



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**INSTRUMENTACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DE UNA CIMENTACIÓN
PROFUNDA FORMADA POR DOS PILAS OBLONGAS Y UNA ZAPATA-
COLUMNA**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

PRESENTA:

ING. DIEGO ALEJANDRO GONZÁLEZ MARTÍN

DIRECTOR DE TESINA: DR. MANUEL J. MENDOZA LÓPEZ

MÉXICO, D.F.

ENERO DE 2014

INSTRUMENTACIÓN SISMO-GEOTÉCNICA DE UNA CIMENTACIÓN PROFUNDA FORMADA POR DOS PILAS OBLONGAS Y UNA ZAPATA-COLUMNA

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Justificación	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Alcance	6
2. CIMENTACIÓN	7
2.1 Generalidades del proyecto	7
2.2 Perfil estratigráfico de la zona.....	9
2.3 Descripción de la cimentación	16
2.4 Descripción del proceso constructivo	20
3. INSTRUMENTACIÓN	30
3.1 Propósito de la instrumentación.....	30
3.2 Descripción de instrumentos usados	31
3.2.1 Deformímetros eléctricos.....	31
3.2.2 Celdas de presión	33
3.2.3 Celdas de presión de cuerda vibrante.....	33
3.2.4 Celdas de presión tipo Jack-Out.....	34
3.2.5 Conjunto de acelerómetros biaxiales y triaxiales	35
3.2.6 Adquisidor de datos	35
3.3 Calibración de celdas de presión.....	37
3.4 Planeación y lineamientos de la instrumentación	40
3.5 Instalación de instrumentos en las pilas	42
3.5.1 Deformímetros	42
3.5.2 Celdas de presión	44
3.5.3 Celdas de presión tipo Jack-out	46
3.5.4 Acelerómetros triaxiales y biaxiales.....	47
4. RESULTADOS	48
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6. REFERENCIAS	52

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE APOYO, SEGÚN ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA NTC-RCDF	8
FIGURA 2. UBICACIÓN DE APOYO, SEGÚN ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA NTC-RCDF. (GOOGLE EARTH, 2013)	9
FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE SONDEOS	10
FIGURA 4. RESULTADOS DEL SONDEO SMAS-30.	11
FIGURA 5. RESULTADO DE SONDEO SMAS-29	12
FIGURA 6. PERFIL ESTRATIGRÁFICO LONGITUDINAL	13
FIGURA 7. CURVAS DE IGUAL PERIODO DOMINANTE DEL SUELO	15
FIGURA 8. ESPECTRO DE DISEÑO PARA EL TRAMO DONDE SE UBICA EL APOYO A281. (PRIETO, VERDUZCO 2012)	16
FIGURA 9. GEOMETRÍA DE UNA PILA OBLONGA	17
FIGURA 10. MEJORAMIENTO EN CONCRETO, PLANTILLA Y UBICACIÓN DE LA ZAPATA	18
FIGURA 11. GEOMETRÍA DE LA ZAPATA	18
FIGURA 12. GEOMETRÍA DE ZAPATA-COLUMNA - SECCIÓN TRANSVERSAL.	19
FIGURA 13. LOCALIZACIÓN Y EXCAVACIÓN DE PUNTOS CENTRALES	20
FIGURA 14. ALMEJA USADA PARA EXCAVACIONES	21
FIGURA 15. DETALLES DEL BROCAL A USAR EN LA PERFORACIÓN CON ALMEJA	21
FIGURA 16. PERFORACIONES TERMINADAS	22
FIGURA 17. ARMADO DE ACERO DE UNA PILA	22
FIGURA 18. ARMADO DE LAS PILAS DENTRO DE LA PERFORACIÓN	23
FIGURA 19. IZAJE DE LA SEGUNDA PARTE DEL ARMADO Y CONEXIÓN ENTRE ELLOS	23
FIGURA 20. ARMADO DE ACERO INSTALADO	24
FIGURA 21. COLADO DE PILAS	24
FIGURA 22. INSTALACIÓN DE LAS ESPIGAS EN UNA PILA	25
FIGURA 23. EXCAVACIÓN DE MATERIAL ENTRE PILAS	25
FIGURA 24. COLADO DE MEJORAMIENTO EN CONCRETO	26
FIGURA 25. DESCABECE DE PILAS	26
FIGURA 26. NIVEL DE DESPLANTE DE ZAPATA LUEGO DE COLADA LA PLANTILLA	27
FIGURA 27. MONTAJE DE ZAPATA-COLUMNA	28
FIGURA 28. ZAPATA INSTALADA Y COLADO DE CONEXIONES	28
FIGURA 29. RELLENO SOBRE Y A LOS LADOS DE LA ZAPATA	29
FIGURA 30. APOYO A281	29
FIGURA 31. DEFORMÍMETRO DE UN CUARTO DE PUENTE	31
FIGURA 32. DEFORMÍMETROS DE PUENTE COMPLETO	32
FIGURA 33. CELDAS DE PRESIÓN	33
FIGURA 34. CELDA DE PRESIÓN TIPO JACK-OUT	34
FIGURA 35. CELDAS DE PRESIÓN TIPO JACK OUT	34
FIGURA 36. CONJUNTO TRIAXIAL DE ACELERÓMETROS A COLOCARSE SOBRE LA ZAPATA-COLUMNA	35
FIGURA 37. SISTEMA ADQUISIDOR DE DATOS DINÁMICO	36
FIGURA 38. CALIBRACIÓN DE CELDAS DE PRESIÓN	38
FIGURA 39. CALIBRACIÓN CELDAS DE PRESIÓN TIPO JACK-OUT	39
FIGURA 40. INSTALACIÓN DE DEFORMÍMETROS DE CUARTO DE PUENTE	42

