Diámetro de la probeta (mm):

Diámetro del casing (mm):

Longitud de probeta (cm):

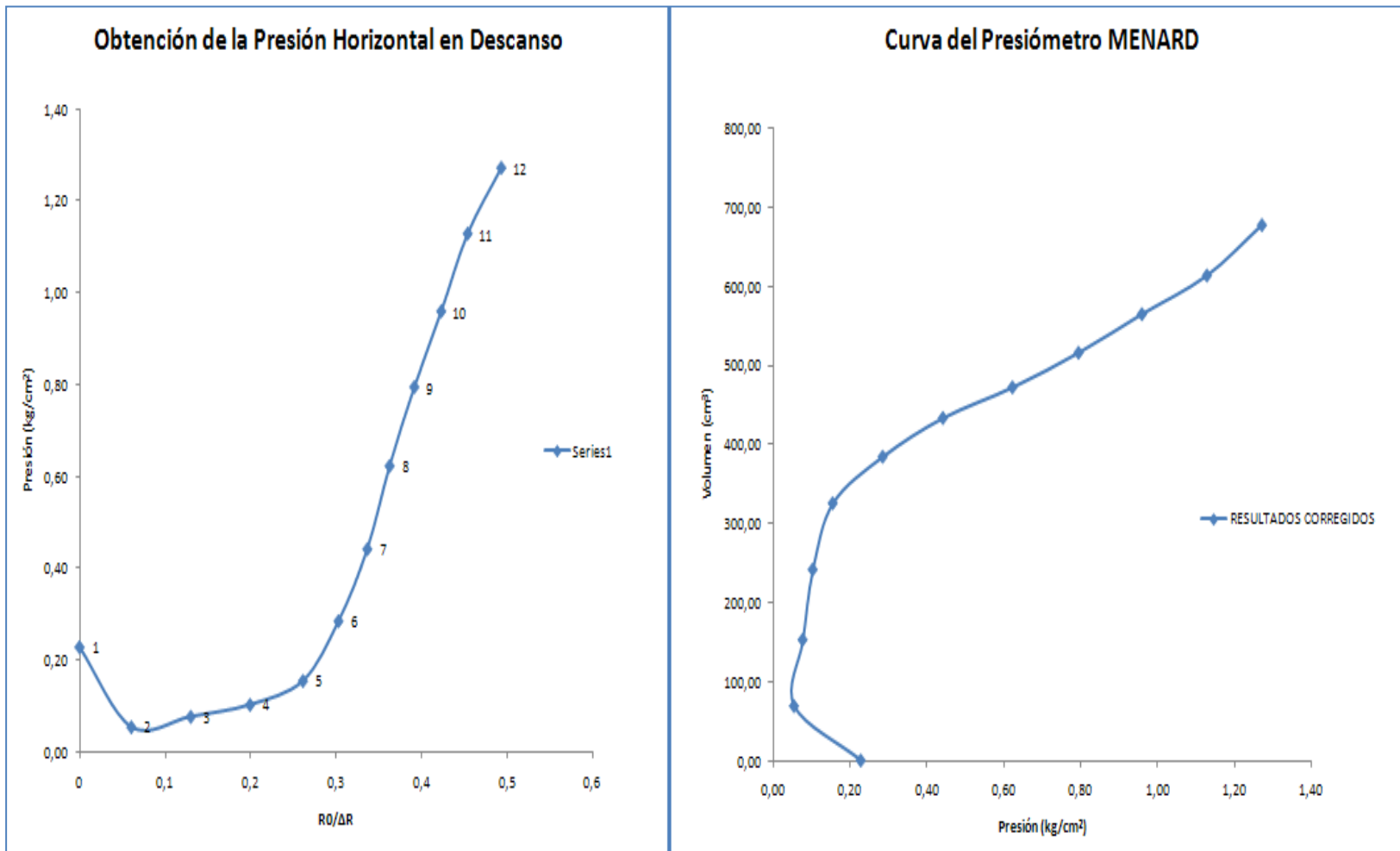
Altura de monitor sobre superficie:

Volumen inicial:

Corrección por inercia:

Corrección por deformabilidad inter:

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,23	0,23	0,00	0,00
0,25	40	70	0,08	0,06	38,81	68,81
0,51	115	155	0,08	0,08	112,61	152,61
0,76	205	245	0,09	0,10	201,42	241,42
1,02	295	330	0,13	0,16	290,23	325,23
1,27	370	390	0,21	0,29	364,03	384,03
1,53	425	440	0,36	0,44	417,84	432,84
1,78	465	480	0,53	0,62	456,65	471,65
2,04	505	525	0,71	0,80	495,45	515,45
2,29	555	575	0,89	0,96	544,26	564,26
2,55	605	625	1,06	1,13	593,07	613,07
2,80	660	690	1,20	1,27	646,88	676,88



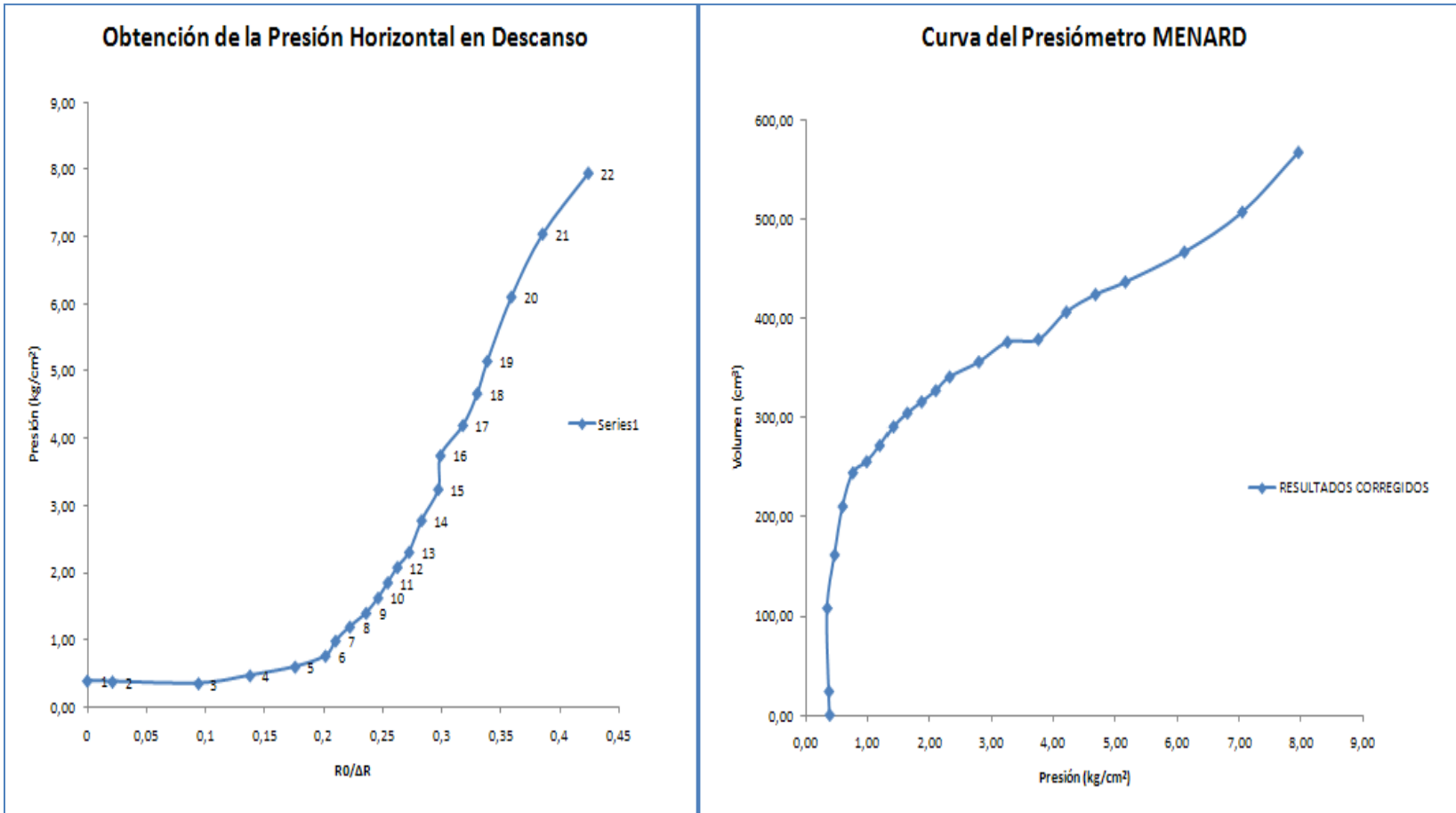
ICE - ENERGÍA
UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: PHEI Diquis	FECHA: 28/07/200
OBRA: Cimentación Casa Máquinas	OPERADOR: Luis Bermúdez
SONDEO: Trincheira # 1	TIPO DE SUELO: Compacto-Café Oscuro
PROFUNDIDAD: 2,95m	NIVEL FREÁTICO: No se detecta

Diámetro de la probeta (mm):	70
Diámetro del casing (mm):	74,93
Longitud de probeta (cm):	21
Altura de monitor sobre superficie:	1,00m
Volumen inicial:	0,00cm ³
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 27/07/09
Corrección por deformabilidad interna:	De acuerdo a curva realizada el 03/08/09

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,40	0,40	0,00	0,00
0,25	20	25	0,35	0,38	18,81	23,81
0,51	75	110	0,36	0,36	72,61	107,61
0,76	140	165	0,43	0,47	136,42	161,42
1,02	200	215	0,52	0,60	195,23	210,23
1,27	240	250	0,68	0,77	234,03	244,03
1,53	257,5	262,5	0,89	0,99	250,34	255,34
1,78	275	280	1,10	1,20	266,65	271,65
2,04	295	300	1,31	1,40	285,45	290,45
2,29	310	315	1,53	1,63	299,26	304,26
2,55	325	327,5	1,75	1,86	313,07	315,57
2,80	337,5	340	1,98	2,09	324,38	326,88
3,06	350	355	2,21	2,31	335,68	340,68
3,57	370	372,5	2,67	2,78	353,30	355,80
4,08	390	395	3,14	3,25	370,91	375,91
4,59	395	400	3,64	3,74	373,52	378,52
5,10	425	430	4,09	4,20	401,14	406,14
5,61	445	450	4,56	4,67	418,75	423,75
6,12	462,5	465	5,04	5,15	433,86	436,36
7,14	495	500	5,99	6,11	461,59	466,59
8,16	537,5	545	6,94	7,04	499,32	506,82
9,18	590	610	7,88	7,95	547,05	567,05



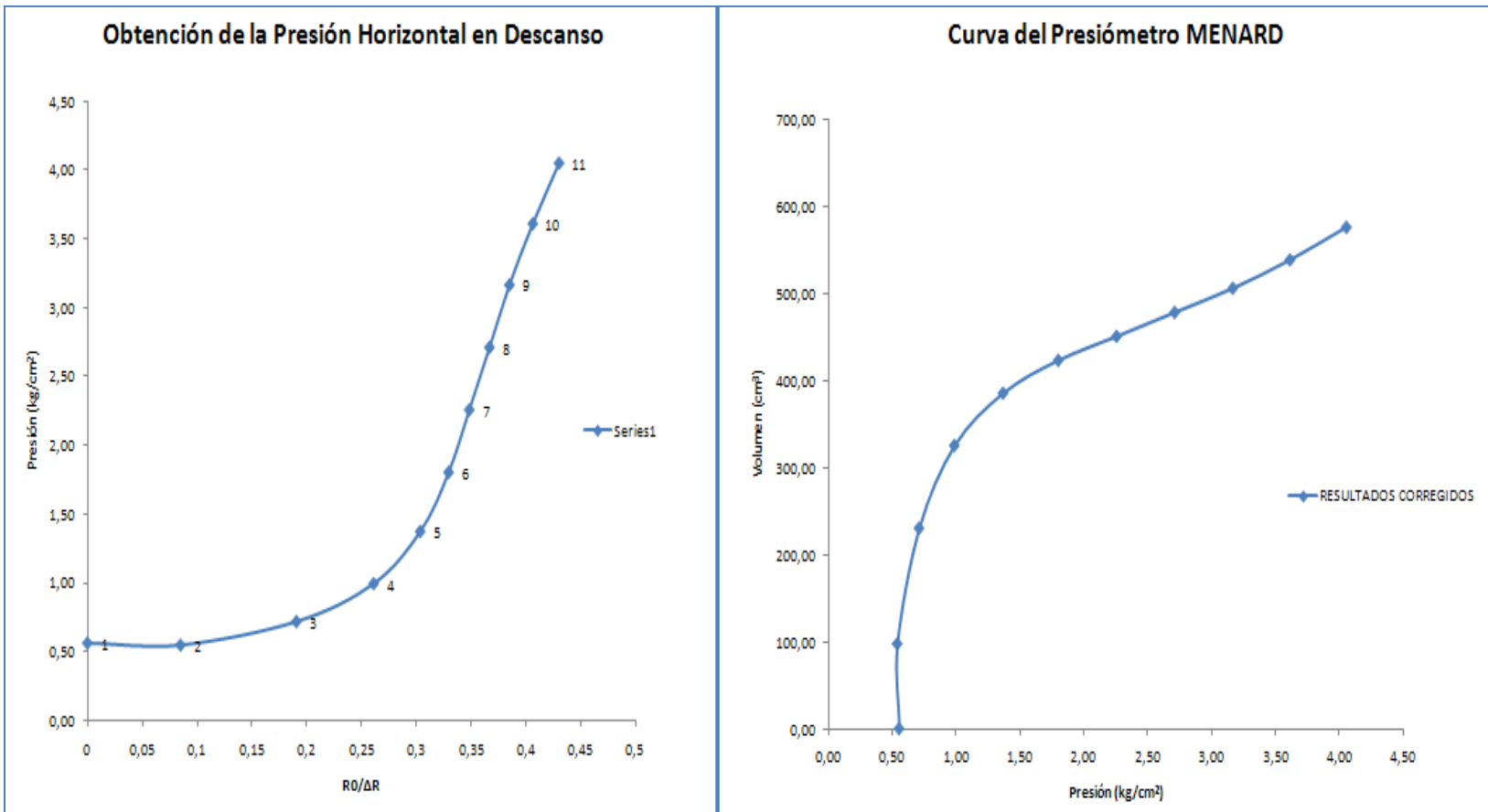
ICE - ENERGIA
 UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
 CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
 ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD




