

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**V ENCUENTRO DE SUELOS Y
ESTRUCTURAS**

**PRUEBAS DE CARGA ESTÁTICAS EN
PILOTES**

POR: ING FRANCISCO SALAZAR FERRO

PRIMERA PARTE *(general)*

Objetivo y metodología que hemos seguido en estas pruebas de carga de compresión estáticas en pilotes.

Temas a fines.

SEGUNDA PARTE



Ejemplo : Proyecto de Titán
(Cusezar-Ospinas)



PRIMERA PARTE



- Por qué hacer ensayos de carga ?
- Para qué hacer ensayos de carga ?
- Qué son los ensayos de carga?
- Cuándo hacerlos ?
- Cómo hacerlos ?
- Cómo Interpretarlos ?
- Quién debe ejecutar los ensayos?
- Cuántos ensayos ?
- ...?

Por qué realizar ensayos de carga sobre pilotes ?



- Pasado y presente de los pilotes de fricción en arcillas blandas.

PRUEBAS DE CARGA IN SITU

Por qué?

“Un problema común que tienen ambos tipos de fundación profunda es la dificultad que existe para estimar su capacidad de carga última. A pesar de números estudios e intentos que se han realizado en el pasado para desarrollar métodos efectivos y confiables para estimar la carga última de fundaciones profundas, aún tenemos gran dificultad haciendo estimativos confiables de capacidad de carga última”. (2002)

“Para poder definir con certeza la capacidad de carga de la fundación profunda se debe recurrir al uso de pruebas de carga que consisten en ensayar directamente la fundación en el campo y así considerar las condiciones reales del proyecto como condiciones geotécnicas y proceso constructivo”.

Estimativos Teóricos

- ◎ American petroleum Institute
- ◎ Laboratoire Central de Ponts et Chaussées
- ◎ Imperial College
- ◎ Nordliund Method
- ◎ ...

Caso específico del proyecto Titán

Variabilidad geotécnica

**Variabilidad de los
métodos constructivos**



Para qué ?

- Economía
- Seguridad

EJ: TITAN, PARALELO 108

FACTOR DE SEGURIDAD

NORMAS ASTM
ASHTO
NSR 09

Cuándo?

- ❖ Materiales del pilote.
- ❖ Suelo.

Cuándo ?

•PILOTES
HINCADOS EN
ARCILLAS
BLANDAS

•Disipación del aumento
de la presión.

•Esperar a que actúe la
tixotropía.

ANTES

•OPTIMIZACIÓN

•PERIODO MUERTO

•Ej : PARALELO 108

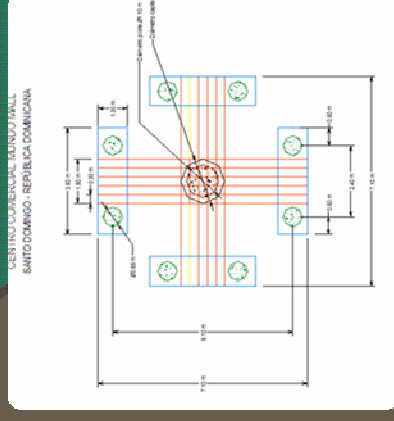
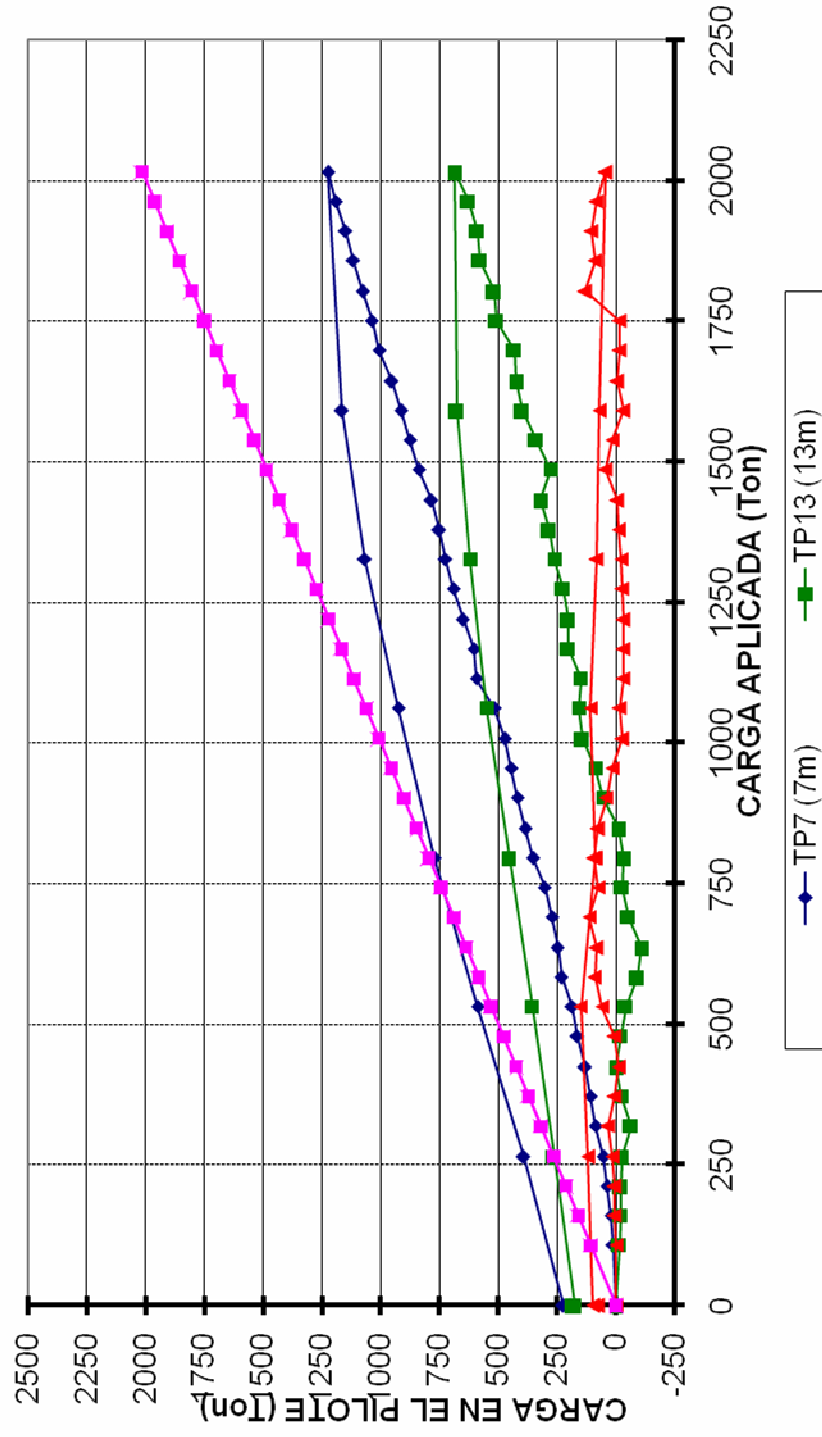
DESPUES

• SIMPLE COMPROBACIÓN

• ANÁLISIS- POSIBLE CORRECTIVOS

Quién debe ejecutar los ensayos?

Un tercero a quien le sea indiferente el resultado de la prueba.



Ej: República Dominicana

Quién?

Un tercero a quien le sea indiferente el resultado de la prueba.

“El cura aplica pero ...”

QUÉ ES UN ENSAYO DE COMPRESION AXIAL SOBRE PILOTES

- Propongo la siguiente clasificación.

- ❖ Pruebas estáticas.
- ❖ Pruebas dinámicas.

Distintos tipos de pruebas dinámicas.

- ❖ Pile Dynamic Analysis.

- ❖ Ensayo statnamic.

PDA

- ❖ Medición deformación unitaria (Strain gage).
- ❖ Medición de aceleración (acelerómetros).
- ❖ Analizador.

Norma ASTM D4945

PDA



a) Equipo PDA



b) Sensores para PDA

**Figura 21: Equipo PDA utilizado durante una prueba dinámica
(tomado de Pile Dynamics Inc.)**

SUBJETIVIDAD EN LOS CALCULOS DERIVADOS DE INFORMACION DE ACELEROGRAFOS Y VELOCIMETROS



Date/Time Tran at 14:45:37 July 22, 2005
 Trigger Source Geo: 9.00 mm/s
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 1.25 sec (Auto=1Sec) at 1024 sps

Serial Number BE9236 V 7.1-4.35 MiniMate Plus
 Battery Level 6.1 Volts
 Calibration March 5, 2004 by Instatel Inc.
 File Name K236AD6Z.D10
 Scaled Distance 116.1 (36.7 m, 0.1 kg)