FIGURA 41. INSTALACIÓN DE DEFORMÍMETROS DE PUENTE COMPLETO	43
FIGURA 42. CABLES PROTEGIDOS ENROLLADOS EN LAS DOS ETAPAS DEL IZAJE DEL ARMADO	43
FIGURA 43. INSTALACIÓN DE CELDAS DE PRESIÓN EN LA PUNTA DE LA PILA	44
FIGURA 44. INSTALACIÓN DE CELDA DE PRESIÓN BAJO EL MEJORAMIENTO	45
FIGURA 45. LUGAR DE INSTALACIÓN DE CELDA BAJO LA ZAPATA Y SOBRE EL MEJORAMIENTO	45
FIGURA 46. INSTALACIÓN DE CELDA DE PRESIÓN TIPO JACK-OUT	46
FIGURA 47. ESPACIO PARA INSTALACIÓN DE ACELERÓMETROS	47
FIGURA 48. UBICACIÓN DE DEFORMÍMETROS DE LAS CONEXIONES	48
FIGURA 49. APOYO A281 Y TRABES ANTERIOR Y POSTERIOR	49
FIGURA 50. DEFORMACIONES DEL CONCRETO EN CONEXIONES DE ZAPATA-COLUMNA	50

1.1 Justificación

Para el diseñador de construcciones geotécnicas las propiedades ingenieriles de los suelos o rocas son de vital importancia, ya que le interesa conocer los valores exactos de los parámetros o propiedades que determinan el comportamiento del suelo, pero debido a que en su trabajo se encuentra con gran variedad de materiales heterogéneos de origen natural, no es fácil conocer ni otorgar dichos valores (Dunnicliff 1988).

Las pruebas y exploraciones de campo se hacen en un determinado sitio, y los ensayos de laboratorio se hacen a muestras que se obtienen de dichas exploraciones puntuales, por tanto, no es posible afirmar que los resultados que de allí se obtienen son los que se presentan en toda el área de estudio, sin embargo, para fines ingenieriles se suelen usar esos resultados para poder caracterizar el material de determinada zona, dicha generalización causa incertidumbre en el diseño debido a la no uniformidad del terreno ni de los suelos.

Varias teorías que se usan para el diseño de cimentaciones se basan en hipótesis las cuales se hacen necesarias confirmar o rectificar. En la actualidad, la instrumentación sismo-geotécnica juega un papel muy importante dentro de la ingeniería, ya que, al poder conocer el comportamiento real de las cimentaciones se puede comparar con lo esperado por el diseñador y así comprobar o descartar las hipótesis empleadas en el diseño, esto podrá tomarse en cuenta en el diseño de futuras cimentaciones. Otro motivo por el cual es importante la instrumentación en las obras civiles, es que permite hacer un seguimiento al comportamiento de una estructura y así poder determinar oportunamente si existen conductas irregulares que podrían ocasionar problemas de estabilidad en la estructura.

1.2 Objetivos

Objetivos generales y específicos:

- Difundir el proceso de instrumentación sismo-geotécnica que se llevó a cabo en la cimentación profunda del apoyo A281 de la Autopista Urbana Sur (AUS), cuyo objetivo es el de conocer la forma real en que la cimentación transmite las cargas al suelo durante la construcción, vida útil de la vía elevada y en el momento de la ocurrencia de un sismo.
- Describir el proceso constructivo para este tipo de cimentación, usada por primera vez en México.
- Nombrar los criterios con los que fueron seleccionados los instrumentos que se usaron y el tipo de instrumentación que se llevó a cabo.
- Explicar la forma en que fueron calibrados e instalados los instrumentos utilizados.
- Exponer la forma de leer e interpretar los resultados obtenidos de los instrumentos.

1.3 Alcance

Este trabajo expondrá el proceso de instrumentación de cada una de las dos pilas oblongas, y de la zapata-columna que conforman la cimentación profunda del apoyo A281 de la Autopista Urbana Sur (AUS), el cual está ubicado sobre el anillo periférico Bulevar Adolfo López Mateos en el cruce con Viaducto Tlalpan en la Ciudad de México. Este sitio se localiza en la zona dos o de transición, según las Normas Técnicas Complementarias para Diseños y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

De igual manera se explicará el funcionamiento de los diferentes instrumentos que se usaron tales como deformímetros, celdas de presión y acelerómetros, también se darán las razones que llevaron a ubicar los instrumentos en los puntos donde se encuentran instalados, dentro de la cimentación.