PROYECTO: <input type="text" value="PHEI Diquis"/>	FECHA: <input type="text" value="28/07/2009"/>
OBRA: <input type="text" value="Cimentación Casa Máquinas"/>	OPERADOR: Luis Bermúdez
SONDEO: <input type="text" value="Camino alternativo"/>	TIPO DE SUELO: <input type="text" value="Limo Compacto-Café O"/>
PROFUNDIDAD: <input type="text" value="4,60m"/>	NIVEL FREÁTICO: No se detecta

Diámetro de la probeta (mm):	<input type="text" value="70"/>
Diámetro del casing (mm):	<input type="text" value="74,93"/>
Longitud de probeta (cm):	<input type="text" value="21"/>
Altura de monitor sobre superficie:	1,00m
Volumen inicial:	0,00cm ³
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 27/07/09
Corrección por deformabilidad inter:	De acuerdo a curva realizada el 03/08/09

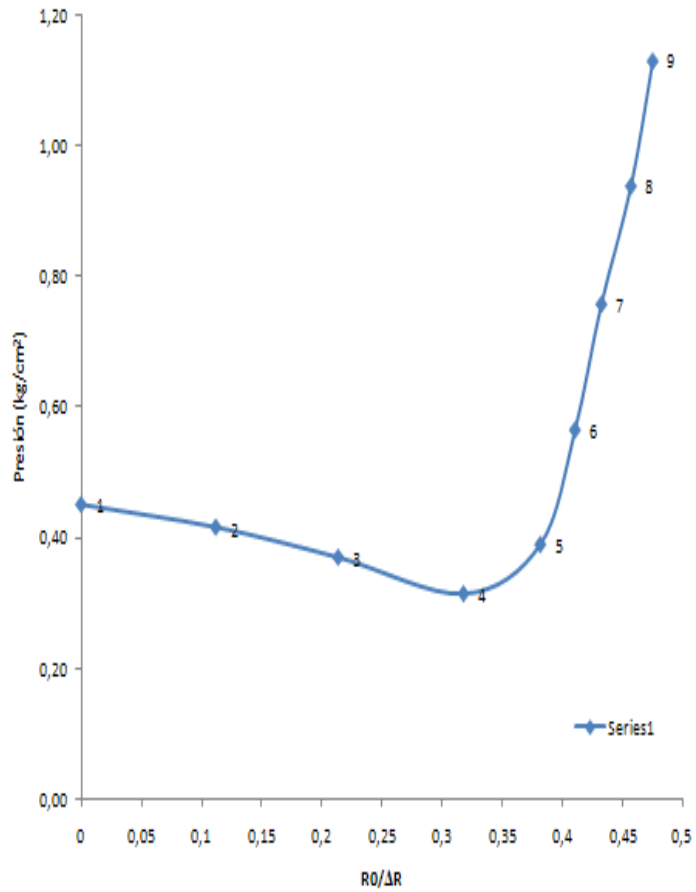
DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,56	0,56	0,00	0,00
0,51	55	100	0,60	0,55	52,61	97,61
1,02	175	235	0,76	0,72	170,23	230,23
1,53	300	332,5	0,96	0,99	292,84	325,34
2,04	380	395	1,29	1,37	370,45	385,45
2,55	425	435	1,71	1,80	413,06	423,06
3,06	460	465	2,15	2,26	445,68	450,68
3,57	490	495	2,60	2,71	473,29	478,29
4,08	517,5	525	3,06	3,17	498,40	505,90
4,59	555	560	3,51	3,61	533,52	538,52
5,10	587,5	600	3,97	4,05	563,63	576,13



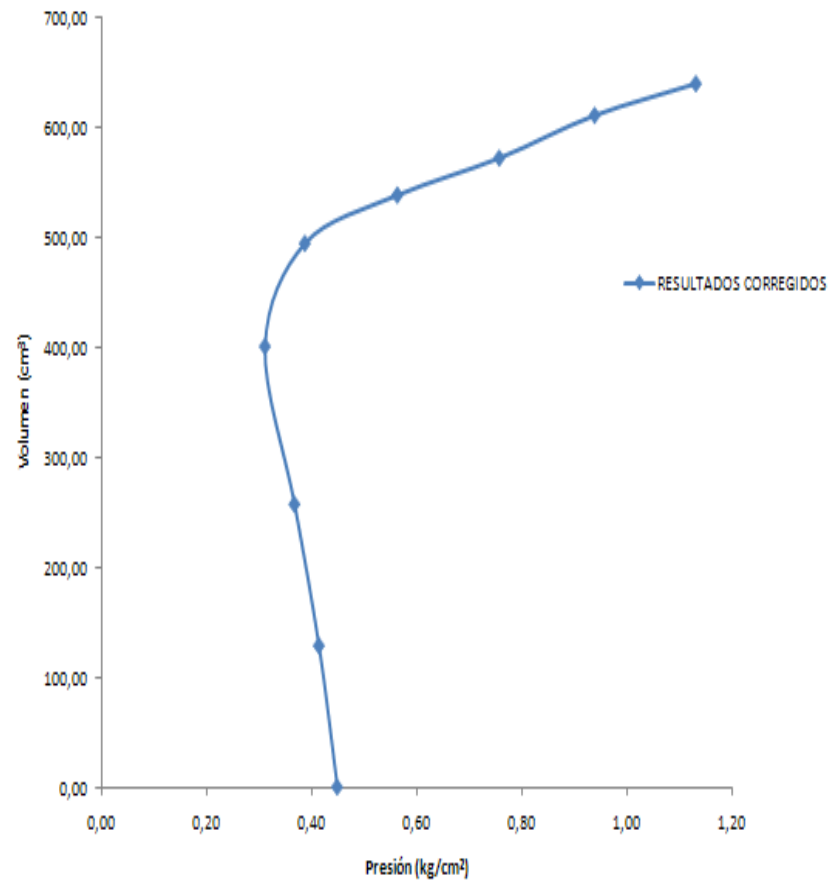
Proyecto GSM-BTS. Villa Briceño

ICE - ENERGÍA UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS CENTRO DE SERVICIO DISEÑO ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA						
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD						
PROYECTO:	Torre Villa Briceño	FECHA:	01/10/2009			
OBRA:	Cimentación Torre Telecomuni	OPERADOR:	Luis Bermúdez			
SONDEO:	A1	TIPO DE SUELO:	Limo arcilloso-Café Clara			
PROFUNDIDAD:	3,50m	NIVEL FREÁTICO:	No se detecta			
Diámetro de la probeta (mm):	70	Diámetro del casing (mm):	74,93			
Longitud de probeta (cm):	21	Altura de monitor sobre superficie:	1,00m			
Volumen inicial:	0,00cm ³					
Corrección por inercia:	De acuerdo a curva realizada el 01/10/09					
Corrección por deformabilidad interna:	De acuerdo a curva realizada el 03/08/09					
DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada (kg/cm ²)	Volumen registrado 30" (cm ³)	Volumen registrado 60" (cm ³)	Presión corregida 30" (kg/cm ²)	Presión corregida 60" (kg/cm ²)	Volumen corregido 30" (cm ³)	Volumen corregido 60" (cm ³)
0,00	0	0	0,45	0,45	0,00	0,00
0,25	60	130	0,53	0,42	58,87	128,87
0,51	170	260	0,44	0,37	167,75	257,75
0,76	325	405	0,37	0,31	321,62	401,62
1,02	445	500	0,38	0,39	440,50	495,50
1,27	505	545	0,52	0,56	499,37	539,37
1,53	545	580	0,70	0,76	538,25	573,25
1,78	585	620	0,87	0,94	577,12	612,12
2,04	615	650	1,05	1,13	605,99	640,99

Obtención de la Presión Horizontal en Descanso



Curva del Presiómetro MENARD



Apéndice 2:

Otros cálculos realizados

En la sección de resultados se pudo observar que los cálculos referidos a la capacidad de soporte última con respecto al cálculo de $p_0=k_0\gamma d$ no apareció, esto porque los cálculos con ambos métodos son bastante similar, no obstante, en

esta sección se agregan los cuadros alusivos a estos resultados. Para estos cálculos se hace uso de "d" igual al desplante propuesto en las descripciones de los proyectos, es decir, en las fichas técnicas correspondientes.

CAPACIDAD DE SOPORTE SEGÚN P_{02} PARA EÓLICO TEJONA						
Perforación	Profundidad (m)	k	q_{PMT1} (k/cm ²)	q_{PMT2} (k/cm ²)	q_{PMT3} (k/cm ²)	q_{PMT4} (k/cm ²)
PT-1	4,23	1,1	3,02	2,31	4,34	2,69
	7,25	1,45	11,62	10,42	18,12	11,86
	11,40	1,6	19,32	15,84	25,90	18,95
PT-4	4,50	1,3	23,90	16,17	24,85	12,92
PT-5	4,45	1,30	8,60	8,01	11,11	6,49
	6,35	1,40	27,57	18,87	25,97	17,45
	8,15	1,50	14,61	12,06	16,75	10,81

CAPACIDAD DE SOPORTE SEGÚN P_{02} PARA EDIFICO CENTRAL							
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	k	q_{PMT1} (k/cm ²)	q_{PMT2} (k/cm ²)	q_{PMT3} (k/cm ²)	q_{PMT4} (k/cm ²)
P3	2,8x2,8	3,5	1,6	36,95	19,99	26,03	4,90
		5,5	1,8	9,80	6,36	10,60	2,31
		7	1,9	36,88	27,46	42,81	19,52
		9	1,90	8,21	6,90	10,43	5,35
	4,6x4,6	3,5	1,40	32,41	17,57	22,85	4,36
		5,5	1,60	8,82	5,75	9,52	2,16
		7	1,70	33,13	24,70	38,43	17,59
		9	1,75	7,69	6,47	9,72	5,05

CAPACIDAD DE SOPORTE SEGÚN P_{02} PARA PHED							
Perforación	Placa (m)	Profundidad (m)	k	q_{PMT1} (k/cm ²)	q_{PMT2} (k/cm ²)	q_{PMT3} (k/cm ²)	q_{PMT4} (k/cm ²)
T-03-CM	2,0x2,0	0,85	1,2	8,60	6,20	8,46	4,80
Camino alterno		1,30	1,4	2,46	1,26	1,78	1,40
T-01-CM		2,95	1,7	22,41	15,86	23,43	12,66
T-04-CM		4,60	1,9	17,61	9,03	7,85	4,56
T-03-CM	3,0x3,0	0,85	1,15	8,25	5,95	8,11	4,61
Camino alterno		1,30	1,2	2,14	1,11	1,56	1,24
T-01-CM		2,95	1,5	19,83	14,06	20,73	11,23
T-04-CM		4,60	1,7	15,84	8,16	11,47	1,92

CAPACIDAD DE SOPORTE SEGÚN P_{02} PARA VILLA BRICEÑO

Perforación	Profundidad (m)	k	q_{PMT1} (k/cm ²)	q_{PMT2} (k/cm ²)	q_{PMT3} (k/cm ²)	q_{PMT4} (k/cm ²)
P1	3,5	1,3	11,44	7,15	7,58	4,35

Además, como se vio en la sección de resultados, también se hizo uso de una correlación para obtener los resultados de resistencia al corte no drenada a partir del número de golpes del SPT, por ello, para generar esta correlación se hizo ciertos cálculos, los mismo que se ubican en los siguientes cuadros.