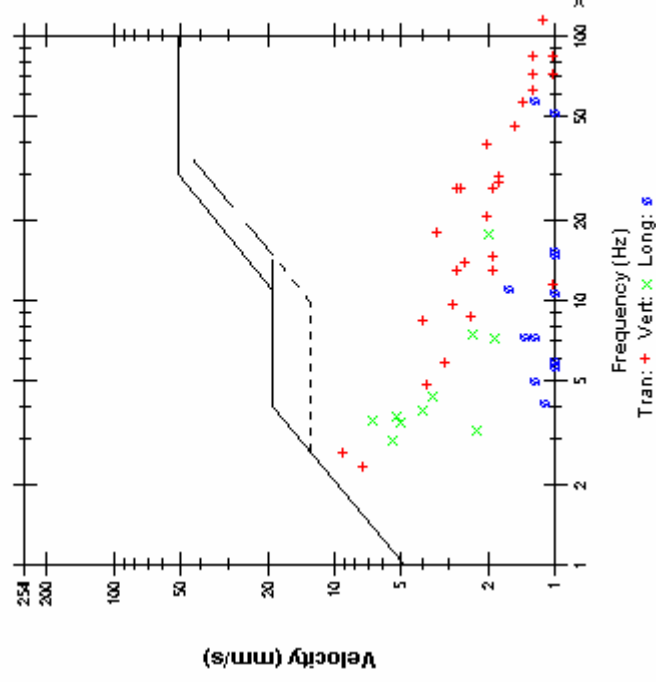
Notes

USBM R18507 And OSMRE

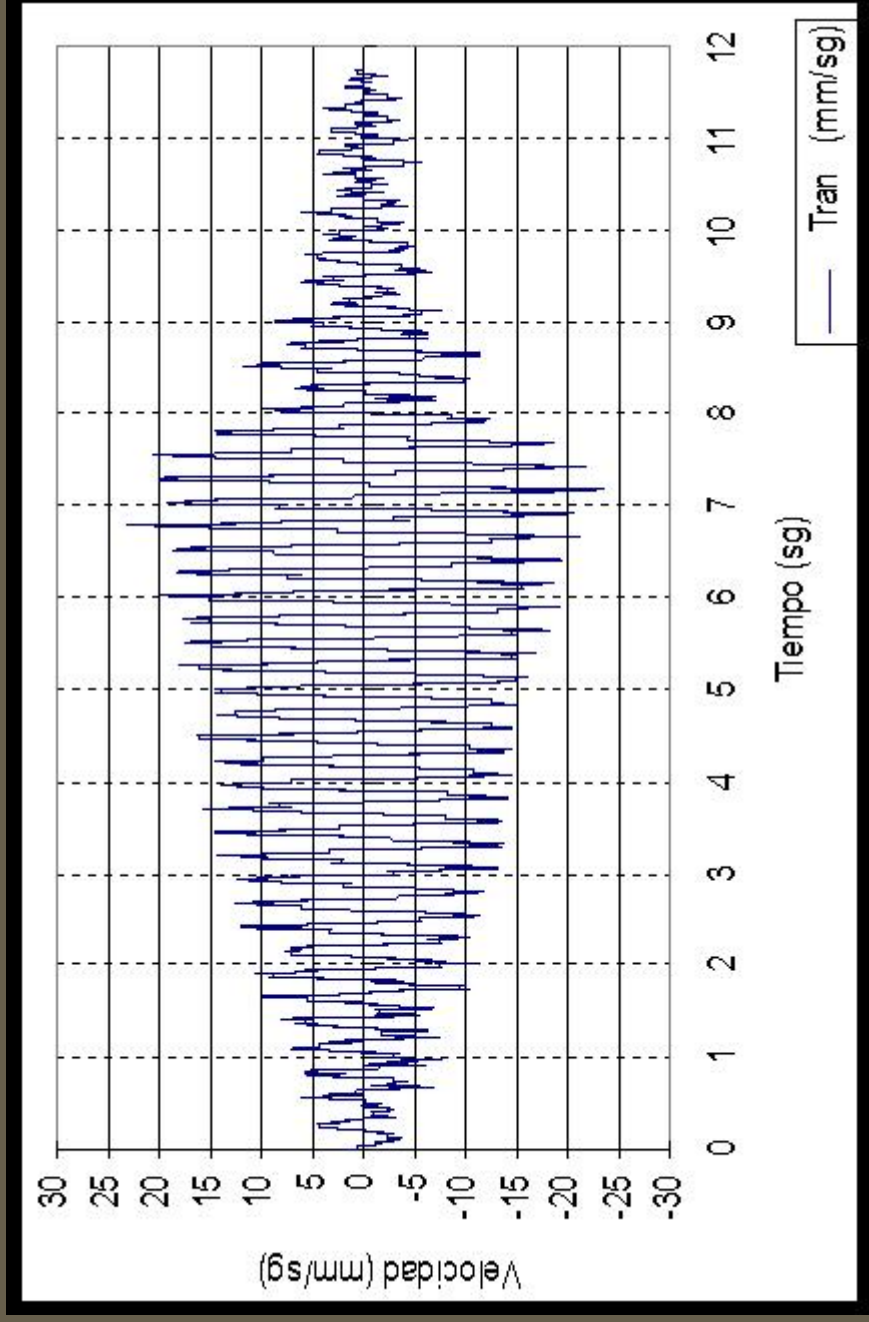
Post Event Notes

PPV	Tran	Vert	Long	
	9.14	6.86	1.65	mm/s
PPV (Ponderated)	29.1	16.7	2.49	mm/s
PPV	70.2	67.7	55.4	dB
ZC Freq	2.7	3.5	11	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.000	0.331	0.047	sec
Peak Acceleration	0.106	0.0663	0.0530	g
Peak Displacement	0.466	0.290	0.0388	mm
Sensorcheck	Check	Passed	Passed	
Frequency	6.9	7.5	7.1	Hz
Overswing Ratio	27.9	4.1	3.6	