2.1 Generalidades del proyecto

En la ciudad de México existen 5.5 millones de automóviles, aproximadamente, lo que representa la tercera parte del parque vehicular del país. Deduciendo así que dentro de unos años la cifra aumentaría a 10 millones, creando esto un caos en la vialidad. La ciudad de México es una de las ciudades con más demanda vial, superando a ciudades como Nueva York y Tokio, diariamente transitan por las vías de la ciudad alrededor de 65.000 vehículos particulares y 94.000 de transporte público, lo que ha causado que dichas vías sean insuficientes. Por lo tanto si no existen nuevas vialidades, dentro de unos años la zona sur poniente podría colapsar (ICA según SETRAVI).

El gobierno de la ciudad de México decidió construir la Autopista Urbana Sur en respuesta a la necesidad de contar con más vías, que permitan desahogar el tráfico vehicular. Solventando la demanda de infraestructura vial existente entre San Jerónimo y la salida a Cuernavaca.

La Autopista Urbana Sur conectará el actual segundo piso del Periférico Sur que inicia en San Antonio, continuando con la vía elevada para cubrir las delegaciones de Álvaro Obregón, Coyoacán, Magdalena Contreras y Tlalpan. Esto forma parte del Plan integral de vialidades y transporte público denominado Autopista Urbana, el cual busca ofrecer una alternativa de movilidad vial en el eje Querétaro-Ciudad de México-Toluca- Cuernavaca. Enlazando así las vías elevadas del Anillo Periférico Norte, el sistema vial de puentes, túneles y distribuidores sur poniente del Distrito Federal.

El desarrollo de esta vialidad se ubica, la mayor parte, en la zona I también llamada Lomas, pasando por ciertas partes de la zona II, conocida como Transición. Lo anterior según la zonificación geotécnica que indican las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones (NTC-Cimentaciones), del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF).

Existe un particular interés en este tramo de la vialidad ya que, se usarán como cimentación, por primera vez en la Ciudad de México, “pilas oblongas”. (*Barrette Foundations*). Esta solución se implementó a partir del apoyo A261 hasta el apoyo A294.

En el sub capítulo siguiente se explicará la ubicación y nomenclatura de las pilas que se encuentran en el tramo mencionado anteriormente, al cual pertenece el apoyo que se instrumentará.