Cabe destacar que el valor de η_1 y η_4 es 1,00, mientras que η_3 para el caso del proyecto Eólico Tejona es de 1,00, para los demás proyectos si aparece tabulado.

PT1. EÓLICO TEJONA

Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	N_{70}	C_{USPT} (kPa)	Promedio (kPa)
4,23	4,68	4,455	5	16,32	10,20	76,36	0,00	76,36	1,13	0,85	4,82	35,04	41,29
4,68	5,13	4,905	8			83,70	0,00	83,70	1,08	0,85	7,36	47,55	
6,9	7,35	7,125	17			119,92	0,00	119,92	0,90	0,95	14,61	77,88	61,09
7,35	7,8	7,575	8			127,26	0,00	127,26	0,88	0,95	6,67	44,30	
10,95	11,4	11,175	23			186,00	0,00	186,00	0,73	1,00	16,70	85,77	82,50
11,4	11,85	11,625	21			193,34	0,00	193,34	0,71	1,00	14,96	79,22	

PT4. EÓLICO TEJONA

Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	N_{70}	C_{USPT} (kPa)	Promedio (kPa)
4,65	5,10	4,88	11	16,32	10,20	83,21	0,00	83,21	1,09	0,85	10,15	59,93	59,93

PT5. EÓLICO TEJONA															
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)		
4,60	5,05	4,83	6	16,32	10,20	82,39	0,00	82,39	1,09	0,85	5,56	38,87	38,87		
6,20	6,65	6,43	6					108,50	0,00	108,50	0,95	0,95	5,42	38,14	37,70
6,65	7,10	6,88	6					115,84	0,00	115,84	0,92	0,95	5,25	37,25	
8,00	8,45	8,23	6					137,87	0,00	137,87	0,84	1,00	5,06	36,31	45,72
8,45	8,90	8,68	11			145,21	0,00	145,21	0,82	1,00	9,04	55,13			

P3. EDIFICIO CENTRAL. SPT1.														
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)
0,00	0,45	0,23	0	18,20	9,81	8,19	0,00	8,19	3,46	0,75	1,00	0,00	0,00	42,54
0,45	0,90	0,68	9			16,38	0,00	16,38	2,45	0,75	1,00	16,52	85,09	84,47
0,90	1,40	1,15	11			25,48	0,00	25,48	1,96	0,75	1,00	16,19	83,86	74,23
1,40	1,85	1,63	11			33,67	0,00	33,67	1,71	0,75	0,80	11,27	64,59	65,04
1,85	2,30	2,08	10			41,86	0,00	41,86	1,53	0,75	1,00	11,48	65,48	60,56
2,30	2,80	2,55	11			50,96	0,00	50,96	1,39	0,75	0,80	9,16	55,64	60,79
2,80	3,25	3,03	12			59,15	0,00	59,15	1,29	0,75	1,00	11,59	65,93	68,12
3,25	3,70	3,48	14			67,34	0,00	67,34	1,21	0,75	1,00	12,67	70,31	59,48
3,70	4,25	3,98	10			77,35	0,00	77,35	1,13	0,75	0,90	7,60	48,66	55,68
4,25	4,80	4,53	12			87,36	0,00	87,36	1,06	0,85	1,00	10,81	62,70	63,50
4,80	5,25	5,03	13			95,55	0,00	95,55	1,01	0,85	1,00	11,20	64,31	63,37
5,25	5,70	5,48	13			103,74	0,00	103,74	0,97	0,85	1,00	10,75	62,43	58,07
5,70	6,20	5,95	11			112,84	0,00	112,84	0,93	0,85	1,00	8,72	53,71	58,85
6,20	6,65	6,43	13			121,03	0,00	121,03	0,90	0,95	1,00	11,12	63,99	68,19
6,65	7,15	6,90	16			130,13	0,00	130,13	0,87	0,95	1,00	13,20	72,39	63,17
7,15	7,65	7,40	11			139,23	0,00	139,23	0,84	0,95	1,00	8,77	53,94	50,93
7,65	8,10	7,88	12			147,42	0,00	147,42	0,82	0,95	0,80	7,44	47,91	56,35
8,10	8,55	8,33	15			155,61	0,00	155,61	0,79	0,95	1,00	11,31	64,79	65,71
8,55	9,00	8,78	16			163,80	0,00	163,80	0,77	0,95	1,00	11,76	66,63	56,57
9,00	9,55	9,28	10			173,81	0,00	173,81	0,75	0,95	1,00	7,14	46,50	60,92
9,55	10,00	9,78	20	182,00	0,00	182,00	0,73	0,95	1,00	13,95	75,34	75,34		

P3. EDIFICIO CENTRAL. SPT2.														
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)
0,00	0,45	0,23	7	17,20	9,81	7,74	0,00	7,74	3,56	0,75	1,00	18,69	93,00	78,93
0,45	0,90	0,68	6			15,48	0,00	15,48	2,52	0,75	1,00	11,33	64,85	84,00
0,90	1,35	1,60	14			23,22	0,00	23,22	2,06	0,75	1,00	21,58	103,15	112,81
1,35	1,85	2,08	26			31,82	0,00	31,82	1,76	0,75	0,80	27,39	122,46	116,27
1,85	2,30	2,75	20			39,56	0,00	39,56	1,57	0,75	1,00	23,62	110,08	87,23
2,30	3,20	3,45	14			55,04	0,00	55,04	1,34	0,75	0,80	11,21	64,38	86,66
3,20	3,70	3,93	25			63,64	0,00	63,64	1,24	0,75	1,00	23,28	108,93	105,21
3,70	4,15	4,40	24			71,38	0,00	71,38	1,17	0,75	1,00	21,10	101,49	97,16
4,15	4,65	4,88	22			79,98	0,00	79,98	1,11	0,85	0,90	18,64	92,82	91,63
4,65	5,10	5,33	20			87,72	0,00	87,72	1,06	0,85	1,00	17,98	90,43	93,72
5,10	5,55	5,78	23			95,46	0,00	95,46	1,01	0,85	1,00	19,82	97,01	79,78
5,55	6,00	6,23	13			103,20	0,00	103,20	0,97	0,85	1,00	10,77	62,55	77,90
6,00	6,45	6,68	21			110,94	0,00	110,94	0,94	0,95	1,00	18,76	93,25	82,34
6,45	6,90	7,15	15			118,68	0,00	118,68	0,91	0,95	1,00	12,96	71,43	65,38
6,90	7,40	7,63	12			127,28	0,00	127,28	0,88	0,95	1,00	10,01	59,32	60,42
7,40	7,85	8,08	13			135,02	0,00	135,02	0,85	0,95	1,00	10,53	61,52	57,84
7,85	8,30	8,53	14			142,76	0,00	142,76	0,83	0,95	0,80	8,82	54,16	58,28
8,30	8,75	8,98	14			150,50	0,00	150,50	0,81	0,95	1,00	10,74	62,40	67,92
8,75	9,20	9,43	18			158,24	0,00	158,24	0,79	0,95	1,00	13,46	73,44	78,42
9,20	9,65	9,88	22			165,98	0,00	165,98	0,77	0,95	1,00	16,07	83,41	96,40
9,65	10,10	10,10	41	173,72	0,00	173,72	0,75	0,95	0,80	23,42	109,39	109,39		

SPT1. PHED														
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)
0,10	0,55	0,33	18	17,49	9,81	9,62	0,00	9,62	3,19	0,75	1,00	43,11	169,77	186,12
0,55	1,00	0,78	31			17,49	0,00	17,49	2,37	0,75	1,00	55,07	202,47	193,87
1,00	1,45	1,23	33			25,36	0,00	25,36	1,97	0,75	1,00	48,68	185,28	155,41
1,45	1,90	1,68	22			33,23	0,00	33,23	1,72	0,75	1,00	28,35	125,54	140,63
1,90	2,35	2,13	33			41,10	0,00	41,10	1,55	0,75	1,00	38,24	155,71	155,68
2,35	2,80	2,58	36			48,97	0,00	48,97	1,42	0,75	1,00	38,22	155,65	155,65

SPT2. PHED														
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)
0,10	0,55	0,33	14	17,49	9,81	9,62	0,00	9,62	3,19	0,75	1,00	33,53	141,67	142,00
0,55	1,00	0,78	19			17,49	0,00	17,49	2,37	0,75	1,00	33,75	142,33	118,53
1,00	1,45	1,23	13			25,36	0,00	25,36	1,97	0,75	1,00	19,18	94,74	97,28
1,45	1,90	1,68	16			33,23	0,00	33,23	1,72	0,75	1,00	20,62	99,82	85,21
1,90	2,35	2,13	11			41,10	0,00	41,10	1,55	0,75	1,00	12,75	70,60	80,64
2,35	2,80	2,58	17			48,97	0,00	48,97	1,42	0,75	1,00	18,05	90,68	84,61
2,80	3,25	3,03	15			56,84	0,00	56,84	1,31	0,75	1,00	14,78	78,54	91,84
3,25	3,70	3,48	24			64,71	0,00	64,71	1,23	0,75	1,00	22,16	105,14	84,05
3,70	4,15	3,93	11			72,58	0,00	72,58	1,16	0,85	1,00	10,87	62,95	83,06
4,15	4,60	4,38	23			80,45	0,00	80,45	1,10	0,85	1,00	21,59	103,17	98,31
4,60	5,05	4,83	21			88,32	0,00	88,32	1,05	0,85	1,00	18,81	93,44	92,03
5,05	5,50	5,28	21			96,18	0,00	96,18	1,01	0,85	1,00	18,03	90,61	90,71

5,50	6,00	5,75	22			104,93	0,00	104,93	0,97	0,85	1,00	18,08	90,81	100,95
6,00	6,45	6,23	27			112,80	0,00	112,80	0,93	0,95	1,00	23,92	111,08	111,08

SPT1. VILLA BRICEÑO																
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)		
0,10	0,55	0,33	0	18,35	9,81	10,10	0,00	10,10	3,12	0,75	1,00	0,00	0,00	22,78		
0,55	1,00	0,78	4			18,35	9,81	18,35	0,00	18,35	2,31	0,75	1,00	6,94	45,55	46,17
1,00	1,45	1,23	5			18,35	9,81	26,61	0,00	26,61	1,92	0,75	1,00	7,20	46,79	44,62
1,45	1,90	1,68	5			18,35	9,81	34,87	0,00	34,87	1,68	0,75	1,00	6,29	42,45	37,85
1,95	2,40	2,18	4			18,35	9,81	44,05	0,00	44,05	1,49	0,75	1,00	4,48	33,24	34,96
2,40	2,85	2,63	5			18,35	9,81	52,31	0,00	52,31	1,37	0,75	1,00	5,14	36,69	35,75
2,85	3,30	3,08	5			18,35	9,81	60,57	0,00	60,57	1,27	0,75	1,00	4,77	34,80	29,93
3,35	3,80	3,58	3			18,35	9,81	69,75	0,00	69,75	1,19	0,85	1,00	3,02	25,06	32,35
3,80	4,25	4,03	6			18,35	9,81	78,01	0,00	78,01	1,12	0,85	1,00	5,72	39,65	41,19
4,25	4,70	4,48	7			18,35	9,81	86,27	0,00	86,27	1,07	0,85	1,00	6,34	42,72	42,03
4,70	5,15	4,93	7			18,35	9,81	94,53	0,00	94,53	1,02	0,85	1,00	6,06	41,34	48,44
5,15	5,60	5,38	11			18,35	9,81	102,79	0,00	102,79	0,98	0,85	1,00	9,13	55,54	51,04
5,60	6,05	5,83	8			18,35	9,81	111,05	0,00	111,05	0,94	0,95	1,00	7,14	46,53	47,94
6,05	6,50	6,28	9			18,35	9,81	119,31	0,00	119,31	0,91	0,95	1,00	7,75	49,36	42,67
6,50	6,95	6,73	6			18,35	9,81	127,57	0,00	127,57	0,88	0,95	1,00	5,00	35,98	39,63
6,95	7,40	7,18	8			18,35	9,81	135,83	0,00	135,83	0,85	0,95	1,00	6,46	43,28	43,28