Peak Vector Sum 9.32 mm/s at 0.000 sec



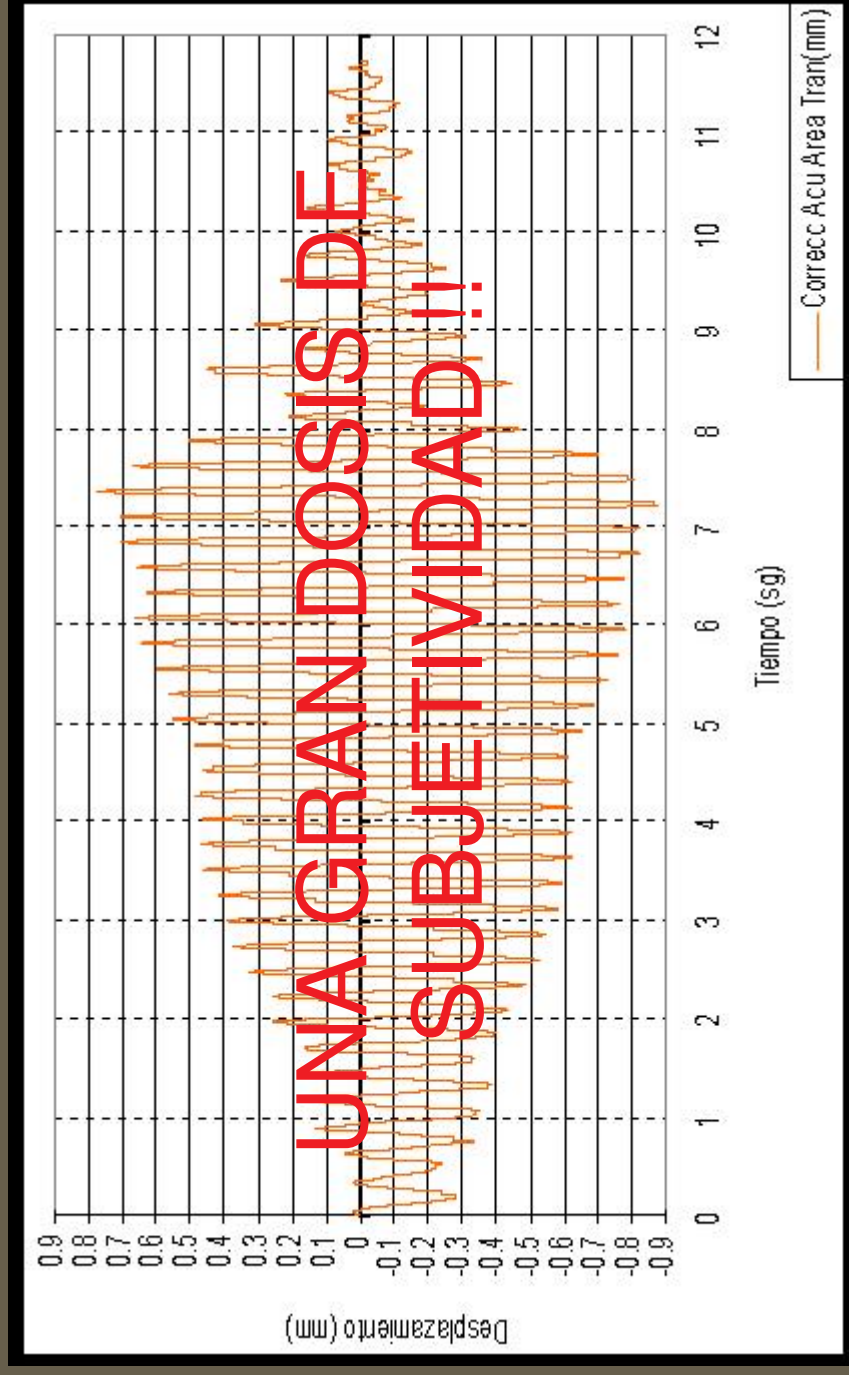
VELOCIDAD REGISTRADA VS TIEMPO



Rata de muestreo de 4096 sps

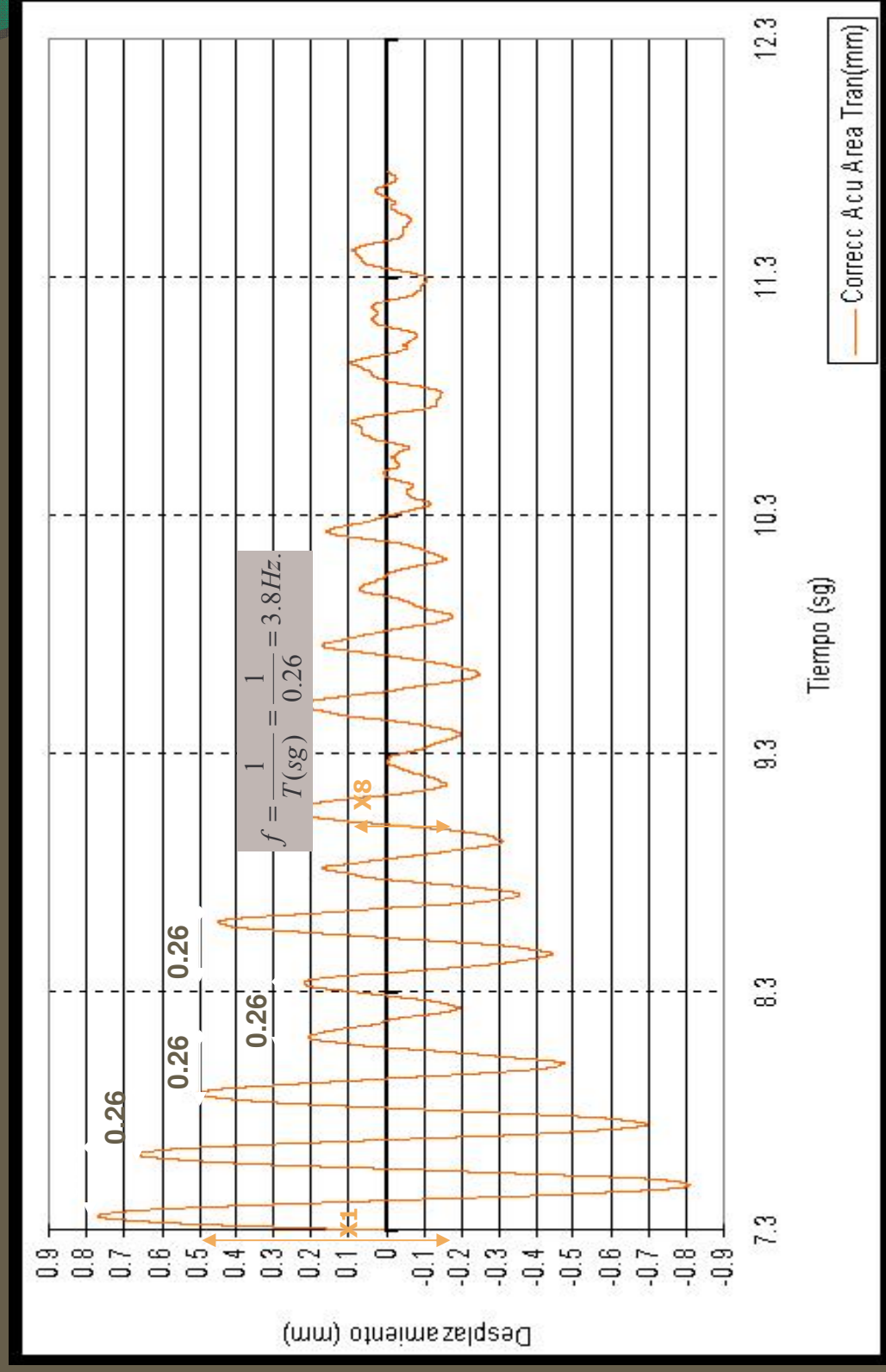
DESPLAZAMIENTO CALCULADO VS TIEMPO

CORRECCION POR LINEA BASE Y FILTROS

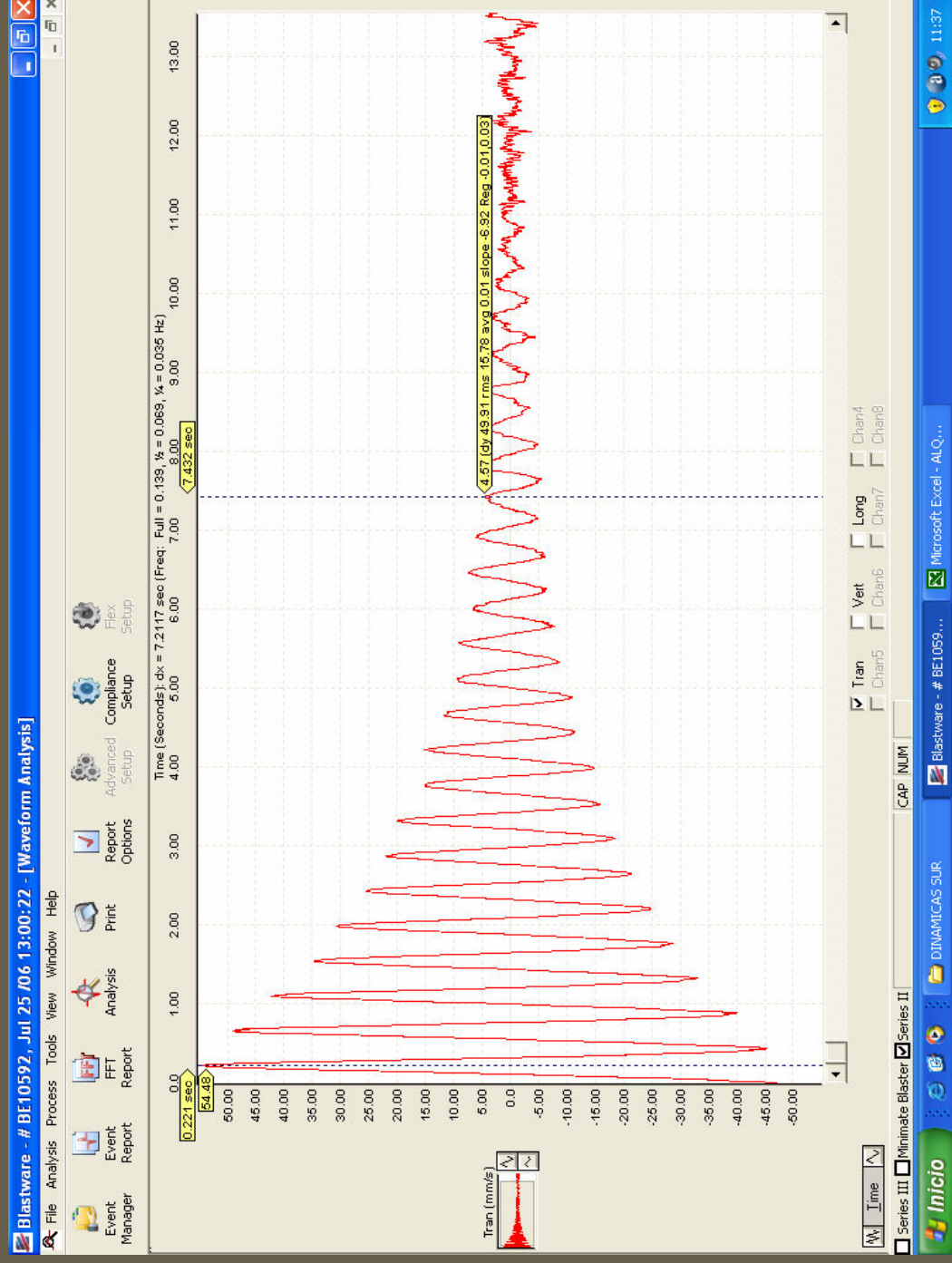


Rata de muestreo de 4096 sps

Gráfico de desplazamiento a partir de donde se presenta amortiguamiento



PUENTE DE HONDA



PDA

COMPORTAMIENTO SOLO BAJO CARGA DE COMPRESION AXIAL ?

PILOTES Y ANCLAJES, INTERACCION SUELO ESTRUCTURA (CARGA DEFORMACION TIEMPO).

ELIMINAR EFECTOS DE FUERZAS VISCOSAS E INERCIALES PARA CALCULAR LA CAPACIDAD ESTATICA DEL PILOTE.

Ensayo de carga statnamic.

“En la prueba statnamic se aplica una fuerza a la fundación mediante la quema de combustible de propulsión rápida (el de los cohetes). Al quemarse el combustible se acelera una masa de reacción que se coloca sobre la fundación. “

Desventaja

“Como la fuerza es de muy corta duración, se generan fuerzas viscosas e inerciales que es necesario eliminar para obtener la respuesta de la fundación ante cargas aplicadas lentamente (resistencia estática). “



3MN STATNOMIC Load Test

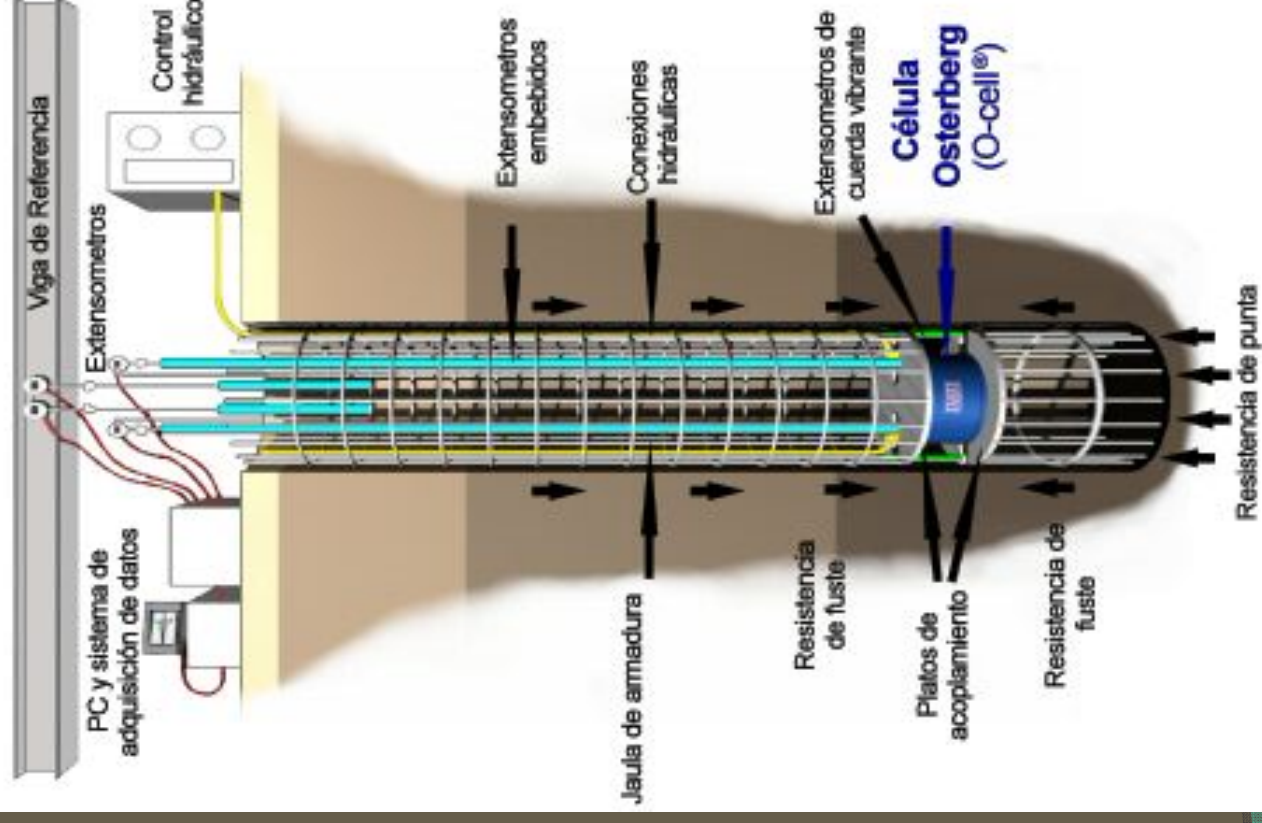
Pruebas estáticas

Se reacciona sobre el mismo pilote ?