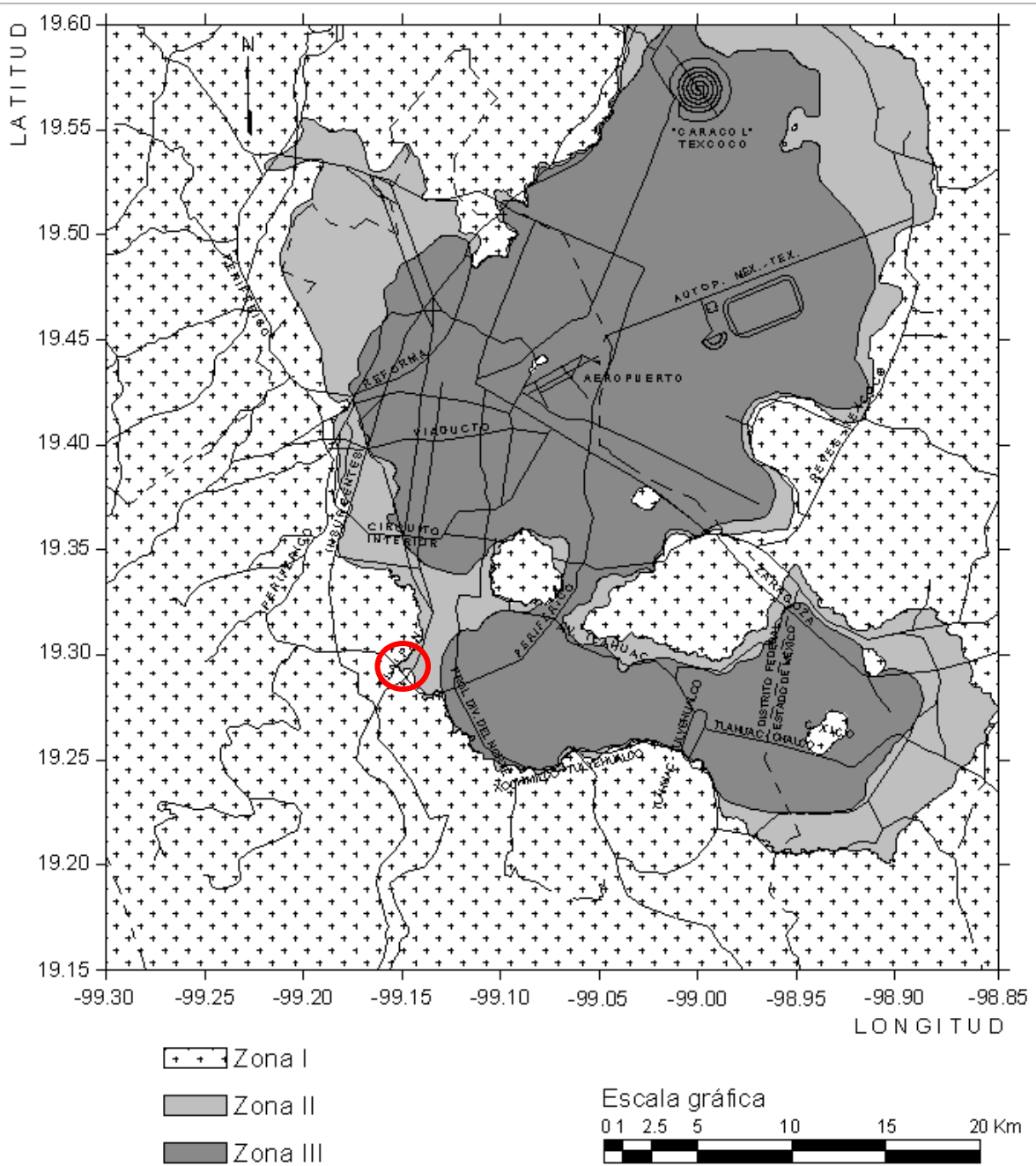


Figura 1. Ubicación de apoyo, según Zonificación Geotécnica NTC-RCDF



Figura 2. Ubicación de apoyo, según Zonificación Geotécnica NTC-RCDF. (Google Earth, 2013)

2.2 Perfil estratigráfico de la zona

Para determinar la estratigrafía del lugar, la empresa diseñadora realizó varios sondeos a lo largo del tramo en estudio. En el sitio exacto donde se encuentra el apoyo A281, que es en el cadenamiento 10+639.212, no se realizó una exploración, pero existen resultados de varios puntos muy cercanos, los cuales corresponden a los sondeos SMAS-27 al SMAS-31 (según nomenclatura del constructor), para este punto en particular se tomarán en cuenta los resultados de los sondeos SMAS-29 y SMAS-30 cuyas profundidades son de 55 y 51 metros respectivamente, ya que se considera que representan o dan una idea de la estratigrafía del sitio donde se encuentra el apoyo.

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los sondeos mencionados anteriormente, junto con los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