SPT2. VILLA BRICEÑO														
Profundidad (m)		Profundidad promedio (m)	N	γ (kPa/m)	γ_w (kPa/m)	σ_{total} (kPa)	u_0 (kPa)	$\sigma_{efectivo}$ (kPa)	C_N	η_2	η_3	N_{70}	Cu_{SPT} (kPa)	Promedio (kPa)
0,10	0,55	0,33	0	18,35	9,81	10,10	0,00	10,10	3,12	0,75	1,00	0,00	0,00	13,83
0,55	1,00	0,78	2			18,35	0,00	18,35	2,31	0,75	1,00	3,47	27,65	25,64
1,00	1,55	1,28	2			28,45	0,00	28,45	1,86	0,75	1,00	2,79	23,62	21,97
1,55	2,35	1,95	2			43,13	0,00	43,13	1,51	0,75	1,00	2,26	20,33	10,17
2,35	2,65	2,88	0			48,64	0,00	48,64	1,42	0,75	1,00	0,00	0,00	12,32
2,65	3,10	3,35	3			56,90	0,00	56,90	1,31	0,75	1,00	2,95	24,64	29,19
3,10	3,60	3,83	5			66,08	0,00	66,08	1,22	0,75	1,00	4,57	33,73	26,01
3,60	4,05	4,28	2			74,34	0,00	74,34	1,15	0,85	1,00	1,95	18,29	20,93
4,05	4,50	4,78	3			82,60	0,00	82,60	1,09	0,85	1,00	2,78	23,58	20,27
4,55	5,00	5,23	2			91,77	0,00	91,77	1,03	0,85	1,00	1,76	16,95	16,69
5,00	5,45	5,68	2			100,03	0,00	100,03	0,99	0,85	1,00	1,68	16,44	23,67
5,45	5,90	6,13	5			108,29	0,00	108,29	0,95	0,85	1,00	4,05	30,90	38,31
5,90	6,35	6,58	8			116,55	0,00	116,55	0,92	0,95	1,00	6,97	45,73	45,17
6,35	6,80	7,03	8			124,81	0,00	124,81	0,89	0,95	1,00	6,74	44,61	44,10
6,80	7,25		8			133,07	0,00	133,07	0,86	0,95	1,00	6,53	43,60	43,60

Apéndice 3:

Ayuda para la hoja de cálculo del presiómetro Ménard

En la hoja 1, o bien, la denominada mantenimiento (ver Figura 1). Se debe anotar las características generales del ensayo realizado en campo. Cada subtítulo indica lo que debe

anotarse a excepción de la celda denominada "registro consultado", esta celda no se debe modificar.

Proyectos	Obras	Perforación	Tipo de suelo	Diámetro de la probeta	Diámetro casing	longitudes de probeta	Registro consultado
Proyecto 1	Obra 1	P-1	Suelo 1	44mm		36	3
Proyecto 2	Obra 2	P-2	Suelo 2	58mm		21	
Proyecto 3	Obra 3	P-3	Suelo 3	70mm			
Proyecto 4	Obra 4	P-4	Suelo 4				
Proyecto 5	Obra 5	P-5	Suelo 5				
Proyecto 6	Obra 6	P-6	Suelo 6				
Proyecto 7	Obra 7	P-7	Suelo 7				
Proyecto 8	Obra 8	P-8	Suelo 8				
Proyecto 9	Obra 9	P-9	Suelo 9				
Proyecto 10	Obra 10	P-10	Suelo 10				
Proyecto 11	Obra 11	P-11	Suelo 11				
Proyecto 12	Obra 12	P-12	Suelo 12				
Proyecto 13	Obra 13	P-13	Suelo 13				
Proyecto 14	Obra 14	P-14	Suelo 14				
Proyecto 15	Obra 15	P-15	Suelo 15				
Proyecto 16	Obra 16	P-16	Suelo 16				
Proyecto 17	Obra 17	P-17	Suelo 17				
Proyecto 18	Obra 18	P-18	Suelo 18				
Proyecto 19	Obra 19	P-19	Suelo 19				
Proyecto 20	Obra 20	P-20	Suelo 20				
Proyecto 21	Obra 21	P-21	Suelo 21				
Proyecto 22	Obra 22	P-22	Suelo 22				
Proyecto 23	Obra 23	P-23	Suelo 23				
Proyecto 24	Obra 24	P-24	Suelo 24				
Proyecto 25	Obra 25	P-25	Suelo 25				
Proyecto 26	Obra 26	P-26	Suelo 26				
Proyecto 27	Obra 27	P-27	Suelo 27				
Proyecto 28	Obra 28	P-28	Suelo 28				
Proyecto 29	Obra 29	P-29	Suelo 29				

Figura 1. Datos generales.

Una vez realizado esto, en la hoja denominada "Ensayo 1" aparecen los nombres escritos en la hoja de mantenimiento. En esta hoja se debe indicar únicamente lo marcado en celeste y rojo (ver figura 2). Es conveniente mencionar que el volumen registrado debe comenzar en 0cc, es decir, si la primera lectura de campo de volumen

a los 30s y 60s es diferente de 0cc, debe traerse dicha la lectura de campo a 0cc, ya sea restando y sumando volumen, de tal manera que se le aplique esta técnica a todas los demás valores de volumen. Esto también debe aplicarse en las calibraciones.

ICE - ENERGIA
UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD



PROYECTO: Proyecto 1 OBRA: Obra 1 SONDEO: P-1 PROFUNDIDAD: 0,00m	FECHA: 17/11/20 OPERADOR: [Redacted] TIPO DE SUELO: Suelo 1 NIVEL FREÁTICO: No se detecta
---	--

Diámetro de la probeta (mm): 70
 Diámetro del casing (mm):
 Longitud de probeta (cm): 21
 Altura de monitor sobre superficie: 1,00m
 Volumen inicial: 0,00cm³
 Corrección por inercia: De acuerdo a curva realizada el 01/06/02
 Corrección por deformabilidad interna: De acuerdo a curva realizada el 01/06/02

DATOS REGISTRADOS			RESULTADOS CORREGIDOS			
Presión registrada [kg/cm ²]	Volumen registrado 30" [cm ³]	Volumen registrado 60" [cm ³]	Presión corregida 30"	Presión corregida 60" [kg/cm ²]	Volumen corregido 30" [cm ³]	Volumen corregido 60" [cm ³]

Figura 2. Formato de Ensayo 1.

En la figura 2 se observan algunos botones: "Ir a corrección por volumen" este botón hace aparecer la hoja para el cálculo por deformabilidad interna del aparato. Una vez en esta hoja se debe anotar la presión y los

volúmenes leídos cuando se efectuó la calibración por volumen de la probeta, estos deben anotarse en las celdas celestes de la figura 3.


ICE - ENERGÍA				
UEN PROYECTOS Y SERVICIOS ASOCIADOS				
CENTRO DE SERVICIO DISEÑO				
ÁREA INGENIERÍA GEOTÉCNICA				
ENSAYO CON PRESIÓMETRO MENARD				
PROYECTO:	Proyecto 1		OPERADOR:	-
FECHA:	01/06/2002		DIÁMETRO TUBO (mm):	
PROFUNDIDAD:	0		DIÁMETRO PROBETA (mm):	70
Altura de monitor sobre superficie (m):		1,0		
Volumen inicial (cm ³):		0,0		<input type="button" value="Calcular"/>
CALIBRACIÓN POR VOLUMEN				
Presión (kg/cm ²)	Volumen 30" (cm ³)	Volumen 60" (cm ³)	Volumen Corregido 30" (cm ³)	Volumen Corregido 60" (cm ³)

Figura 3. Calibración por deformabilidad interna del aparato.

Una vez que estén llenas las celdas correspondientes se presiona el botón calcular, el cual tomará dichos valores y dibujará la curva correspondiente al lado derecho de la figura 3. En la siguiente figura se muestra la curva y el formulario correspondiente. En este formulario, denominado “Corrección por volumen” las cajas marcadas en rojo debe de llenarse con los números correspondientes. Para el ejemplo de la Figura 4 ambas curvas (lecturas tomadas a los 30s y 60s) son idénticas desde el punto 12. El motivo de este formulario es calcular la

pendiente de la parte recta de la curva, en este ejemplo entre los puntos 19 y 25. Estos puntos se deben escribir en la celdas correspondientes (punto 1 y punto 2) y a cada una presionarle el botón calcular, una vez que se le presione el botón aparecerá una línea recta que comprende los puntos marcados en la curva. De estar seguros que estos son los puntos correspondientes se continúa, presionando el botón de “salir” y sino, entonces se vuelve a calcular la recta en “recalcular recta” para volver a obtener un nuevo valor de pendiente.

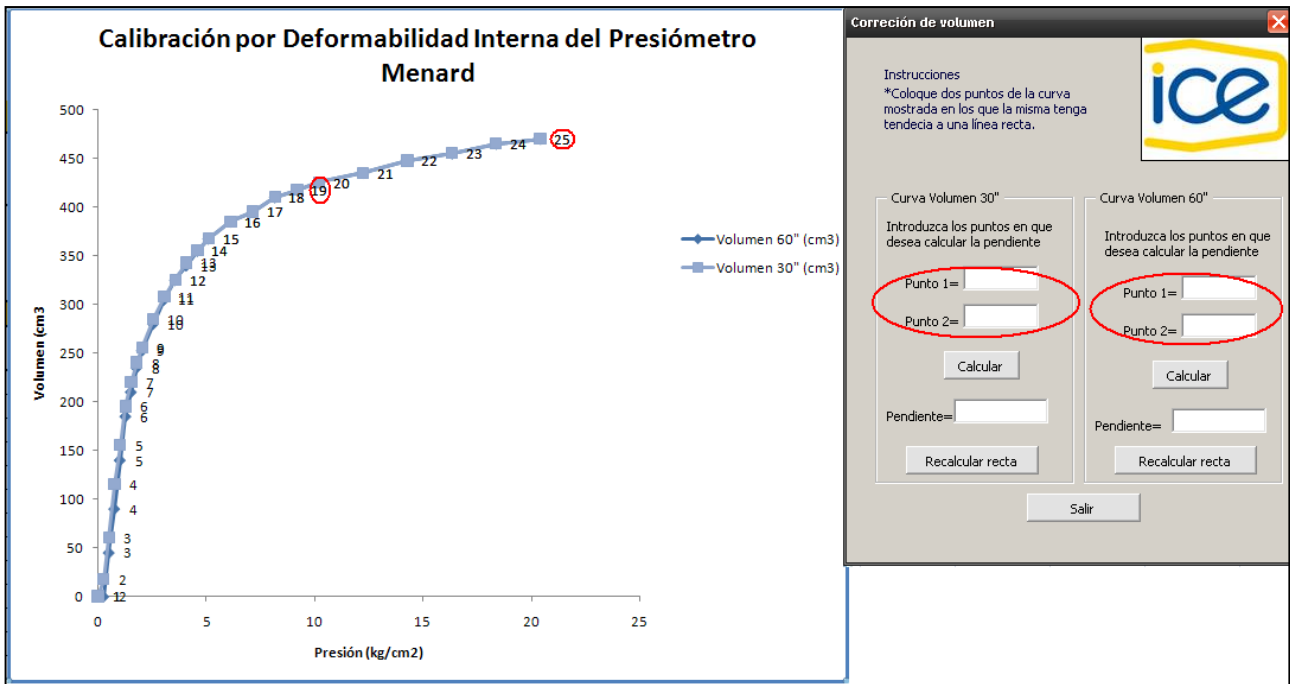


Figura 4. Formulario de Calibración por deformabilidad interna del aparato.

Al presionar el botón “Salir” aparece un mensaje, el cual pregunta si desea guardar la información de la curva por deformabilidad interna del aparato. De ser una curva antes guardada se recomienda no hacerlo ya que esto sería repetir los datos en la hoja denominada “BDC”. Luego de este mensaje el programa vuelve a “Ensayo 1”, en esta hoja se marca el segundo botón, o bien, el denominado “Ir a corrección por Presión”. Este botón hace aparecer la hoja

correspondiente para realizar la corrección por presión. En la Figura 5 aparece la hoja donde se debe escribir los datos tomados en campo, de igual manera que en las anteriores solo es necesario llenar los espacios sombreados en celeste. Además en esta hoja no aparecerá ningún formulario ya que el cálculo correspondiente se hace al presionar el botón de calcular y luego se presiona “volver a ensayo” para volver a la Figura 2.