Prueba utilizando la celda Osterberg

El profesor Osterberg en 1992 inventó la llamada O-cell que según lo que consulte contiene un gato hidráulico encerrado en una celda cerca de la punta de la fundación. El dispositivo trabaja aplicando carga en dos direcciones hacia arriba contra la resistencia del fuste y hacia abajo contra la resistencia de la punta. La gran ventaja de un ensayo de este tipo es que no requiere el sistema de reacción de las pruebas de carga estáticas.

Celda Osterberg



Desventajas de la prueba utilizando la celda Osterberg

Las desventajas según el artículo consultado es que en primer lugar no permite obtener la curva de desplazamiento vertical de la cabeza del pilote que se obtiene en una prueba de carga de compresión axial.

La carga última de la fundación tampoco se suele determinar ya que el ensayo termina cuando se alcanza el límite del fuste o de la punta pero no de ambos.

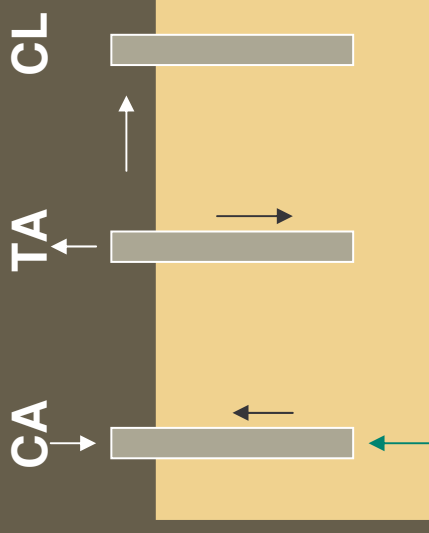
Hay que mandar a hacer la celda y está se queda perdida en el pilote.

Las otras pruebas estáticas

✓ Compresión axial

✓ Tracción axial

✓ Carga Lateral



Cuántas pruebas de cada tipo se han realizado en el país ?

- En la actualidad el PDA es un ensayo cada vez más frecuente.
- Ningún ensayo statnamic
- Se han realizado algunos intentos con una celda similar a una Osterberg.
- De vez en cuando realizamos un ensayo de compresión axial, uno que otro ensayo de carga lateral o mixta en muelles y cero ensayos de tracción axial.

CUÁNDO ?
■ Complementariedad en lugar de exclusión.

Para qué puede servir un ensayo de tracción axial

En cuanto al pilote

- ❑ Evaluación de juntas en pilotes hincados.

En cuanto al suelo

- ❑ Un ensayo de tracción junto con uno de compresión axial permite conocer el aporte por punta y el aporte por fricción en el fuste.
- ❑ Puede servir para evaluar comportamiento de los pilotes en sismos.

Para qué puede servir un ensayo de carga lateral o mixta.

Comportamiento del pilote a cargas sísmicas.

Socavación.

Muelles.

NORMAS ASTM.

- ✓ ASTM D 1143. Standard test method for piles under Static Axial Compressive Load.
- ✓ ASTM D 3966. Standard test method for piles under Static Lateral Loads.
- ✓ ASTM D 3689. Standard test method for piles under Tensile Load.

Otras Normas

Normas ASTM

PARTE 1 : INTRODUCCION E INDICE

PARTE 2: NORMAS RELACIONADAS.

PARTE 3: APARATO PARA APLICAR CARGA.

PARTE 4: SISTEMA DE MEDICION DE
DEFLEXIONES.

PARTE 5: PROCEDIMIENTO DE CARGA.

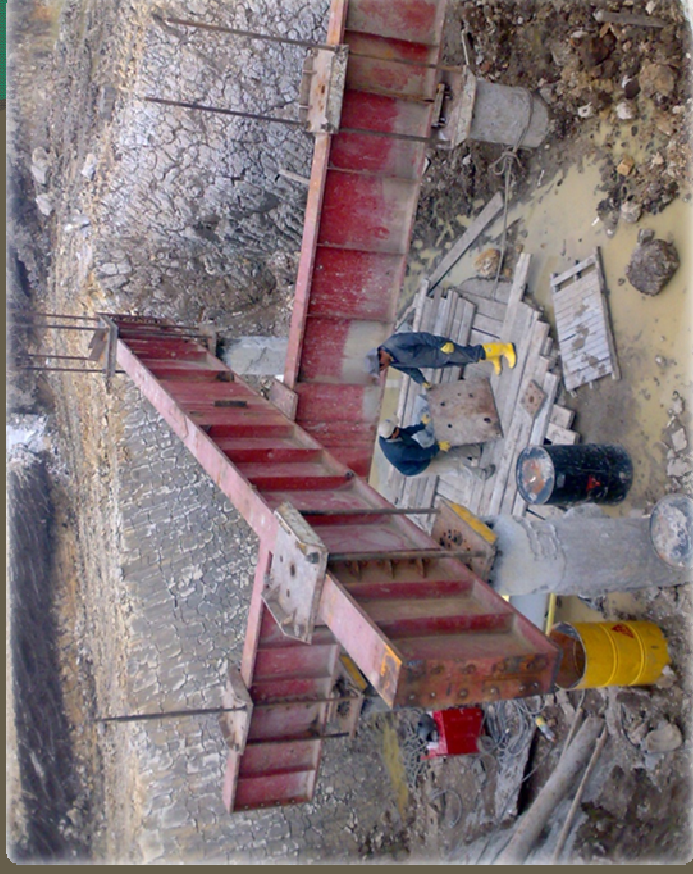
PARTE 6: SEGURIDAD E INFORME.

APENDICE

LASTRE O SISTEMA DE REACCIÓN CON PILOTES O ANCLAJES.



Figura 4: Esquema típico de prueba de carga estática



DISTANCIA LIBRE ALREDEOR DEL PILOTE DE ENSAYO

Distancia libre alrededor del pilote

Compresión

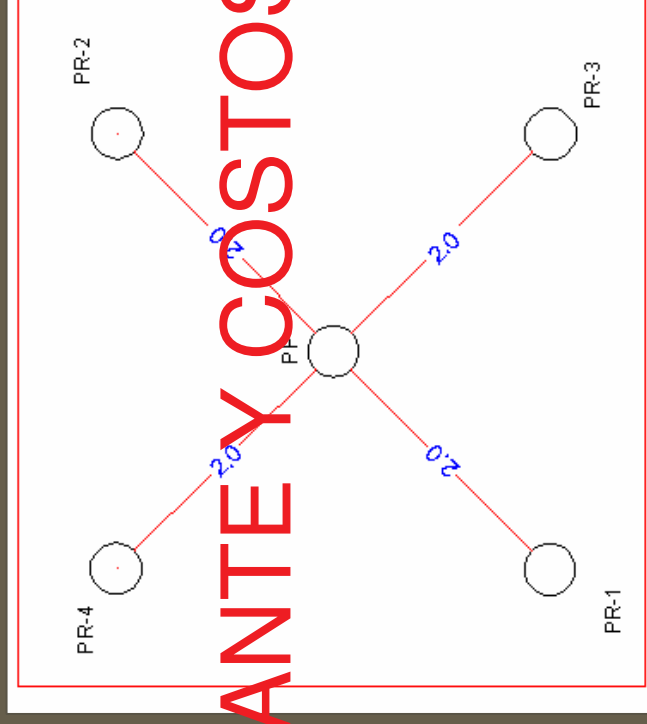
2 D o 5 m

Tracción

5 D o 2.5 m

Carga lateral

20 D o 6 m



(Distancia insuficiente?) Ej: Pilote Puente Calle 170

GATO - BOMBA - MANÓMETRO

Calibración,



Sistema Dual



OPCIONAL

GATOS VS CELDAS

“In summary, load measurements base don jack fluid pressure may be significantly in error, may be on unsafe side, and are usually unacceptable. Good practice when load test, drilled shafts and tiebacks includes use of load cell in serie with the hydraulic jack” .

PREVER TODO PARA LA CARGA DE ENSAYO.

□ Si se quiere llevar a la falla, conviene que el refuerzo del pilote sea cuerpo cierto. Si se quiere llevar a la falla hay que pensar en que los de reacción para que sean capaces de aguantar la carga así como las vigas y obviamente los gatos, tanto geotécnicamente como estructuralmente. Por lo anterior en el diseño de una prueba de carga conviene la participación del estructural y del geotecnista, además del constructor, el interventor, el piloteador, etc.

□ Cuando son suelos cohesivos resulta fácil conocer el número de pilotes de reacción. Por el contrario cuando hay funcionamiento por punta es necesario que el geotecnista especifique su predicciones por punta y por fricción en el fuste.

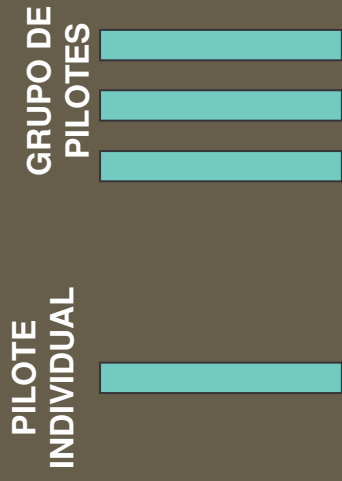
VIGAS, PILOTES DE REACCIÓN, CONECTORES CON CAPACIDAD SUFICIENTE



Excentricidad

PILOTES DEFINITIVOS ?

PILOTE INDIVIDUAL - GRUPO DE PILOTES



❑ De manera muy esquemática todas las normas se refieren a pruebas en pilotos o grupos de pilotos, excepto la de tracción axial que solo contempla el montaje para un pilote individual.

Marco de referencia (Material, distancia.)

Deflexión vertical
(Deformímetros, hilo
y topografía.)