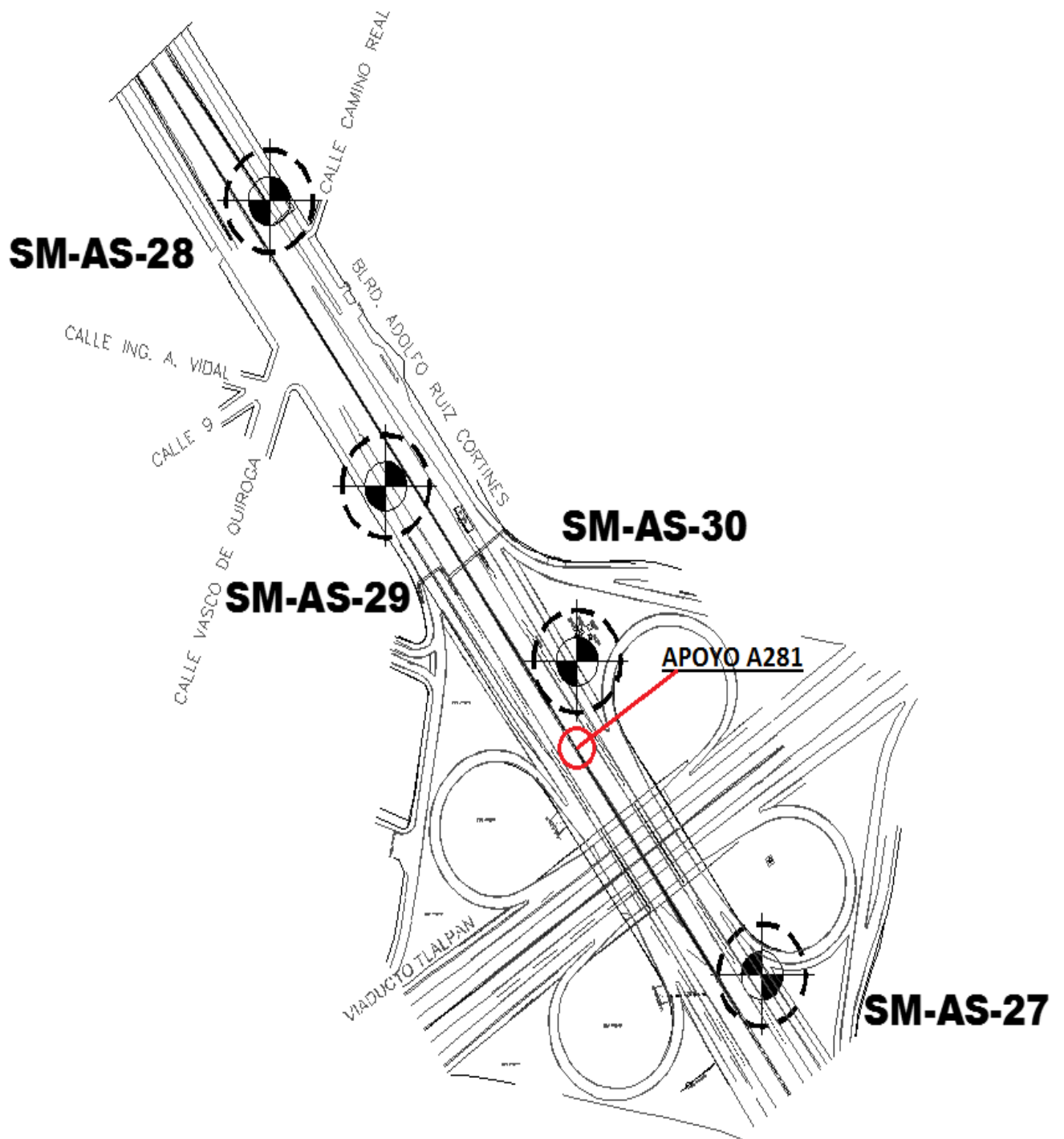
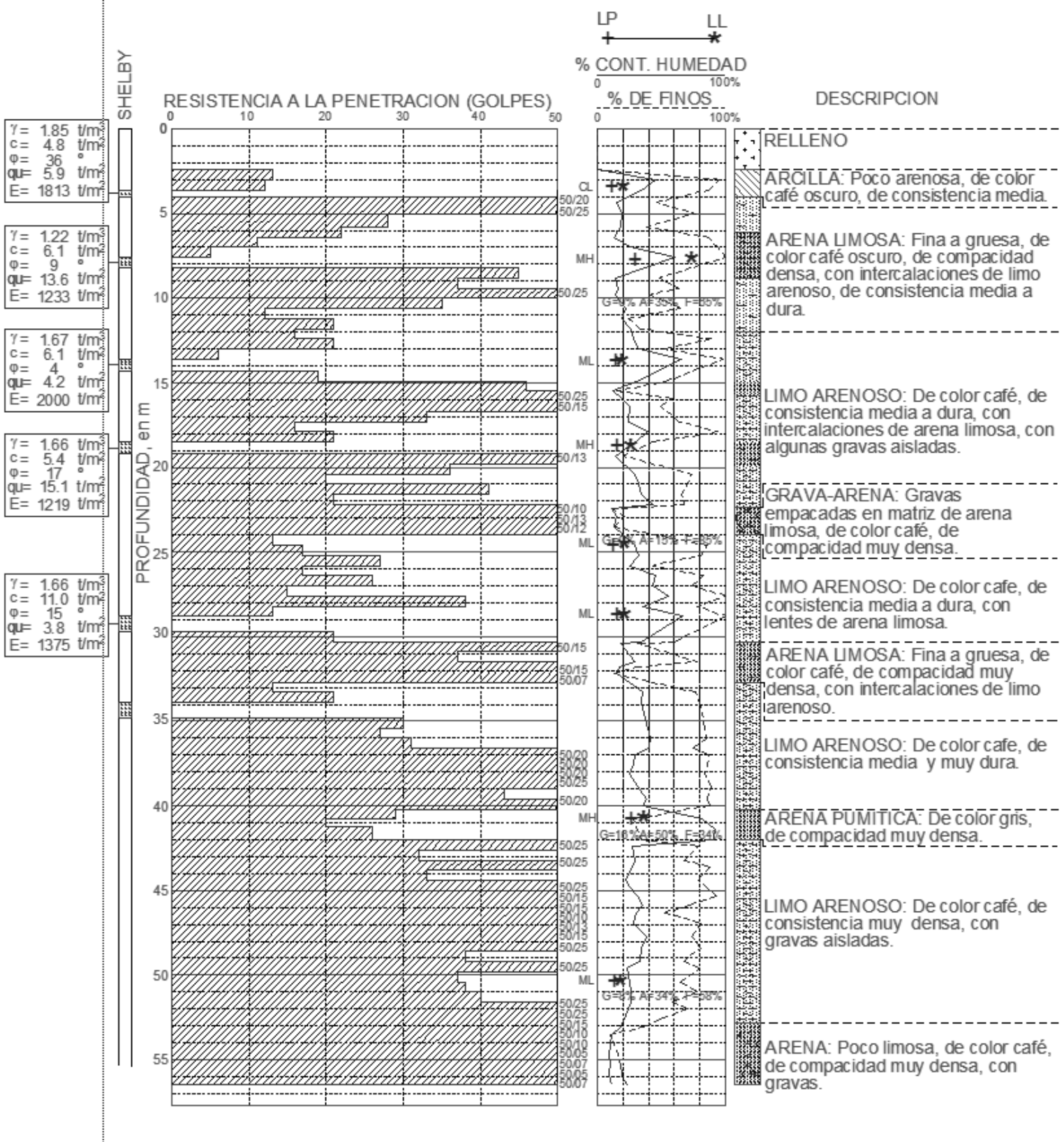