Con el valor de presión horizontal en reposo se procede a presionar el botón de “Curva Menard”. Este botón hará aparecer un formulario en el que debe indicarse los puntos donde se da la fase elástica de la prueba, es decir, la segunda fase de la curva, la cual en buena teoría debe

semejarse una recta. En este ejemplo se escogen los puntos 9 y 20 y se colocan en las celdas correspondientes, marcadas como punto 1 y punto 2 de las cajas denominadas como cambio de presión y cambio de volumen, en la Figura 7:

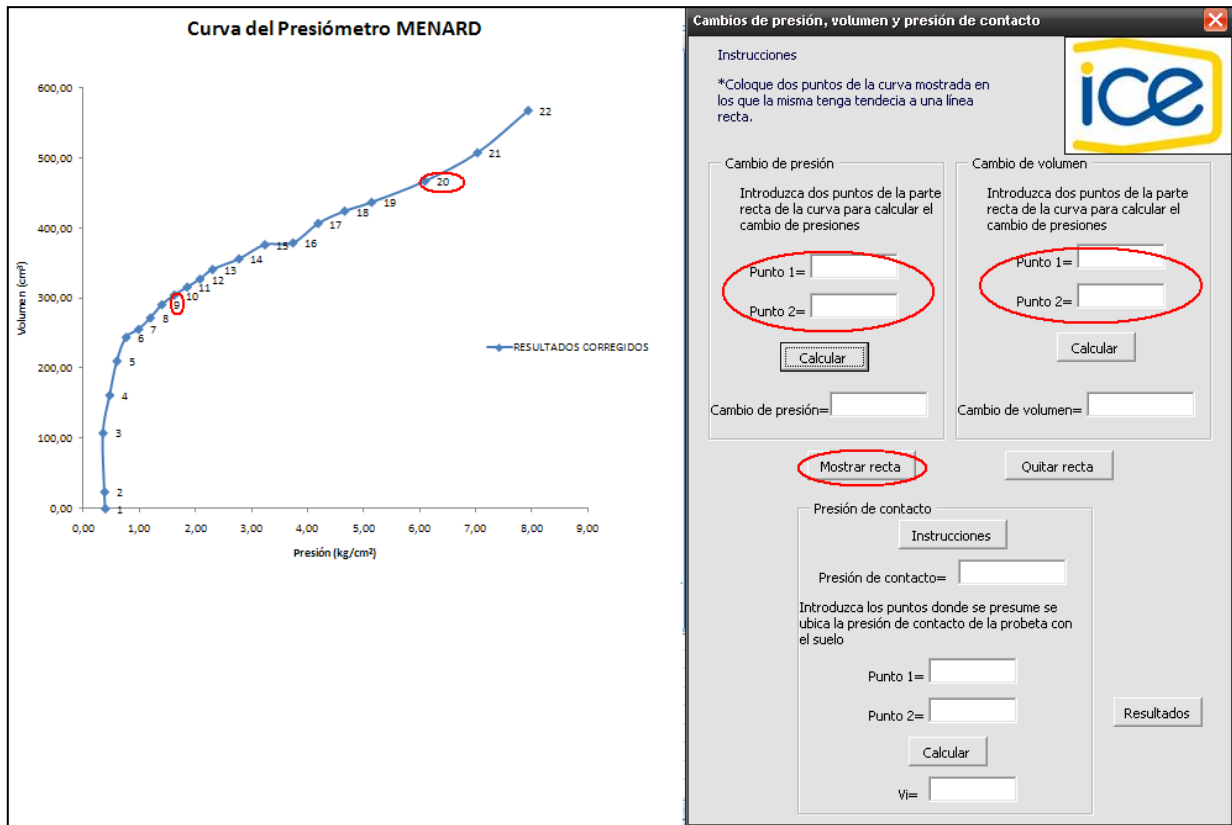


Figura 7. Curva presiométrica y formulario para obtener p_L y E_0 .

Al ubicar estos puntos se calculará los cambios de presión y volumen correspondientes, una vez hecho esto, debe marcarse el botón “Mostrar recta” para verificar que los puntos escogidos simulan una recta en la curva presiométrica, de no ser así se puede quitar la curva y volver a calcularla. En el tercer recuadro de la figura 7 se pide el valor de la presión de contacto, este valor es el mismo obtenido en la curva de “Obtención de la presión en reposo”, en este caso además se pide ubicar los puntos donde se ubica la presión horizontal en reposo en la curva presiométrica, es decir, las cajas denominadas como Punto 1 y Punto 2. Una vez lleno el

formulario se presiona el botón de resultados, al presionarlo aparecerá un mensaje preguntado sobre si desea guardar la información recopilada o no.

Al salir del formulario mostrado en la figura 7, aparecerá la hoja de resultados, en ella se pueden observar los valores de módulo E_0 y presión límite p_L . Con estos datos se pueden calcular otros tales como la resistencia al corte no drenada y p_0 . Esto únicamente con escribir la densidad del suelo, en el formulario mostrado a continuación y que aparece al presionar el botón calcular de esta hoja:

Cálculo de cohesión, ángulo de fricción y asentamientos

Introduzca los datos correspondientes

Densidad del suelo= ton/m³

p0= kg/cm² Cu= kg/cm² Ángulo de fricción=

Figura 8. Cálculo de resistencia no drenada y ángulo de fricción*.

*A pesar de que aparece una caja con el valor del ángulo de fricción, este parámetro no se considera real, pues las metodologías no están absolutamente comprobadas. **Se recomienda no utilizarlo.**

Si lo que se desea es calcular la capacidad de soporte entonces se procede a hacer aparecer el siguiente formulario (Figura 9), presionando el botón de "Calcular q". Aquí se debe escribir los valores de desplante y semiancho de placa, luego al presionar calcular aparecerá la relación

h/R con las cuales se puede obtener el valor de "k" de las curvas que aparecen en la Figura del formulario 9 y según el tipo de suelo, con esta relación se puede calcular la capacidad de soporte del suelo.

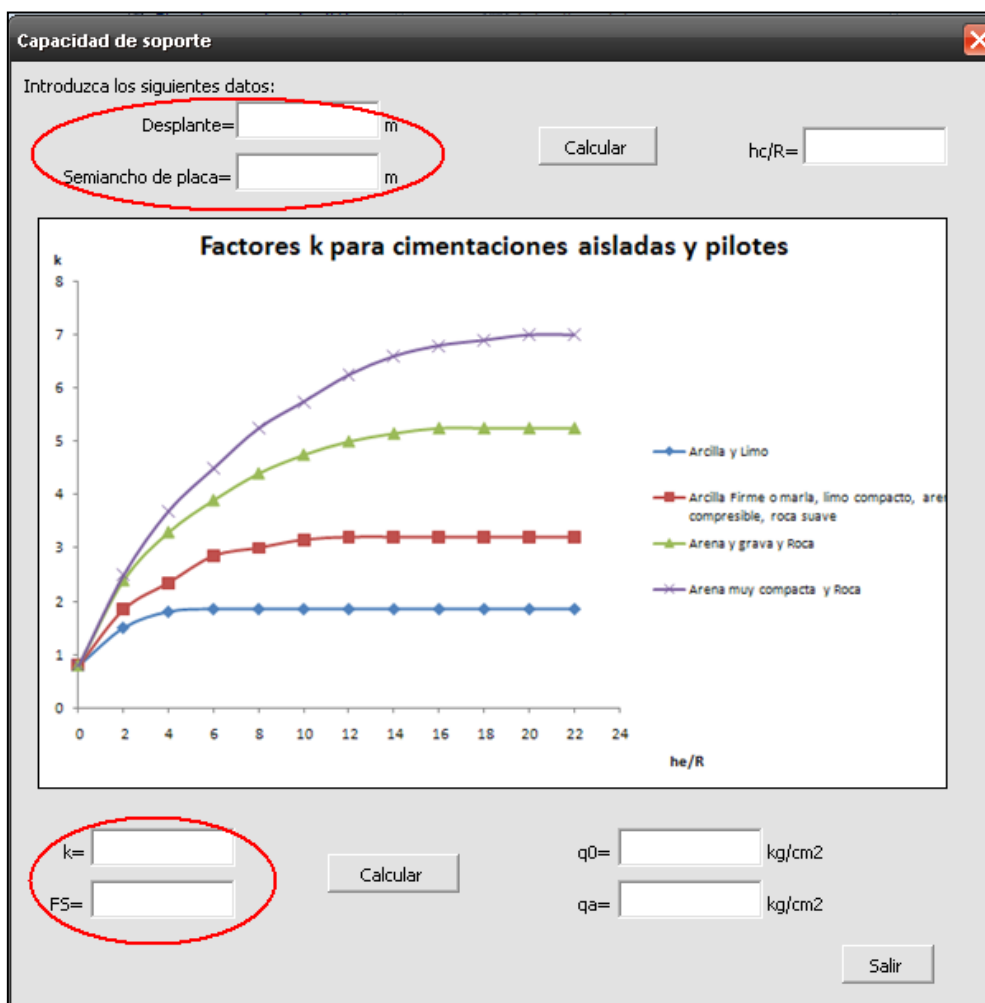


Figura 9. Cálculo de capacidad soportante del suelo.

Finalmente, si lo que se busca es conocer los asentamientos sufridos por el suelo, entonces se hace aparecer el último formulario denominado "Cálculo de asentamientos" este aparece al presionar el botón "calcular s". Es importante mencionar que en el formulario mostrado en la

figura 10 se debe llenar los cuadros encerrados en círculos rojo, respetando las unidades. Con las relaciones de E/p y $L/2R$ se puede obtener los valores respectivos de α y λ , es bueno recalcar que el valor de α debe ser escrito en **decimales y no en fracción**.

Cálculo de Asentamientos

De las figuras adjuntas, tome los valores de lambda y alfa correspondientes para el cálculo de asentamientos.

R= cm

L= cm

E/p=

L/2R=

incremento de presión= kg/cm²

Calcular

	Turba		Arcilla		Aluvión		Arena		Arena y Grava	
Tipo de material	E/p	α	E/p	α	E/p	α	E/p	α	E/p	α
Sobre-consolidado			>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normalmente consolidado	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4	
Meteorizados o alterados		7-9	1/2		1/2		1/3		1/4	

L/2R	1	2	3	5	20
	Circulo	Cuadrado			
λ_2	1	1,12	1,53	1,78	2,14
λ_3	1	1,1	1,2	1,3	1,4

alfa=

lambda2=

lambda3=

Salir

Figura 10. Cálculo de asentamientos.

Para finalizar, al presionar el botón "Salir" del formulario de la figura 10 aparecerá un mensaje que le preguntará si desea guardar la información obtenida o no, se recomienda guardarla para

mantenerla archivada y que haya mayor facilidad al encontrarla. Esta información se almacena en la hoja denominada BDE.

Anexos

Anexo 1

Manual de Operación, mantenimiento y recomendaciones del Presiómetro Ménard

Dentro de los objetivos del proyecto propuesto por el Área de Ingeniería Geotécnica del ICE, se encontraba contar con la posibilidad de presentar un manual para la operación del equipo en investigación. Por ello un producto importante para la UEG es este material. Sin embargo debe destacar que esta es una reelaboración del manual dado por los proveedores del aparato (REF 12).

Manual de Operación del Presiómetro Ménard

En el Manual del equipo se describe detalladamente cada uno de los pasos para realizar un ensayo presiométrico.

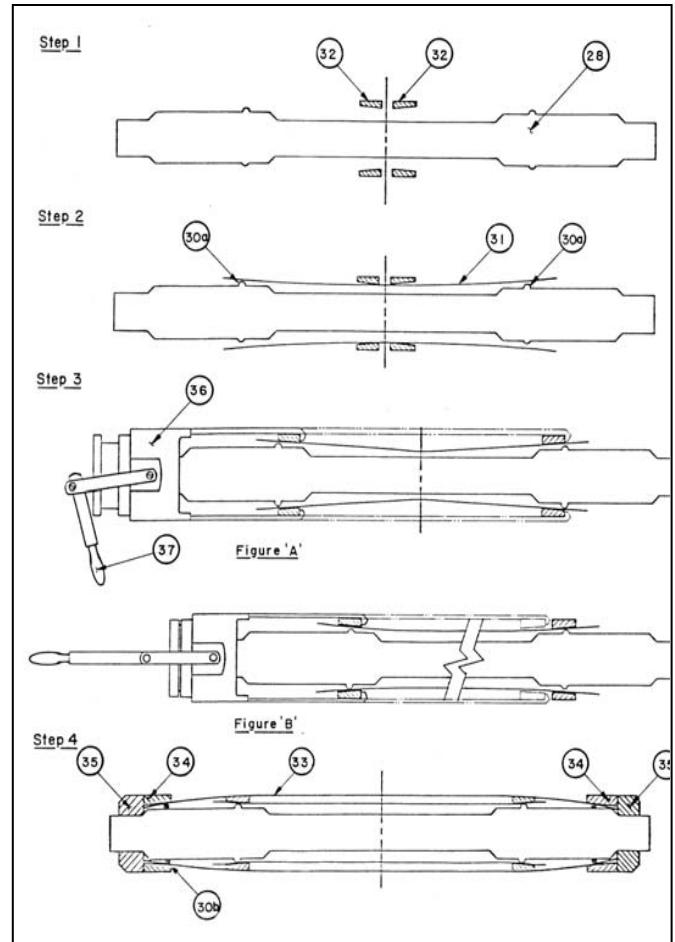
Es importante recordar que un orden cronológico de los pasos a realizar para ejecutar una prueba presiométrica es:

- Ensamble de la probeta
- Llenado de la unidad de control y saturación del sistema
- Calibraciones respectivas
- Ejecución de la prueba

A continuación se presentan cada la manera correcta de realizar cada uno de estos pasos.