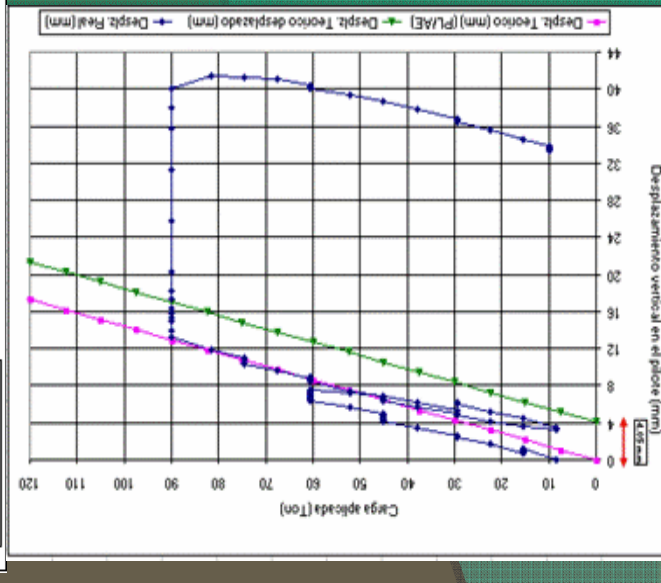
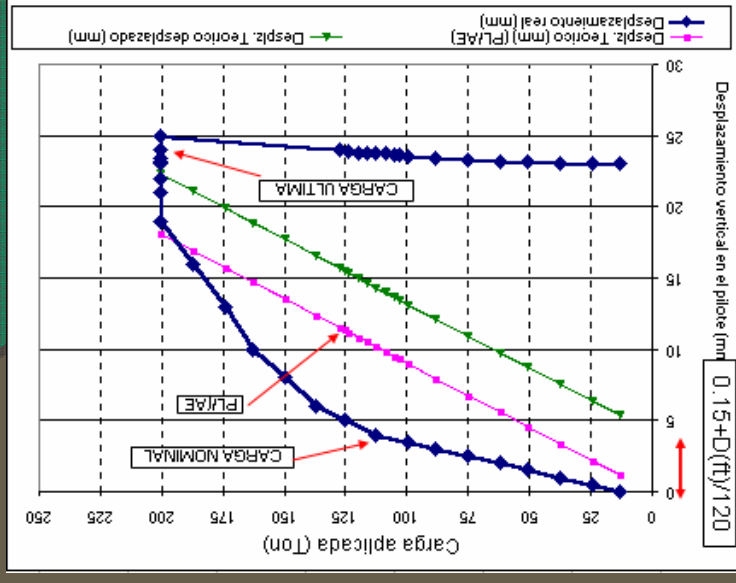
Opcional
Deflexión horizontal
Deformación unitaria
“Tell Tales”



PROCEDIMIENTO DE CARGA

- STANDARD

- CICLICO
- 210 %
- RATA DE CARGA CONSTANTE
- RATA DE DEFORMACION CSTE
- RAPIDO “Quick Load Test”



Apéndice

ESFUERZOS RESIDUALES POR CONSTRUCCION

INTERACCION ENTRE PILOTE DE PRUEBA Y PILOTES DE REACCION.

AUMENTO RESIDUAL DE PRESION DE POROS.

PERDIDA DE SUELO DURANTE CONSTRUCCION.

CREEP Y RETRACCION DE FRAGUADO EN EL CONCRETO.

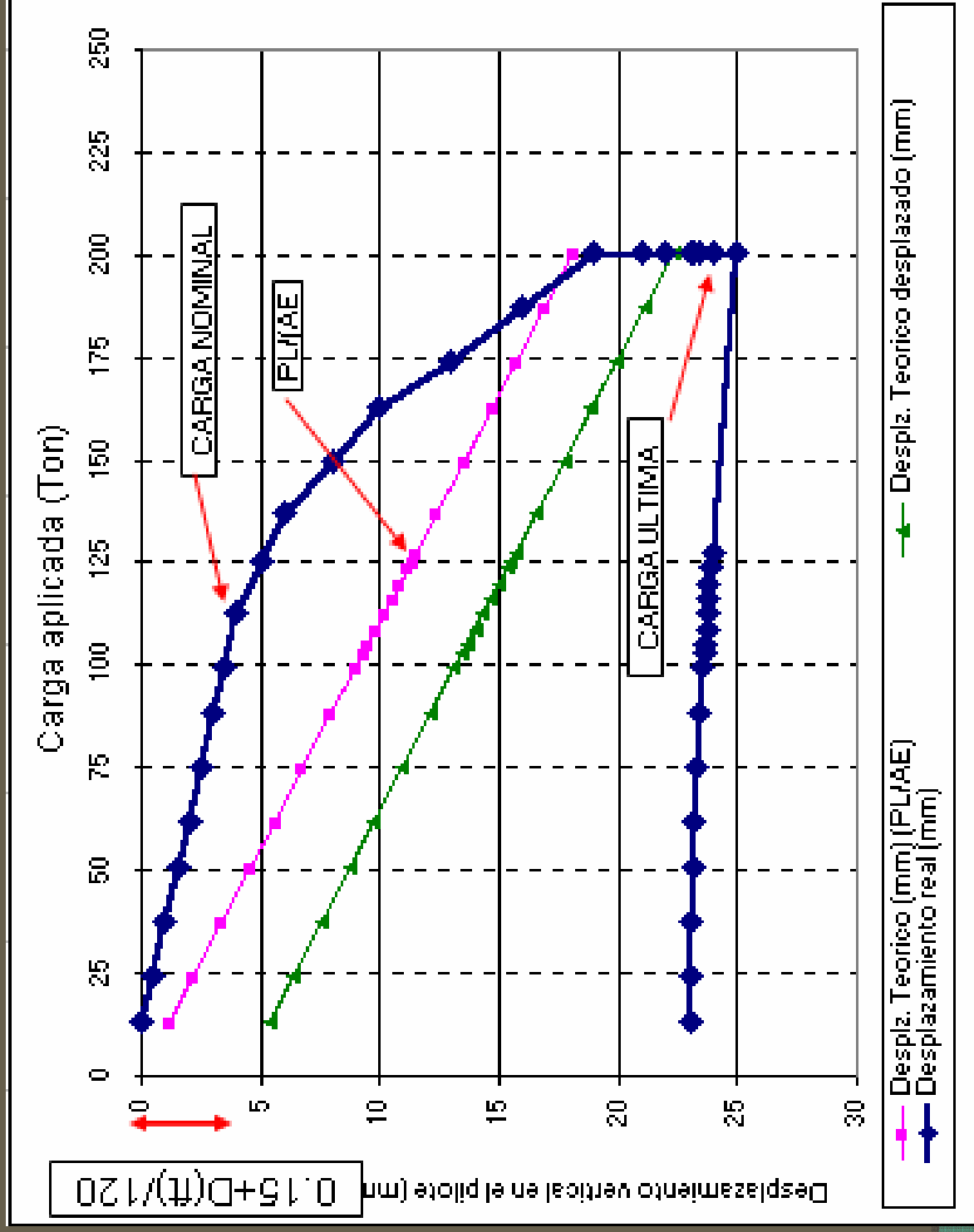
FRICCION NEGATIVA.

NO SE PUEDEN CONOCER ASENTAMIENTOS DE LARGO PLAZO.

CRITERIOS PARA ESTABLECER LA CARGA NOMINAL DE FALLA

DETERMINACION CARGA DE FALLA

1. DAVISSON



2. REINO UNIDO

La carga de falla es aquella para la cual se alcanza una deflexión igual al 10% de la dimensión máxima del pilote.

3. CHICAGO Y CALIFORNIA

La carga de falla es aquella para la cual se obtiene una relación deflexión/Carga de 0.01"/Ton

4. OHIO

La carga de falla es aquella para la cual se obtiene una relación Incremento deflexión/Incremento Carga superior a 0.03"/Ton

5. AASHTO

La carga de falla es aquella para la cual se alcanza una deflexión del 2% del diámetro del pilote cuando $\Delta > 12"$, o cuando se llega a $0.25"$ $\Delta < 12"$

6. HOLLAND

La carga de falla del pilote se presenta cuando se alcanza una deflexión de $1"$

7. OHIO

La carga de falla es aquella para la cual se obtiene una relación Incremento deflexión/Incremento Carga superior a $0.03"/\text{Ton}$

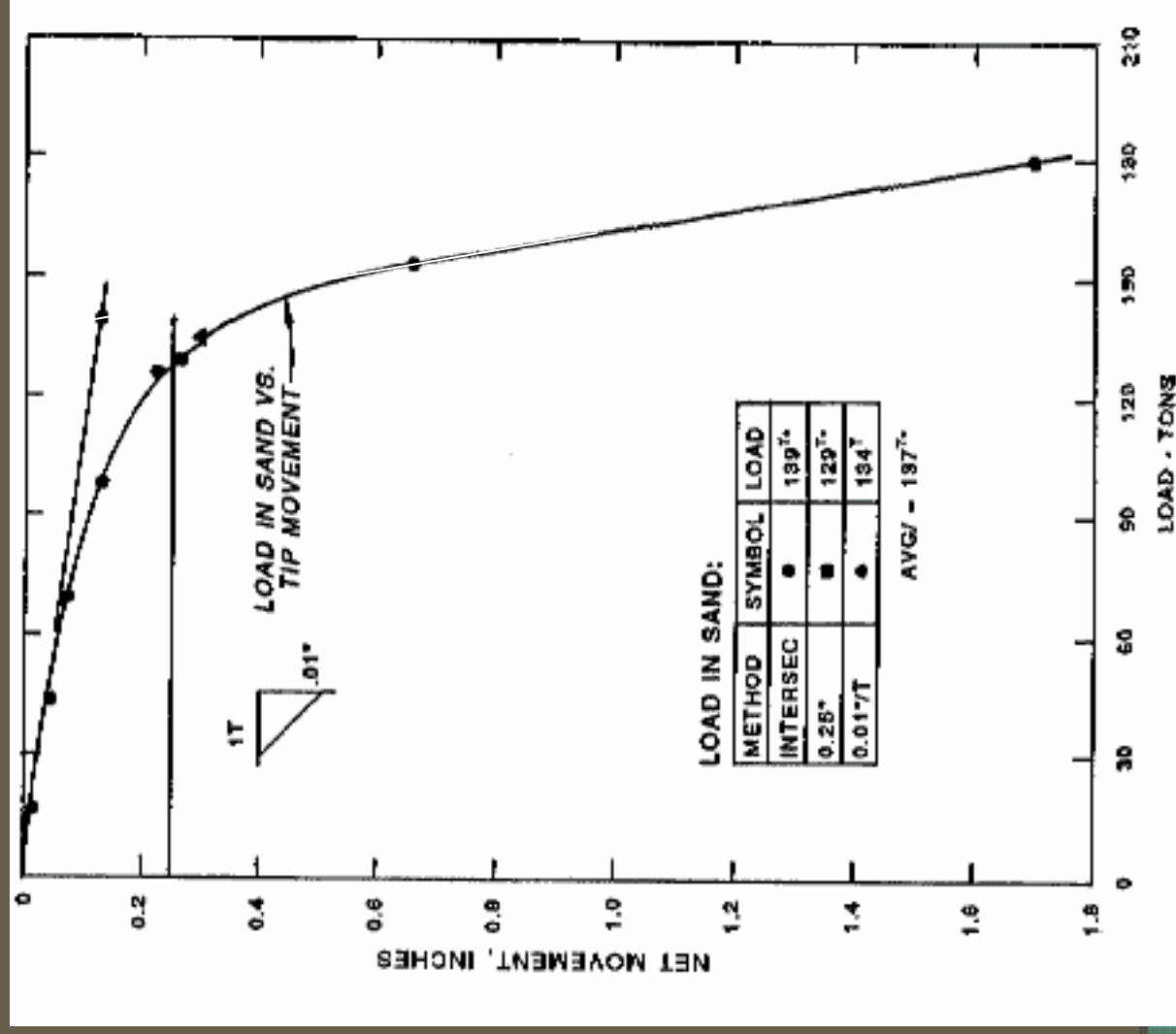
8. CANADA

La carga de falla es aquella para la cual se alcanza una deflexión igual al asentamiento elástico más el Diámetro dividido por 30