Figura 3. Localización de sondeos



SIMBOLOGIA ARENA ARCILLA RELLENO LIMO GRAVA ROCA

Figura 5. Resultado de Sondeo SMAS-29

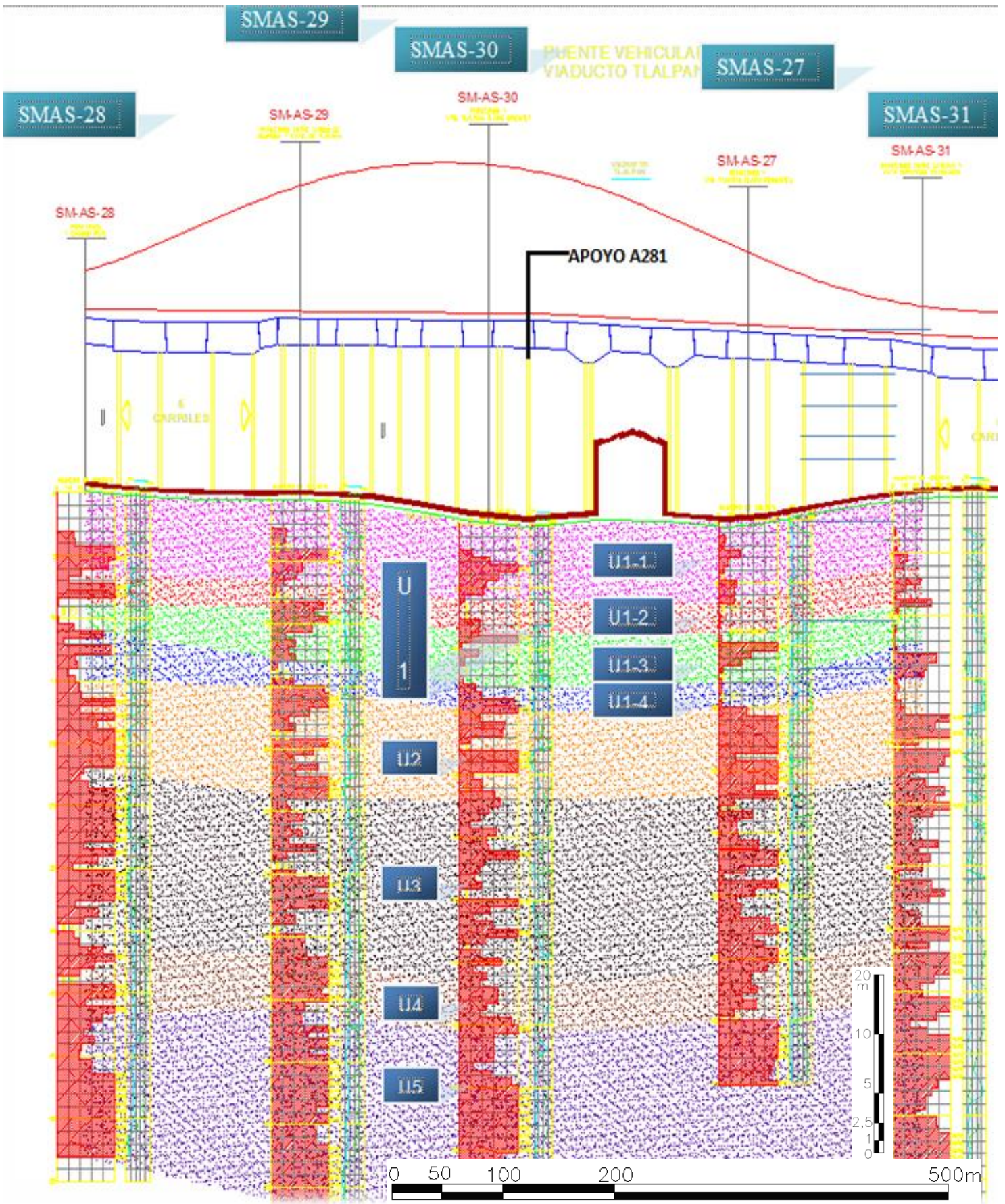


Figura 6. Perfil estratigráfico longitudinal

Estos resultados indican una alternancia de arcillas, arcillas limosas y de arenas limosas, lo que conlleva a variaciones en la consistencia del suelo ya que va desde blanda hasta muy dura.

Basados en lo obtenido de los sondeos SMAS-27 a SMAS-31, (dos de los cuales se mostraron anteriormente), se define un perfil estratigráfico longitudinal en el tramo donde se encuentra el apoyo A281. Esto permite clasificar el suelo en unidades como se indica en la Figura 6 y como se explica más adelante.

Unidad 1 (U1)

Presenta un relleno de 2 metros de espesor, posteriormente se encuentran arenas, arcillas limosas y arenas limosas, de color verde; éstas constituyen depósitos aluviales con un espesor de aproximadamente 14 m.

Por las características y la variedad de materiales que se pueden encontrar allí, esta unidad se ha sub dividido en 4 unidades.