Ensamble y desensamble de la probeta

Para describir el ensamble y desensamble de la probeta se asume que esta se encuentra absolutamente desmontada. Además es necesario ver la siguiente figura para guiarse.



Ensamble

1. Deslizar los dos anillos cónicos (32) sobre el cuerpo de metal (28) de la probeta y desplazarlos a la izquierda hacia la mitad del tubo. Los anillos tienen forma de cono truncado, y se deben ubicar de manera que la extremidad angosta sea orientada del centro de la probeta hacia afuera.
2. Deslizar la membrana (31) sobre el cuerpo de la probeta (28) y bajo los anillos cónicos (32). Durante este proceso se debe mantener los anillos cónicos a la mitad de la sección y centro de la membrana de hule (31) con respecto a las "almohadillas" de la membrana (30a).
3. Manualmente, mover los anillos cónicos (32) hacia afuera hasta que entren en contacto con las "almohadillas" (ver paso

3 de la figura A). Instalar el sujetador del anillo (36) sobre una extremidad de la probeta usando el tamaño adecuado para centrarlo sobre el eje de la probeta y que se ajuste bien al diámetro de la probeta. Alinear la palanca (37) paralelo al eje de la probeta (rotándolo hacia atrás), así el anillo quedará en la posición deseada. Relajar el sujetador del anillo rotando la palanca hacia adelante. Repetir esta operación para los demás anillos. Cuando estén montados todos los anillos, verificar que la membrana de hule está extendida de manera que quede a lo largo de la longitud de la probeta. Es decir, que no sobrepase esta longitud y que además no esté amontonada en ninguna parte. Una vez realizado esto, verificar que la membrana no tiene fugas, esto se hace presurizando las celdas (central y de guarda).

4. Colocar un par de anillos (30b) en las extremidades de la probeta que sujeten la membrana de manera que esta no se mueva durante los ensayos. Deslizar la protección de la membrana (31) sobre el cuerpo de la probeta. Luego centrarla con respecto a la posición de los anillos (se puede utilizar agua destilada para llevar a cabo el montaje externo de la membrana) Deslizar las almohadillas truncadas hasta colocarlas sobre el final de la funda externa de la membrana. Colocar la almohadilla truncada de manera que la extremidad estrecha se oriente hacia afuera. Enroscar las piezas cobertoras al cuerpo de la probeta (35). Las piezas internas proveen un sello entre la almohadilla y los anillos, continuar enroscando hasta que el sujetador quede $\frac{3}{4}$ " expuesto. Cuando se avanza con la colocación de los mismos, verificar que no se dé un movimiento entre la funda y el cuerpo de la probeta.

Desensamble

1. Limpiar la probeta con una tela y quitar los sujetadores de la probeta (27)
2. Colocar la probeta sujeta a una prensa en una de sus extremidades.
3. Usando un tornillo strap desatornillar las piezas cobertoras (35) ubicadas al final de la probeta.
4. Remover el anillo externo (34). Si es:

a. Anillo vulcolan:

Usar el anillo extractor que trae el aparato. Ubicar los dos pines localizados en la parte interna del extractor en los agujeros correspondientes en la porción de metal del anillo. Empujar y rotar el extractor para remover el anillo.

b. Anillo metálico:

Usando un tornillo strap empujar y rotar el anillo, de ser necesario se puede calentar el anillo para facilitar removerlo de su posición original.

5. Realizar los pasos 2, 3 y 4 con la otra extremidad de la probeta.
6. Remover la funda externa (33).
7. Remover el anillo ubicado al final de la probeta (30b).
8. Instalar la extensión de los brazos y colocar el "casquillo" apropiado de acuerdo al diámetro de la probeta.
9. Quitar el sujetador en la extremidad libre de la probeta y acomodar los anillos cónicos (32). Rotar y empujar la agarradera de la palanca hacia atrás, esto los dejará libres.
10. Repetir los pasos del 7 al 9 para la otra extremidad de la probeta.
11. Deslizar los anillos cónicos hacia el centro de la probeta y remover membrana de hule (31).
12. Remover los dos anillos cónicos (32).

Llenado del presiómetro

Para esta sección es necesario ver la figura 2 de este informe, la cual muestra un diagrama de la unidad de control y una numeración de las válvulas, manómetros y demás piezas de la caja. Para realizar un correcto llenado de la unidad de control se deben seguir cada uno de los siguientes pasos:

- Poner la válvula 19 en Normal
- Cerrar regulador de presión 8
- Poner la válvula 3 en Relief
- Poner la válvula 1 en Fill
- Abrir el cabezal para llenar la unidad (tornillo)
- Llenar el reservorio hasta 0cc con agua destilada o anti-freeze

Saturación del tubo y la probeta

- Cerrar el regulador de presión 8 completamente
- Conectar la manguera suplidora de gas 13
- Lentamente abrir válvula del cilindro de gas. La presión se indica en el manómetro 18, si indica menos de 4000kPa se debe cambiar el cilindro.
- Poner válvula 9 en Closed
- Conectar las mangueras 11 y 12 (al conectarlo verificar que hagan un leve cliqueo)
- Poner las válvulas 1, 2 y 3 en Test
- Poner válvula 6 de 0-11m (si el ensayo es menor a 11m)
- Poner válvula 10 en Closed
- Aplicar 2 bares (200kPa) en el manómetro 16 con el regulador 8
- Poner válvula 9 en Test (el agua fluye hacia el tubo coaxial mediante 11)
- Cuando el agua que fluye por la manguera deja de echar burbujas conectar la manguera a la probeta
- Cuando se han inyectado alrededor de 300cc de agua en la probeta desconectar el tubo de la misma, en este momento el agua que se expulsa de la probeta tendrá burbujas. Así que se debe repetir este procedimiento hasta que el agua que salga de la probeta no contenga burbujas, luego reconectar el tubo coaxial a la probeta.
- En la ejecución de este procedimiento se debe tener cuidado de no dejar que el agua en el reservorio pase los 800cc, ya que esto puede alterar el sistema y dañar el equipo.
- *Si ocurre esto entonces:
 - Desconectar el tubo coaxial de la probeta
 - Poner la válvula 9 en Closed
 - Cerrar el regulador 8, para relajar la presión
 - Poner la válvula 3 en Relief
 - Volver a llenar el presiómetro (ver sección anterior)
 - Luego de esto, poner válvula 1 y 3 en Test
 - Volver a aplicar 2 bares de presión y completar la saturación como se describió antes

- Una vez que la saturación se ha completado
 - Poner válvula 9 en Closed
 - Cerrar el regulador de presión 8
 - Conectar la línea de aire del tubo coaxial a la probeta

Ajustar a cero el nivel de agua en el reservorio y en la celda

El proceso de saturación de la probeta y el tubo, pueden acarrear un exceso de agua en la probeta, el cual debe ser devuelto al reservorio hasta que llegue al nivel 0cc.

Para los ensayos comunes esta operación se puede hacer así:

- Poner la probeta al nivel del suelo
- Poner la válvula 3 en Relief
- Poner la válvula 9 en Test
- La compresión de la probeta depende del diámetro de la misma. El flujo de agua lo que hace es atravesar la celda central y devolverla al reservorio.
- Cuando el nivel de agua en el reservorio se ha estabilizado, cerrar la válvula 9 y dejar que el agua llegue al nivel del agua a 0cc tal y como se describe en la primera sección
- El exceso de agua puede ser removida del reservorio poniendo la válvula 9 en Overflow y la válvula 3 en Relief

Para asegurarse que la probeta se encuentra saturada y calibrada es preferible realizar una prueba en el tubo indeformable.

Ajustar la presión diferencial

Para asegurarse de que haya contacto entre la celda central y la funda metálica es necesario que la presión dentro de la celda central exceda la de las celdas de guarda. La presión diferencial debe estar estandarizada a 100 kPa para ensayos de 0-2500 kPa. Los valores de presión diferencial se aplican en función del desplante y se obtienen del cuadro 11.

Para ajustar la presión diferencial entre los dos manómetros se hace lo siguiente:

- Conectar las mangueras 11 y 12 (es decir, se verifica cuando se hace la calibración)

- Cerrar el regulador de presión 8 completamente
- Poner las válvulas 1, 2 y 3 en Test
- Poner las válvulas 4 y 5 de 0-25
- Seleccionar del cuadro 11 la presión diferencial que debe ser aplicada en cada caso
- Determinar la posición de la válvula 6, dependiendo de la profundidad a la que se va a hacer el ensayo
- Cerrar válvula 7 completamente
- Poner válvula 9 en Closed
- Poner válvula 10 en Test
- Desconectar 12 (línea de aire)
- Aplicar una presión de 5 bares abriendo el regulador 8
- *Si la válvula 6 está de 0-11m los 5 bares se registrarán en el manómetro 16, y si esta válvula está en >11m entonces se registrarán en el manómetro de la derecha
- Abrir suavemente la válvula 7 para ajustar la presión diferencial según corresponda. Para el presiómetro de la UEG, es preferible dejar que la aguja se estabilice por sí misma y luego aplicar la presión faltante para obtener la presión diferencial, ya que esta válvula ha presentado problemas en cuanto a su correcto funcionamiento
- Durante el ajuste la presión diferencial puede decrecer a un valor menor que el requerido, esto no es conveniente, ya que el no tener la presión diferencial en el sistema se dificultará la extracción de la probeta, ya sea del casing o bien de la perforación y además esta es necesaria para mantener la presión en la celda central mayor que la presión en la celda de guarda de la probeta. Así que, de presentarse esta situación hacer la siguiente operación:
 - Cerrar la válvula 7
 - Suavemente poner la válvula 10 en Relief (si la válvula 6 está de 0-11m, sino sería la válvula 3 en Relief)
 - Poner suavemente la válvula 10 en Test o 3, según corresponda
 - Abrir la válvula 7 hasta alcanzar la presión diferencial requerida

Cuando se alcanza la presión diferencial

- Cerrar el regulador de presión 8

- Poner la válvula 10 en Relief (válvula 3 en Relief si la válvula 6 está >11m)
- Poner la válvula 6 en >11m

Calibración a baja presión (0-2500 kPa)

Una vez realizada la saturación de la probeta y el tubo, el ajuste del nivel de agua y alcanzada la presión diferencial, se puede proceder a realizar las calibraciones respectivas:

Calibración de presión

- Poner la probeta al nivel del suelo
- Conectar 11 y 12, hasta que cliqueen
- Poner la válvula 1, 2 y 3 en Test
- Poner la válvula 4 y 5 de 0-25
- Poner la válvula 6 de 0-11m
- La válvula 7 previamente ajustada a 100 kPa de presión diferencial
- Poner la válvula 9 y 10 en Test
- Con el regulador de presión 8 aplicar 25 kPa de presión en el manómetro 16
- Leer el volumen a los 30s y 60s una vez que la presión haya sido alcanzada
- Aumentar la presión en incrementos de 25 kPa, tomando lecturas de volumen a los 30s y 60s
- Parar la inyección del agua en la probeta una vez que esta llegue a 600cc para prevenir que la probeta se dañe
- Poner válvulas 9 y 10 en Closed
- Reducir la presión a 0 en el regulador 8
- Poner la válvula 3 en Relief
- Poner la válvula 9 en Test (el agua comenzará a fluir al reservorio, cuando se alcanza el nivel inicial del agua entonces poner válvula 9 en Closed)
- Poner la válvula 10 en Relief
- Poner la válvula 6 en >11m
- *la presión de inercia es la presión requerida al inyectar 700cc y es obtenida mediante extrapolación de la curva de calibración (presión vrs volumen)

Calibración por volumen

La calibración por volumen se hace igual a la saturación de la probeta, la diferencia es que la probeta se introduce en un tubo indeformable para que la probeta se infle pero tenga un tope y

con esto asimilar deformación de las demás partes del equipo y así tomar en cuenta la pérdida de volumen.

Para asegurar la calibración de la probeta, ésta se infla en un tubo rígido de diámetro conocido y ajustando el volumen teórico correspondiente. Para las probetas de 44, 58 y 70 mm, los tubos a utilizar respectivamente son AW, BW y NW.

No obstante antes de iniciar la calibración por volumen se debe poner la válvula 9 en Overflow para ajustar el nivel del agua en el reservorio con los siguientes valores de acuerdo al diámetro del casing.