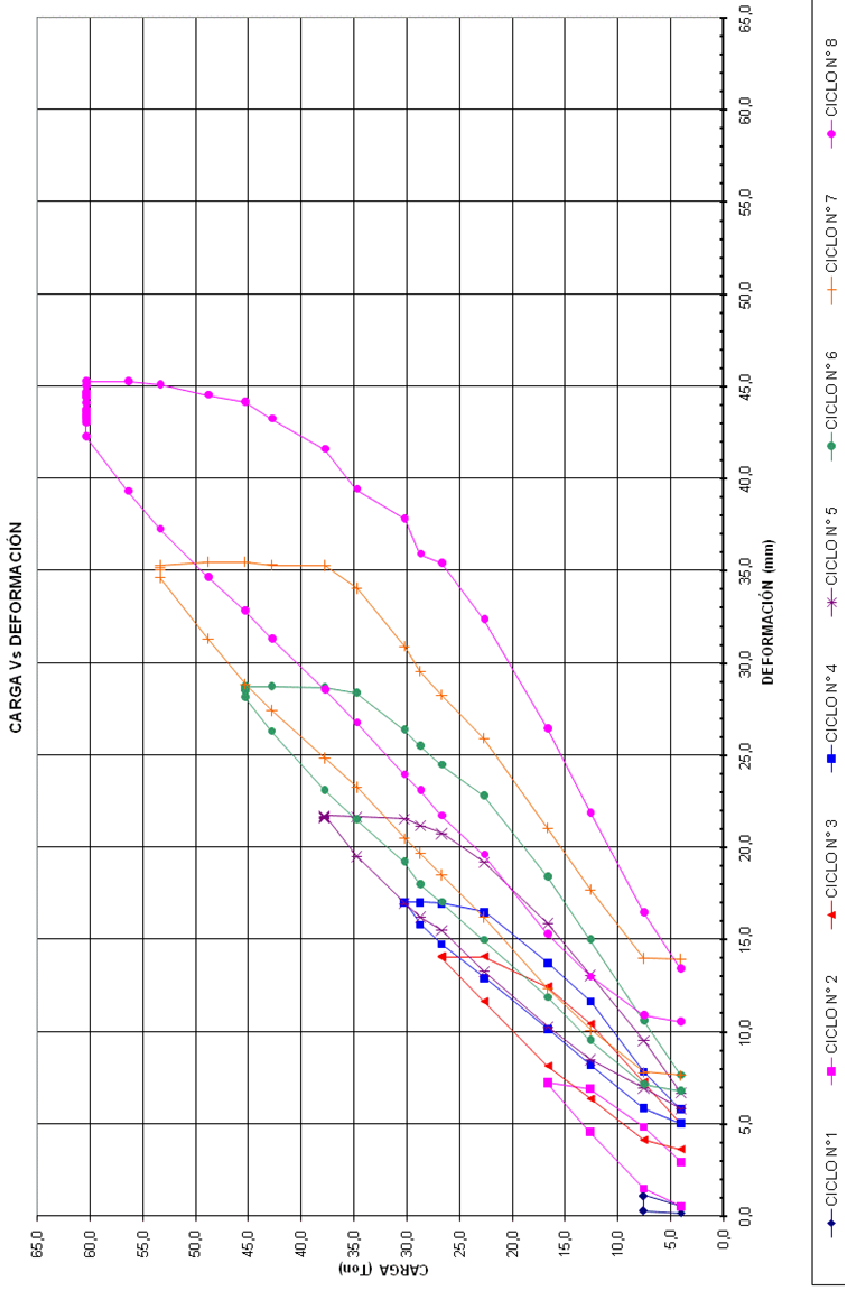
9. INTERPRETACION DE LA CURVA CARGA - DESPLAZAMIENTO

- La carga de falla es aquella a la cual corresponde el punto de máxima curvatura.
- La carga de falla es la que corresponde al punto de intersección de dos rectas tangentes trazadas por la zona superior e inferior de la curva.
- La carga de falla es la correspondiente al punto de quiebre de la curva de asentamiento elástico

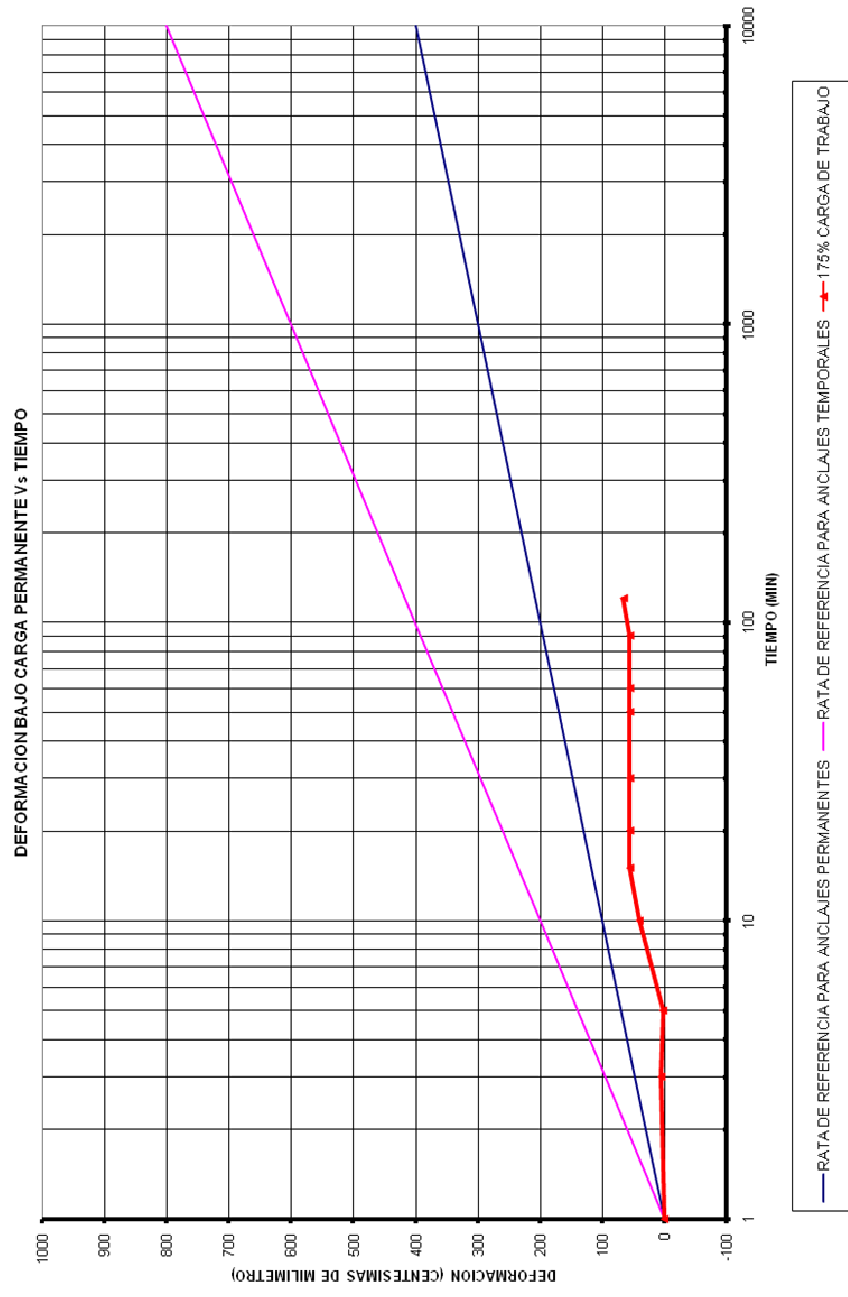
DETERMINACIÓN CARGA DE FALLA



Y LOS MICROPILOTES ?!:



ANCLAJES PERMANENTES Y TEMPORALES



QUÉ QUISIERA AVERIGUAR.

- ✓ Monitorear los pilotes en ciertas excavaciones profundas que inicialmente trabajan a tensión durante la excavación y luego a compresión a medida que se construye el edificio.
- ✓ Medir la afectación de los pilotes por fricción negativa por desecación en la sabana.
- ✓ Generar información acerca del porcentaje de carga que toman los pilotes y el porcentaje de carga que toma la placa en cimentaciones combinadas placa pilotes.

QUÉ PROPONGO EN CONCRETO

Leyendo los artículos me di cuenta que en varios países están recopilando en bases de datos la información de pruebas de carga. Propongo que la Escuela en cabeza de los Ingenieros Jorge Alberto Duran y Claudia Ríos inicien tal recopilación para la cual solicito la colaboración de diseñadores, piloteadores, constructores y, en fin, todos los que han ayudado para que esta charla y este V encuentro de ingenieros se lleve a cabo.