Unidad	Descripción	Espesor medio (m)	ω (%)	%Finos	"N" Spt	γ_m (T/ m ³)	c_u (t/m ²)	ϕ grados	
U1	U1-1	Arena Limosa	5.5	20	50	20	1.65	3.0	25
	U1-2	Arcilla Limosa	3	150-240	100	<4*	1.3	2.75	-
	U1-3	Arena Limosa	3.5	<30	40	25**	1.6	3.0	25
	U1-4	Arcilla poco limosa	2	35	85	12	1.4	3.5	-

* En SMAS-29 la resistencia N_{spt} resultó del orden de 18 golpes.

** Se presentaron tramos con $N_{spt}>50$ golpes.

Las demás unidades al ser más homogéneas no requieren de sub divisiones.

Unidad	Descripción	Profundidad (m)	ω (%)	%Finos	"N" Spt	γ_m (T/ m ³)	c_u (t/m ²)	ϕ grados
U2	Arenas finas limosas hasta arenas gruesas y gravillas, color café claro.	De 14 a 21	15	30	30	1.65		35
U3	Limo arenoso	De 21 a 35	10 - 30	70	25	1.85		35
U4	Arena fina arcillosa (pumítica)	De 35 a 40	30 - 60	60 - 80	30	1.65		30
U5	Arena arcillosa o arcilla arenosa	Más de 40	20	40 - 80	<50	1.9		40

Debido a las particulares condiciones del suelo de la ciudad de México, es muy importante conocer además del tipo de suelo, la velocidad de hundimiento, la cual se puede convertir en un factor de vital importancia en el diseño y el comportamiento de la cimentación. Basados en la información existente en relación con los bancos de nivel que controla el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), a partir de la última nivelación, para el periodo comprendido entre el año 1992 al 2005, se tiene que los bancos próximos al sitio manifiestan una velocidad de hundimiento menor a 1 cm/año. Se destaca que esta magnitud corresponde al límite inferior que el SACM reporta, ello

Con el objetivo de obtener un espectro de diseño específico para cada tramo en estudio, el diseñador hace uso del apéndice A de las NTC-DS-RCDF, allí se indica cómo, basados en el periodo dominante del suelo T_s , se pueden obtener los parámetros a_0 , c , T_a , T_b y k , con los cuales se construye el espectro. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 8

Debido a que esta estructura está clasificada dentro del grupo A, el factor de importancia $F_i=1.5$, los valores de aceleración espectral deben ser afectados por este valor, y por los factores de sobre resistencia y ductilidad propios relacionados con la estructura en sí.

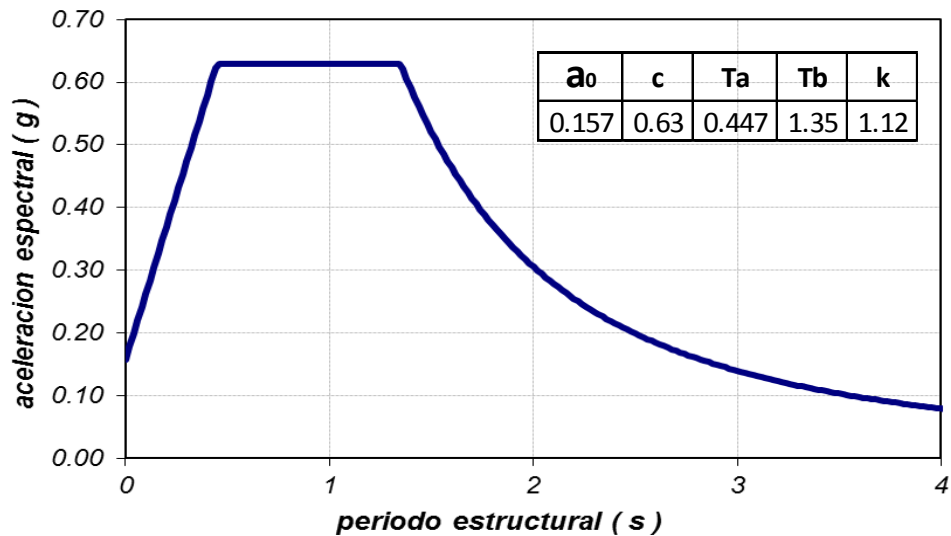


Figura 8. Espectro de diseño para el tramo donde se ubica el apoyo A281. (Prieto, Verduzco 2012)

2.3 Descripción de la cimentación

En búsqueda de procesos más eficientes, altos estándares de calidad, reducción en el tiempo de construcción y una máxima optimización de recursos, la Autopista Urbana Sur usa un proceso de prefabricados que permite la producción de elementos en plantas móviles para su posterior montaje en obra; dicho proceso es recomendado para edificaciones elevadas, debido a que ofrece una sustitución de actividades *in situ* por actividades en planta. Para el caso particular de la cimentación, este proceso se ve reflejado en el uso de una zapata-columna colada monolíticamente.

La cimentación a emplear en este apoyo (A281) está formada por:

- Dos pilas oblongas (*barrette foundations*) separadas 4.6 metros entre sí.
- Una zapata-columna prefabricada.