- Probeta de 44mm en casing AW
 - Volumen teórico $V_0=535\text{cc}$
 - Longitud de la parte inflable $l_0=36\text{cm}$
 - Volumen en casing $V_t=662\text{cc}$
 - El volumen que se lee en el reservorio debe ser más o menos 127cc (662-535)
- Probeta de 58mm en casing BW
 - Volumen teórico $V_0=535\text{cc}$
 - longitud de la parte inflable $l_0=21\text{cm}$
 - Volumen en el casing $V_t=598\text{cc}$
 - El volumen que se lee en el reservorio debe ser más o menos 63cc (598-535)
 - debe ser más o menos 127cc (662-535)
- Probeta de 70mm en casing BW
 - Volumen teórico $V_0=790\text{cc}$
 - longitud de la parte inflable $l_0=21\text{cm}$
 - Volumen en el casing $V_t=958\text{cc}$
 - El volumen que se lee en el reservorio debe ser más o menos 168cc (958-790)

Es necesario realizar la calibración del ensayo cada vez que se ponga una nueva probeta o que se cambie la membrana, además es recomendable verificar la calibración cuando se han realizado varios ensayos con la misma membrana, por aquello de fatiga en la probeta con el uso en el transcurso del tiempo.

Ensayo a baja presión (0-2500 kPa)

- Conectar 11 y 12

- Poner la válvula 9 en Closed
- Bajar la probeta al nivel deseado
- Ajustar la presión diferencial
- Poner las válvulas 1, 2 y 3 en Test
- Poner las válvulas 4 y 5 de 0-25
- Poner la válvula 6 en 0-11m o > 11m, de acuerdo a la profundidad
- Poner las válvulas 9 y 10 en Test
- El agua bajará por gravedad a la probeta, anotar la lectura de volumen cuando el flujo se estabiliza, ese es el 0cc
- Con el regulador de presión 8 ajustar la presión en el manómetro 16 o 17 (depende de la ubicación de la válvula 6), esta presión puede ir desde 0 a 2500 kPa, nada más se debe recordar que como mínimo son necesarias 10 lecturas para poder tener una curva presiométrica que brinde resultados ciertos de presión límite y modulo presiométrico
- Cada vez que se alcanza la presión deseada, anotar los volúmenes leídos cada 30s y 60s
- Las presiones pueden realizarse en incrementos iguales hasta alcanzar los 700cc, sin embargo se recomienda parar el ensayo una vez que alcance los 600cc

Cuando se considera que se ha alcanzado la presión límite poner la válvula 9 y 10 en Closed

Para desinflar la probeta:

- Poner la válvula 6 de 0-11m
- Reducir la presión a cero abriendo el regulador 8. Esta operación deja que el gas salga
- Poner la válvula 10 en Relief, esto para permitir que la presión decrezca hasta 200 kPa más que la presión hidrostática. Cuando se alcanza esta presión poner válvula 10 en Closed
- Poner la válvula 9 en Test. El flujo de agua llega al reservorio, cuando el nivel inicial de agua es alcanzado poner la válvula 9 en Closed
- Poner la válvula 10 en Relief
- Poner la válvula 6 en >11m
- Cuando se acaba la expulsión del aire poner la válvula 10 en Closed

Transporte

Una vez que se haya acabado el ensayo, el equipo se debe poner en modo de transporte, para cerrar todas las válvulas y mangueras que puedan ocasionar daños al mismo.

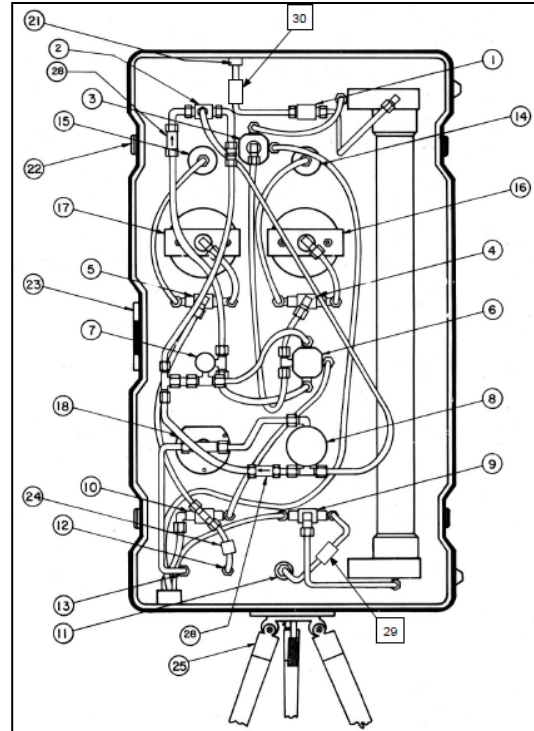
El procedimiento a seguir es:

- Depresurizar y desconectar la probeta del presiómetro (rápido desconectar 11 y 12)
- Poner la válvula 1 en Test
- Poner la válvula 3 en Relief
- Cerrar cilindro de gas
- Abrir el regulador de presión 8, esto hará que se pierda todo el gas introducido al equipo
- Desconectar el suplidor de gas 13
- Cerrar el regulador de presión 8
- Poner la válvula 10 en Test
- Poner la válvula 6 en >11m
- Poner la válvula 2 en Test
- Poner la válvula 3 en Transport
- Poner las válvulas 9 y 10 en Closed

Mantenimiento del equipo

Otro producto importante para este trabajo y de beneficio para la UEG es el mantenimiento necesario que se le debe dar al equipo para que tenga un buen funcionamiento.

Así que se dan una serie de recomendaciones para garantizar este buen estado:

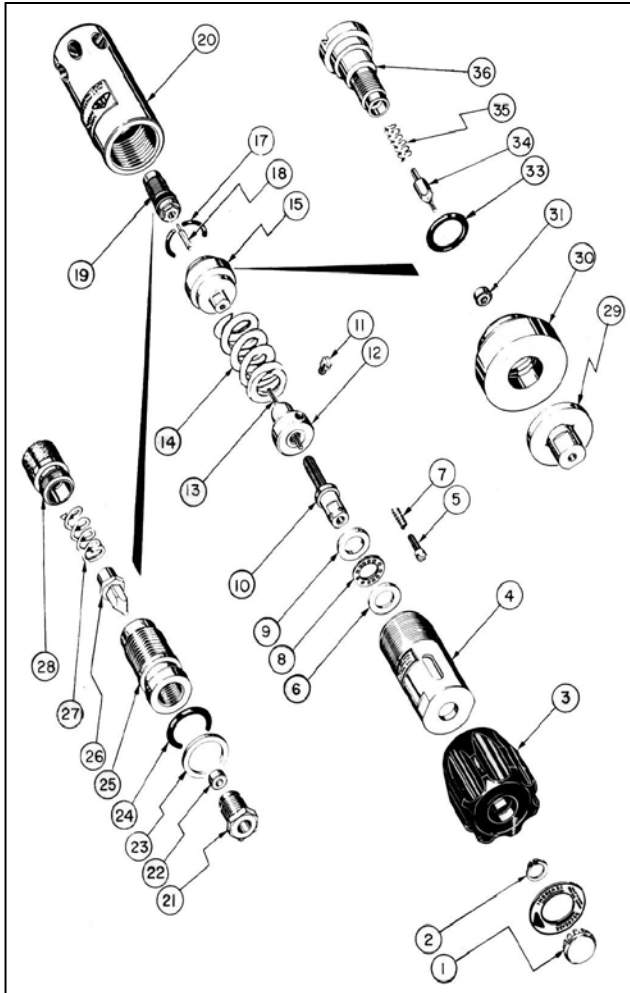


Filtros

Los filtros son los que protegen a la unidad de control de contaminarse con partículas que tengan el agua o el gas, por ello es conveniente cambiarlos cada cierto tiempo. Los filtros se ubican en los números 24, 29 y 30.

Regulador de presión

Para esta sección se debe guiar con la siguiente figura:



Ajuste de la válvula de purga:

La válvula de purga se coloca durante el ensamblado del equipo, por ello por lo general no necesita ajustarse, no obstante, de ser necesario se procede a hacer lo siguiente:

Quitar la tapa del agujero (1), dejar que la presión salga del regulador, abrir la válvula 5, en dirección de las agujas del reloj, de manera que se escuche el escape de gas por la válvula de Relief. Dejarlo hasta que el sonido se detenga. Y cambiar o ajustar la válvula.

Procedimiento general

Los siguientes pasos ayudan a desensamblar el equipo para realizar las reparaciones y limpiezas necesarias según el problema que se presente:

1. Quitar el tapón (1) con un desatornillador.
2. Usando un alicate, quitar 2 y 3.
3. Con una llave abierta quitar el manómetro. Nota: Las piezas 14 y 13 deben estar sueltas.
4. Quitar el sensor de ensamble (15)
5. Quitar la válvula de ensamble principal (19)

Los siguientes pasos son para subensamblar las piezas de cada parte del equipo de manera individual.

Desensamble del Sensor (15):

- Desenroscar 29 del cabezal 36, usando un alicate.
- Relajar la válvula 34 y el resorte 35, quitar la válvula 31 con fuerza, debe quitarse con cuidado, ya que puede causar un daño irremediable, lo que conllevaría a cambiarla.

Re-ensamble del Sensor (15):

- Si el sensor requiere ser lubricado, se debe aplicar un aceite libre de hidrocarburos.
- Re-ensamblar 33, colocando las piezas desde 30 hasta 36.
- Si la pieza 31 se mueve, poner 34 y 35 dentro del sensor y luego introducir 31.
- Ajustar ambos miembros en forma vertical, de manera que 29 quede enroscado en el sensor 36.

Desensamble de la válvula 19:

- Desatornillar del cuerpo de la válvula 25 las roscas 24 y 23, ya sea con un alicate o cualquier otro instrumento. Luego quitar 21.
- Para quitar 27 de 26, desenroscar el filtro de ensamble 28 del cuerpo de la válvula (25).
- Finalmente quitar 22, de ser necesario con una herramienta puntiaguda.

Re-ensamble de la válvula 19:

- Instalar una nueva pieza 22 para sostener 21 y luego volver a unir las piezas hasta 26.
- Reemplazar el resorte 27 y ensamblar el filtro 28.

Ajuste del tornillo 10:

Si es necesario ajustar, lubricar o cambiar el tornillo 10 se puede seguir el siguiente procedimiento.

- Ver la sección de procedimiento general, de los pasos 1 al 4.
- Quitar el tornillo 11 y ajustar el tornillo, ensamblándolo con 8, procurando no torcerlo ni dañarlo.
- Lubricar y re-ensamblar, guiándose con el paso 4 de la siguiente sección.

Re-ensamble de la mayoría de los sub-ensambles:

Este apartado indica los pasos del 1 al 5 del procedimiento general en reversa. Tomando en consideración las siguientes recomendaciones:

- Si algún anillo está seco debe de lubricarse con algún aceite libre de hidrocarburos
- Ajustar la válvula 19 cada vez que sea necesario.
- Cuando se ensambla el regulador de presión, juntar desde 14 hasta 4, poniendo el resorte y las demás piezas que aparecen dentro del cabezal 4. Durante este procedimiento se debe verificar que 13 quede insertada dentro de 10.

Reparación del tubo

Esta sección indica los pasos necesarios para reparar el tubo, el cual básicamente consiste en instalar un nuevo conector. Sin embargo esta reparación puede mostrarse difícil, por ello se necesitan herramientas adecuadas para no ocasionar daños innecesarios.

- Desenroscar el tubo completamente.

- Sujetar el tubo con una prensa por la parte delgada. No hacerlo encima de esta parte para evitar daños al tubo interno.
- Cortar el tubo en un ángulo recto (90°) y limpiarlo al menos 20cm desde la prensa.
- Quitar alrededor de 6cm del tubo externo (procurar no dañar el tubo interno).
- Sacar ligeramente el tubo interno del tubo externo.
- Instalar una tuerca para bajar la presión dentro del tubo.
- Verificar que no hayan fisuras a los largo del tubo. Instalar el conector para la probeta dentro del tubo interno.
- Quitar el tubo de la prensa completamente, luego introducir completamente el tubo interno dentro del externo.
- Presurizar el tubo para volver a verificar que no hayan fisuras.

Problemas frecuentes

En el uso de todo equipo, por lo general surgen problemas, para ello se enlistan algunos problemas y posibles soluciones que se pueden dar cuando se usa el Presiómetro Ménard.

Problema: *La presión diferencial no se mantiene.*

- Asegurarse que la válvula está limpia.
- Apretar ligeramente la válvula 6.

Problema: *El regulador de presión continúa incrementando la presión, sin tocar la válvula*

- Posiblemente deba cambiarse la válvula 22.
- En sensor de regulador de presión necesita limpieza o ser reemplazado.