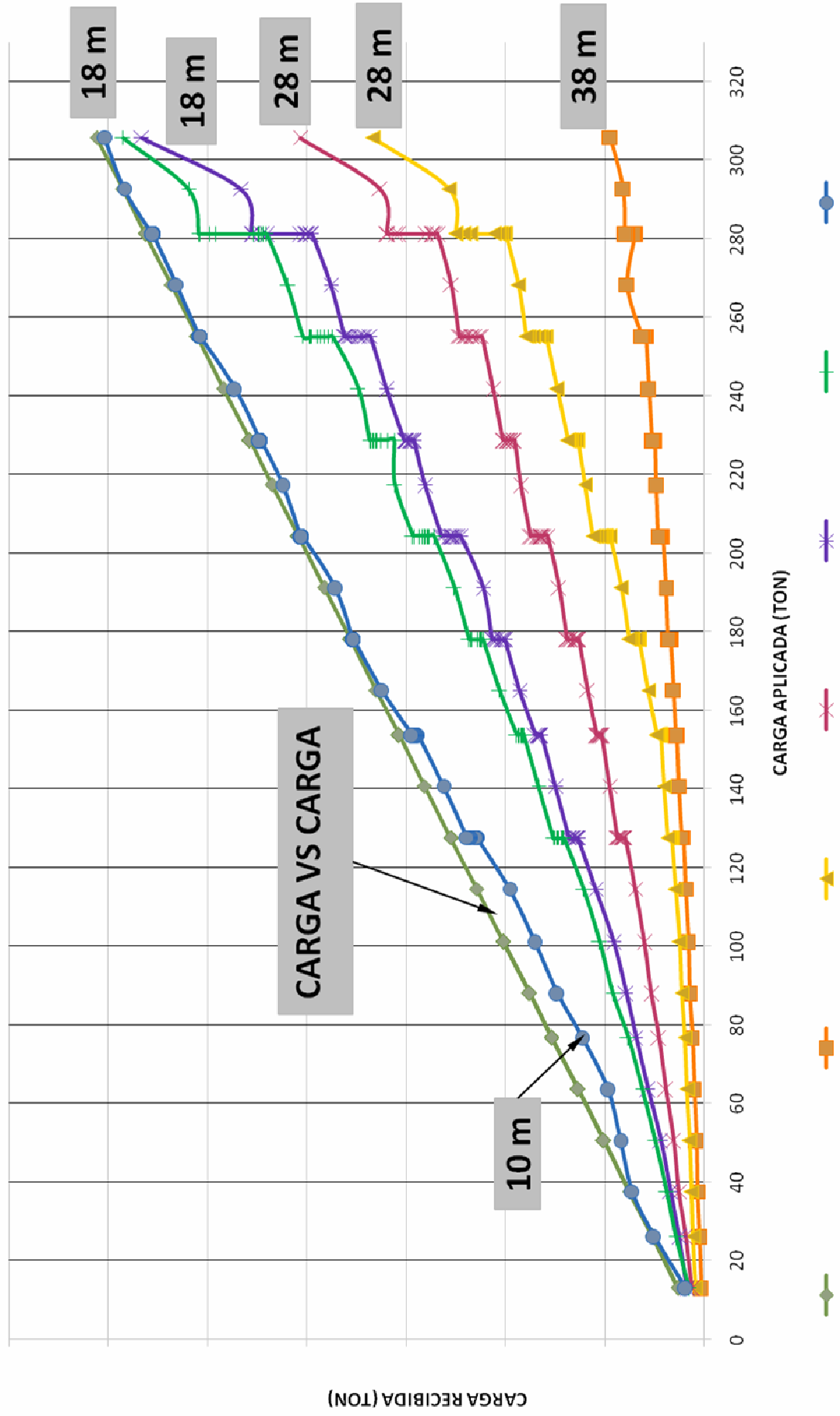


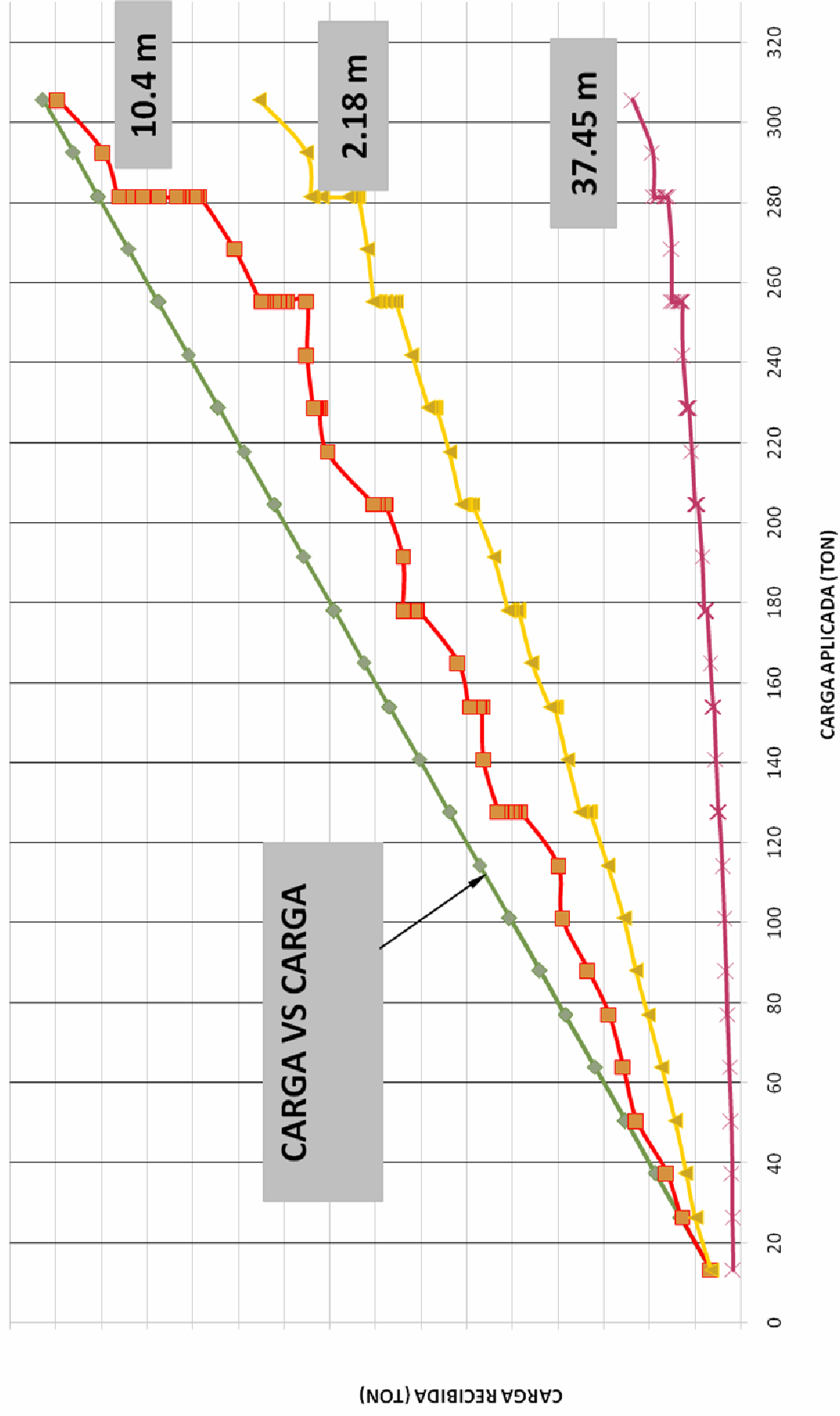




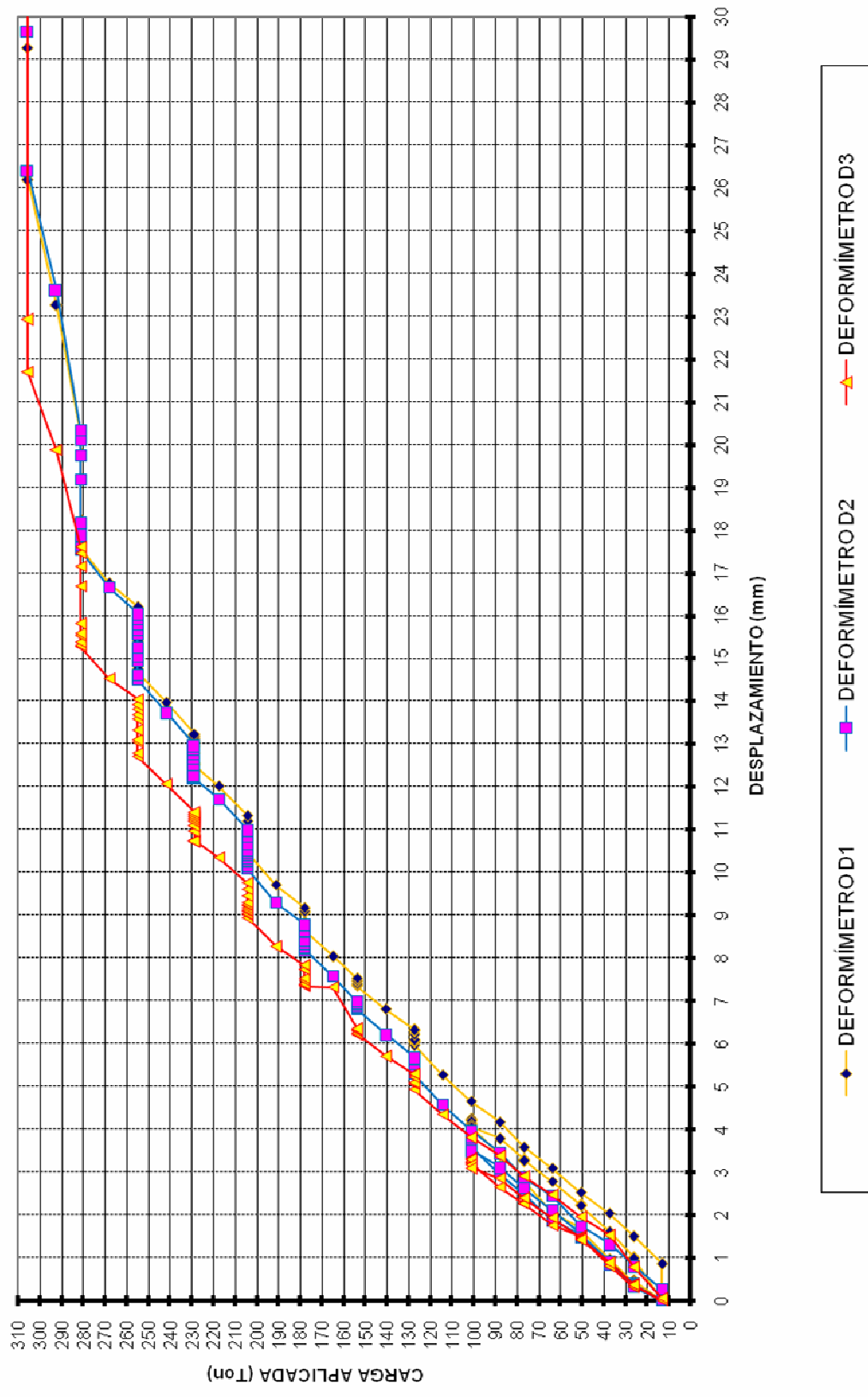


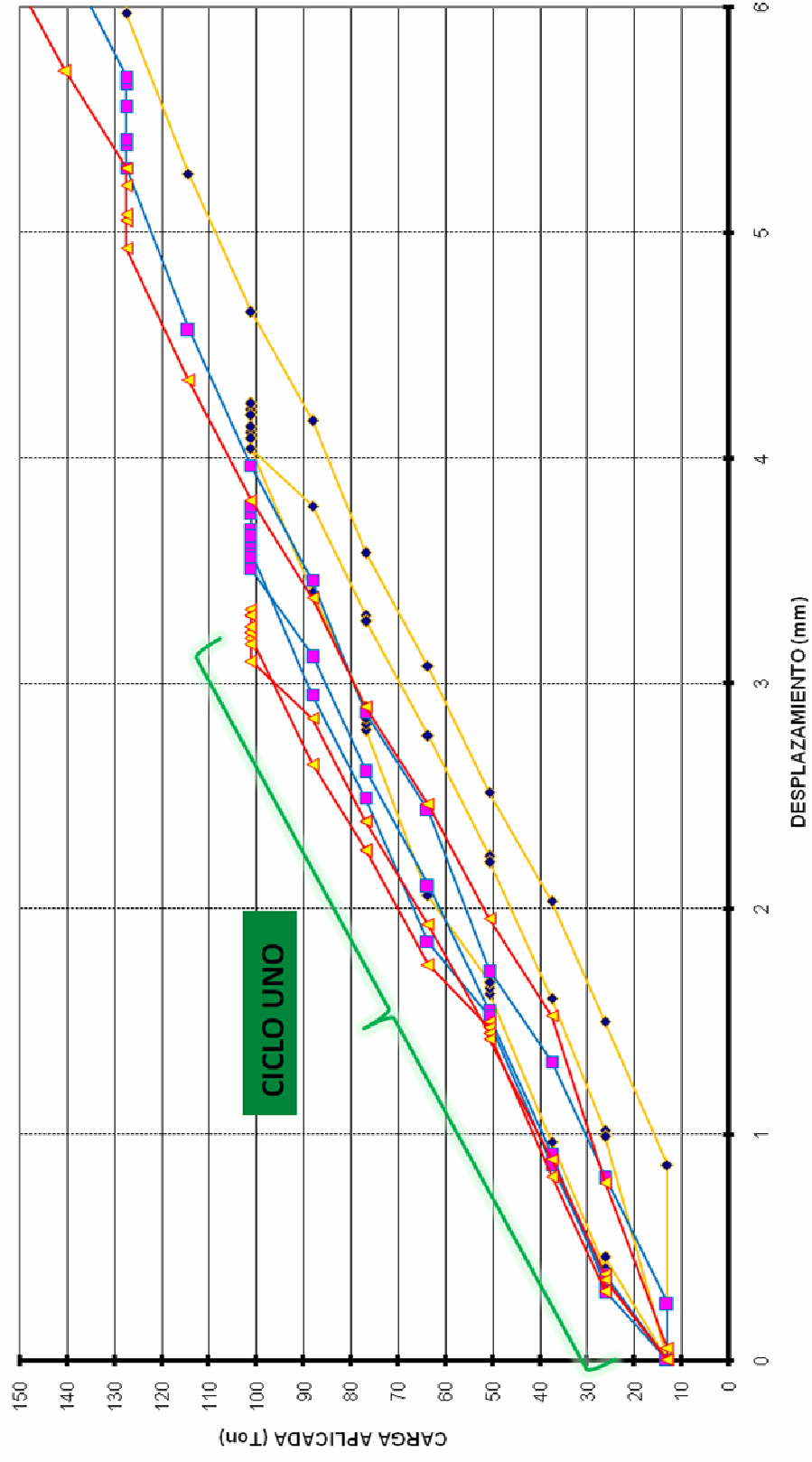




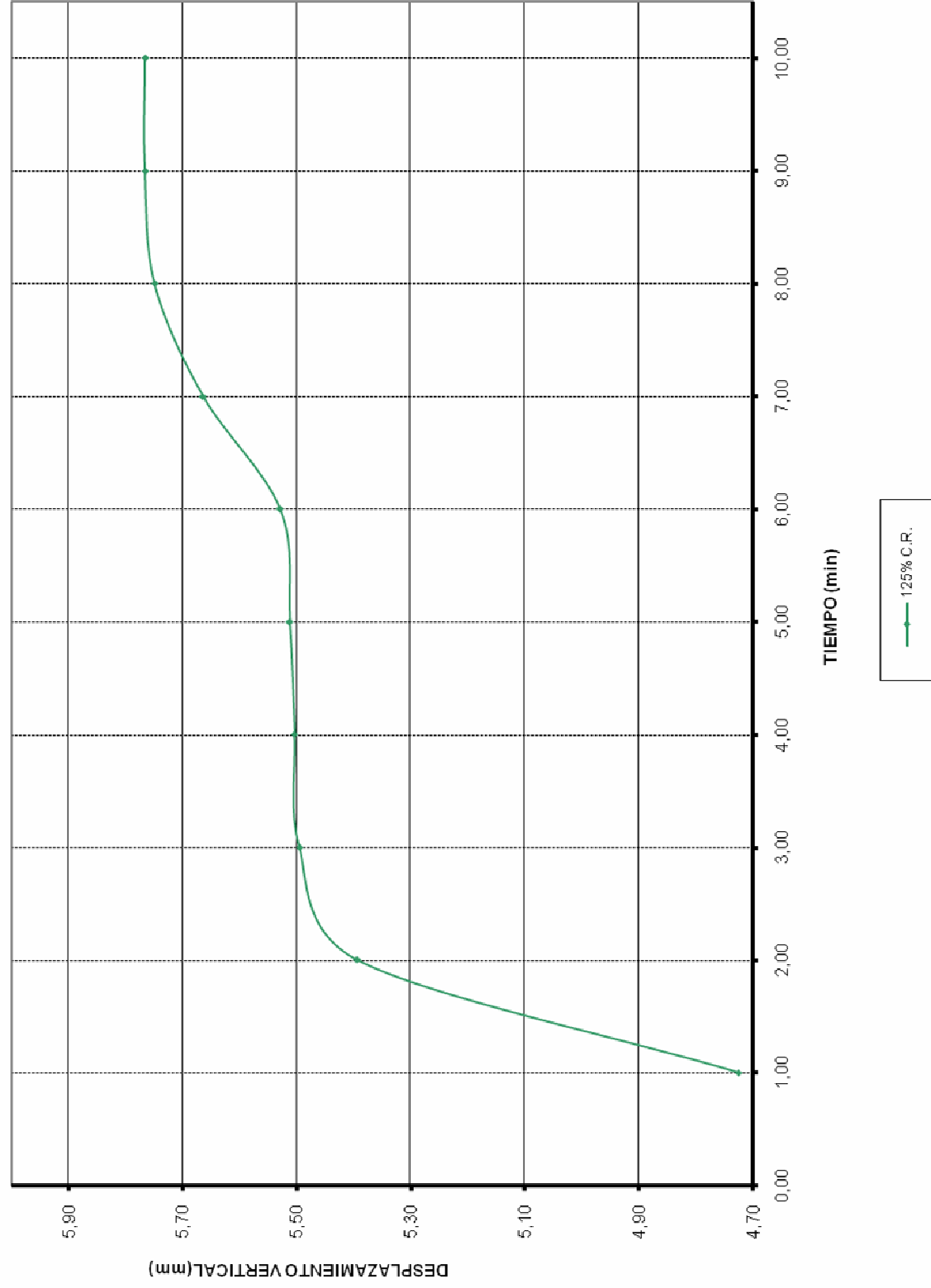


DESPLAZAMIENTO DE LA CABEZA DEL PILOTE - DEFORMÍMETROS D1, D2, D3





DEFORMIMETROD1 DEFORMIMETROD2 DEFORMIMETROD3



SALAZAR FERRO INGENIEROS S.A
PROYECTO: CENTRO COMERCIAL "TITAN"
PRUEBA DE CARGA AXIAL PARA PILOTE DE DIAMETRO DE 60cms.

TABLA No. 1
EVALUACIÓN DE CARGA DE FALLA

	METODO	PILOTE PREEXCAVADO DE 60,0cms.		
		VALOR REFERENCIA	VALOR ALCANZADO	CARGA FALLA (Ton)
	Carga máxima alcanzada durante el ensayo (Ton)	102	305,7	305,7
Criterio 1-	Reino Unido - (Cuando se alcanza una deflexión del 10% de la dimensión máxima.)	60 mm	A los 24mm de deformación este pilote ya había fallado, por lo tanto este criterio se encuentra ampliamente superado al 10% del diámetro.	305,7
Criterio 2-	Chicago y California - La carga de falla es aquella para la cual se obtiene una relación deflexión/Carga de 0.01"/Ton	0.254mm/T	La carga de falla por este criterio se presenta en una franja de deformación de 0,08 a 0,30mm/Ton.	305,7
Criterio 3-	Ohio - La carga de falla es aquella para la cual se obtiene una relación Incremento deflexión/Incremento Carga superior a 0.03"/Ton	0.762mm/T	No se supera el valor de referencia indicado por este método.	
Criterio 4	El código de la AASHTO establece que la carga de falla como aquella para la cual se alcanza una deflexión del 2% del diámetro del pilote (Ø>12")	12 mm	Carga de falla presentada a los 12mm de deformación (2% del diámetro).	228,8
Criterio 5	Holland (La falla del pilote se presenta cuando se alcanza una deflexión de 1")	25.4 mm	A 25mm el pilote se encuentra en la carga de falla.	305,7
Criterio 6	Davisson		La deformada elástica desplazada del micropilote no se corta con la grafica tomada en campo.	305,7