Problema: *Hay escapes en el sistema sin tener presión inyectada.*

- Posiblemente deba de ajustarse la válvula de purga.
- O bien la válvula de purga (31) debe reemplazarse.
- El sensor 33 puede estar quemado o fisurado.

Problema: *Hay una caída brusca de presión cuando el flujo esta dentro de las capacidades del regulador.*

- Verificar la posición correcta del filtro y limpiarlo si es necesario.
- Posiblemente deba reemplazarse la válvula 22.

Problema: *El agua no se devuelve a cero después de concluido el ensayo.*

- Es posible que los filtros, la parte interna del tubo o la probeta están sucios.
- O bien, puede que la probeta no esté saturada.

Problema: *El agua se introduce dentro de la celda de guarda.*

- Sellar la celda de guarda, de manera que sólo se inyecte la presión diferencial y la presión del regulador de presiones.

Problema: *Una válvula no funciona.*

- Enroscar la válvula, ya que puede estar floja.
- Si es necesario reemplazar la válvula, tener cuidado de utilizar las herramientas necesarias para no causar otros daños adversos.

Anexo 2

De los ensayos de SPT

A continuación se muestran los ensayos de SPT utilizados en cada uno de los proyectos.

Proyecto Eólico de Tejona.

Para este proyecto se utilizó los SPT de las perforaciones PT-1, PT-4 y PT-5.

Proyecto de la ampliación del Edificio Central de ICE.

En este proyecto se realizaron dos SPT, y ambos se utilizaron para el cálculo de resistencias no drenadas.

Perforación SPT 1										
Prof. (m)	N	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	pas 200 (%)	IC	SUCS	γ_d (T/m ³)	Qu (T/m ²)
0,45										
0,9	9									
1,4	11	33	42	28	14	79	64	ML-CL		
1,85	11	32							1,466	18,6
2,3	10	36	45	30	15	84	60	ML		
2,8	11	41							1,287	18
3,25	12	40	47	32	15	84	47	ML		
3,7	14	41	47	35	12	85	50	ML		
4,25	10	40							1,275	12,2
4,8	12	40	44	35	9	80	44	ML		
5,25	13									
5,7	13	43	46	38	8	80	38	ML		
6,2	11									
6,65	13	47	50	42	8	87	38	ML		
7,15	16									
7,65	11	53	54	43	11	88	9	MH		
8,1	12	53							1,08	14,3
8,55	15	45	51	39	12	88	50	MH		
9	16									
9,55	10	47	52	40	12	92	41	MH		
10	20	52	59	46	13	96	54	MH		

Perforación SPT 2										
Prof. (m)	N	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	pas 200 (%)	IC	SUCS	γ_d (T/m ³)	Qu (T/m ²)
0,45	7									
0,9	6	37	47	29	18	78	55	CL-ML		
1,35	14									
1,85	26	27	37	25	12	83	83	CL		
2,3	20									
3,2	14	34	45	30	15	85	73	ML		
3,7	25									
4,15	24	34	43	30	13	86	69	ML		
4,65	22									
5,1	20	37	42	31	11	82	45	ML		
5,55	23									
6	13	40	44	33	11	87	36	ML		
6,45	21									
6,9	15	50	50	43	7	85	0	MH		
7,4	12									
7,85	13	59	57	49	8	84	0	MH		
8,3	14									
8,75	14	62	58	51	7	87	0	MH		
9,2	18									
9,65	22	47	54	42	12	93	58	MH		
10,1	41	51							1,145	59

Proyecto Hidroeléctrico El Diquis.

En este proyecto se realizaron 6 ensayos de SPT en la zona de Casa Máquinas, sin embargo para los cálculos sólo se hizo uso de 2 de ellas, SPT1 (P1-) y SPT2 (P-2), ya que eran las más cercanas a las pruebas del Presiómetro Ménard.

Perforación: P-1		Proyecto: C.M. Superficial P.H.E.D.						
Perforador: Walter Solano		Ubicación: Osa - Puntarenas						
Profundidad Total: 2,8		Sistema de perforación: Perforación estandar						
Fecha: 03/08/2009		Observaciones: Finca Camaronal						
Intervalos (m)	M	No. Golpes				N	%w	Descripción visual del suelo.
		0	20	40	60			
0,00	0,10							
0,10	0,55					18		Suelo color rojizo
0,55	1,00					31		Suelo color rojizo
1,00	1,45	1					33	Suelo color rojizo, patinas de oxidación negras, el material se encuentra seco
1,45	1,90	2					22	Suelo color rojizo, patinas de oxidación negras, el material se encuentra seco
1,90	2,35						33	Suelo color rojizo, patinas de oxidación negras, el material se encuentra seco
2,35	2,80	3					36	Suelo color rojizo, patinas de oxidación negras, el material se encuentra seco
						NF=		No hay

N = valor N _{SPT}	NF = nivel freático
M = número de muestra	R = rebote
%w = humedad natural (%)	




Perforación:	P-2	Proyecto:	C.M. Superficial P.H.E.D.
Perforador:	Walter Solano	Ubicación:	Osa - Puntarenas
Profundidad Total:	6,45	Sistema de perforación:	Perforación estandar
Fecha:	03/08/2009	Observaciones:	Finca Camaronal








Intervalos (m)	M	No. Golpes					N	%w	Descripción visual del suelo.
		0	20	40	60	80			
0,00	0,10								
0,10	0,55						14	Organico	
0,55	1,00						19	Suelo arcilloso color rojizo	
1,00	1,45						13	Suelo arcilloso color rojizo	
1,45	1,90	1					16	Suelo arcilloso color rojizo	
1,90	2,35						11	Suelo arcilloso color rojizo	
2,35	2,80	2					17	Suelo rojizo pero empieza a cambiar la tonalidad, aparecen bloques meteorizados color gris.	
2,80	3,25						15	Suelo rojizo pero empieza a cambiar la tonalidad, aparecen bloques meteorizados color gris.	
3,25	3,70	3					24	Material que pierde la plasticidad, se pasa un bloque blando arenoso color gris, patinas de oxidacion negras	
3,70	4,15						11	Material que pierde la plasticidad, se pasa un bloque blando arenoso color gris, patinas de oxidacion negras	
4,15	4,60	4					23	Material que pierde la plasticidad, se pasa un bloque blando arenoso color gris, patinas de oxidacion negras	
4,60	5,05						21	Bloquecitos arenosos en matriz limosa plastica	
5,05	5,50	5					21		
5,50	6,00						22		
6,00	6,45	6					27		
								NF= No hay	

N = valor N _{SPT}	NF = nivel freático
M = número de muestra	R = rebote
%w = humedad natural (%)	

Proyecto Villa Briceño

En este proyecto se realizaron dos pruebas de penetración estándar, las cuales son:

		Instituto Costarricense de Electricidad UEN Proyectos y Servicios Asociados Centro de Servicio Diseño Area de Ingeniería Geotécnica			PERFIL DE Suelos							
Proyecto:	BT's	Perforación:	#1			Prof.	8,30 m					
Ubicación:	Villa Briceño, Golfito	Inicio:	Norte:			N.F.	No					
Geotecnista:	Roy Gdo. Ruiz Vásquez	Final:	Este:			Elev.						
Geólogo:	-	Método:	SPT			Perforador:	Walter Solano					
Profundidad m	Descripción	Lito logí	Gráfico N 25 50	N	w %	IP	LL	σ _v kg/cm ²	γ _s kg/m ³	SUCS		
0,00 - 0,55	El material corresponde a roca alterada fracturada de coloración café - rojiza, limosa.			0								
0,55 - 1,00				4								
1,00 - 1,45				5								
1,45 - 1,90				5								
1,95 - 2,40				4								
2,40 - 2,85				5								
2,85 - 3,30				5								
3,35 - 3,80				Se observaron algunas pátinas de óxido negro en las caras.			3					
3,80 - 4,25							6					
4,25 - 4,70				Las muestras obtenidas corresponden a un material que aparenta tener la misma textura, color y condiciones físico mecánicas.			7					
4,70 - 5,15	7											
5,15 - 5,60	11											
5,60 - 6,05	8											
6,05 - 6,50	9											
6,50 - 6,95	6											
6,95 - 7,40	8											
Observaciones												

		Instituto Costarricense de Electricidad UEN Proyectos y Servicios Asociados Centro de Servicio Diseño Area de Ingeniería Geotécnica			PERFIL DE Suelos					
Proyecto:	BT's	Perforación:	#2	Prof.	7,25 m					
Ubicación:	Villa Briceño, Golfito	Inicio:		Norte:	N.F. No					
Geotecnista:	Roy Gdo. Ruiz Vásquez	Final:		Este:	Elev.					
Geólogo:	-	Método:	SPT	Perforador:	Walter Solano					
Profundidad m	Descripción	Lito logí	Gráfico N 25 50	N	w %	IP	LL	σ_c kg/cm ²	γ_s kg/m ³	SUCS
0,00 - 0,55	El material corresponde a roca alterada color café-rojiza, limosa.			0						
0,55 - 1,00	Las muestras obtenidas aparentan tener la misma textura, color y condiciones físico mecánicas.			2						
1,00 - 1,55				2						
1,55 - 2,35				2						
2,35 - 2,65	El material no soportó el peso del maso y se hundió 30cm,			0						
2,65 - 3,10	Las muestras obtenidas aparentan tener la misma textura, color y condiciones físico mecánicas.			3						
3,10 - 3,60				5						
3,60 - 4,05				2						
4,05 - 4,50				3						
4,55 - 5,00				2						
5,00 - 5,45	En este tramo se notó en las caras del material pátinas de humedad.			2						
5,45 - 5,90	Las muestras obtenidas aparentan tener la misma textura, color y condiciones físico mecánicas.			5						
5,90 - 6,35				8						
6,35 - 6,80				8						
6,80 - 7,25				8						
	Fin									
Observaciones										

Anexo 3

De las pruebas triaxiales

En tres de los proyecto analizados se realizaron ensayos triaxiales, por ello se conviene anexar los resultados de laboratorio.

Proyecto Hidroeléctrico El Diquis

Proyecto Eólico de Tejona y Ampliación del Edificio Central

Referencias

- ASTM. 2007. *Standard Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils*. **NORMAS ASTM DESIGNATION D 4719**. 9p.
- Avilés, E. 2001. **ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN TERRENO PARA EL PROYECTO EÓLICO TEJONA**. Estudio Geotécnico. Centro de Servicio Diseño, UEN PYSA, Instituto Costarricense de Electricidad. San José. 100p.
- Avilés, E. 2004. **ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA AMPLIACIÓN DEL EDIFICIO CENTRAL DEL ICE**. Estudio Geotécnico. Centro de Servicio Diseño, UEN PYSA, Instituto Costarricense de Electricidad. San José. 100p.
- Avilés, E. 2009. **TEMAS VARIOS RESPECTO A CÁLCULOS CON EL PRESIÓMETRO**. Ingeniero Civil. Área Ingeniería Geotécnica, ICE. Comunicación personal.
- Baguelin, F & Jézequel, J.L. 1978. **EXPANSION OF CYLINDRICAL PROBES IN COHESIVE SOILS**. Bull Labor Ponts et Chaus. Capítulo V.
- Bermúdez, L. 2009. **FUNCIONAMIENTO DEL PRESIÓMETRO**. Técnico. Área Ingeniería Geotécnica, ICE. Comunicación personal.
- Briaund, J.L. 1992. **THE PRESSUREMETER**. Netherlands: A.A Balkema, Rotherdam. 4-97p.
- Das, B. 1999. **PRINCIPIOS DE INGENIERÍA DE CIMENTACIONES**. México: Editorial Thomson. 12-124p.
- Devincenzi, M & Frank, N. 1995. *Ensayo Presiométrico de Ménard*. **ENSAYOS GEOTÉCNICOS IN SITU**. 9p.
- Jiménez, D & López, A. 2009. **REPORTE DE SONDEOS EXPLORATORIOS REALIZADOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO EN EL ENTORNO DE LA CASA DE MÁQUINAS Y LA TUBERÍA FORZADA DE PHED – FINCA CAMARONAL**. Investigación Geotécnica. Centro de Servicio Diseño, UEN PYSA, Instituto Costarricense de Electricidad. Proyecto Hidroeléctrico El Diquis. 132p.
- Ménard, L. 1975. **THE INTERPRETATION OF PRESSUREMETER TEST RESULTS**. Revista Solds Soils N° 26. 36-p.
- Roctest. 1983. *The Pressuremeter Test*. **MANUAL DEL EQUIPO**. 80p.
- Tapia, M. 2005. **MECÁNICA DE SUELOS 2**. Capítulo 1 y 2. Apuntes del Curso Mecánica de Suelos II. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71p.