La conexión entre las dos pilas profundas y la zapata-columna, se lleva a cabo mediante cuatro espigas que se instalan en la parte superior de las pilas (dos espigas por pila, una en cada extremo), como se muestra en la Figura 22.

Esta conexión garantiza la continuidad en la transferencia de carga a lo largo de toda la cimentación.

A continuación se muestran detalles de los elementos que conforman la cimentación.

PILAS OBLONGAS (*barrette foundations*)

Cada una de las pilas oblongas diseñadas para este tramo tiene las dimensiones que se indican en la Figura 9, el apoyo A281 se desplanta a 42.5 metros de profundidad en un estrato arenoso.

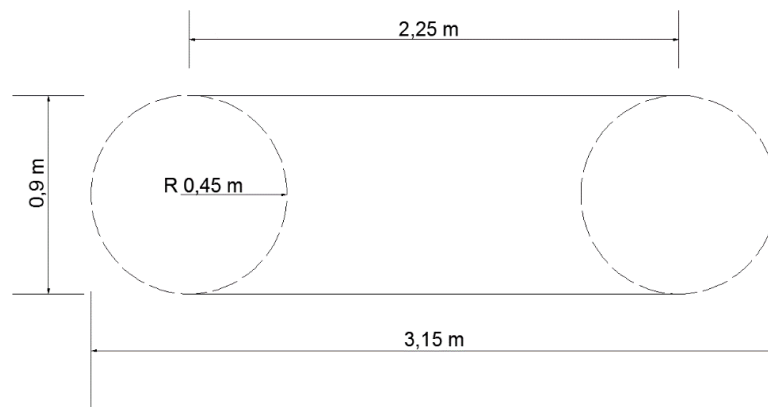


Figura 9. Geometría de una Pila Oblonga

Los ensayos a compresión realizados en el laboratorio del IIUNAM a las muestras del concreto tomadas *in situ* en el momento del colado de las pilas, indican que para la pila derecha el concreto tiene una resistencia $f'c = 560 \text{ kg/cm}^2$ y para la pila izquierda la resistencia es de $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$.

Basados en el área transversal de cada pila, la cual se determina con la Figura 9, se puede determinar que el peso de una pila, por cada metro de longitud, es de 6,4 toneladas, lo anterior considerando el peso volumétrico del concreto como $2,4 \text{ t/m}^3$, por tanto, el peso total de cada una de las pilas oblongas que se colaron en sitio, teniendo en cuenta su longitud, es de aproximadamente 271,5 toneladas.

ZAPATA-COLUMNA

La zapata-columna prefabricada, tal y como se indica en la Figura 11, tiene las siguientes dimensiones:

- 3,65 m en el eje del trazo
- 6,00 m en el eje de la columna (transversal al trazo)
- 1,70 m de espesor

El concreto que se usó para la fabricación de la zapata-columna tiene una resistencia, según el fabricante, de $f'c = 600 \text{ kg/cm}^2$.

En este tramo, según el proyecto estructural y topográfico, debajo de la zapata-columna se debe hacer un mejoramiento, con concreto de resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, en un espesor de 1,7 metros, sobre éste, para el plomeo y alineamiento de la zapata-columna, se cuela in situ una plantilla armada de 25 cm de espesor y con la misma resistencia a la compresión, lo anterior se puede observar en la Figura 10.

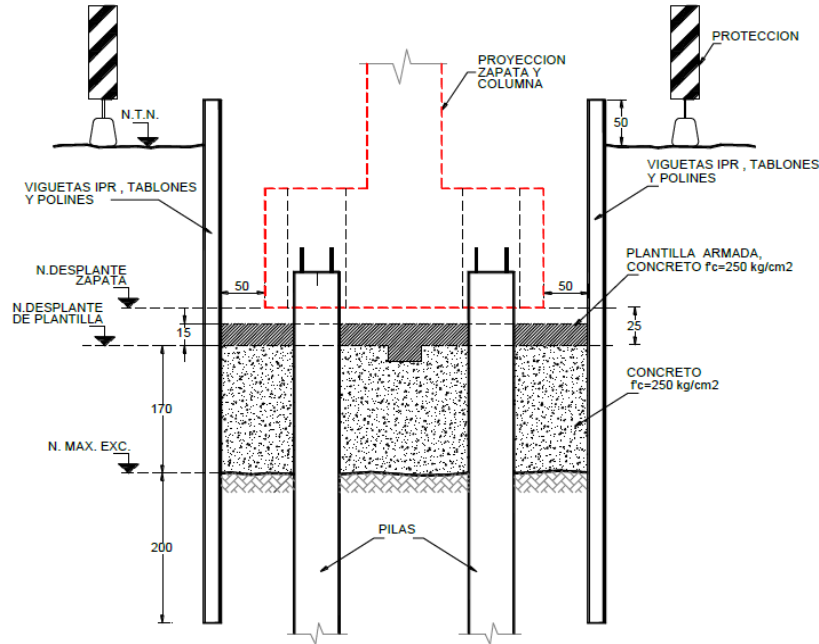


Figura 10. Mejoramiento en concreto, plantilla y ubicación de la zapata

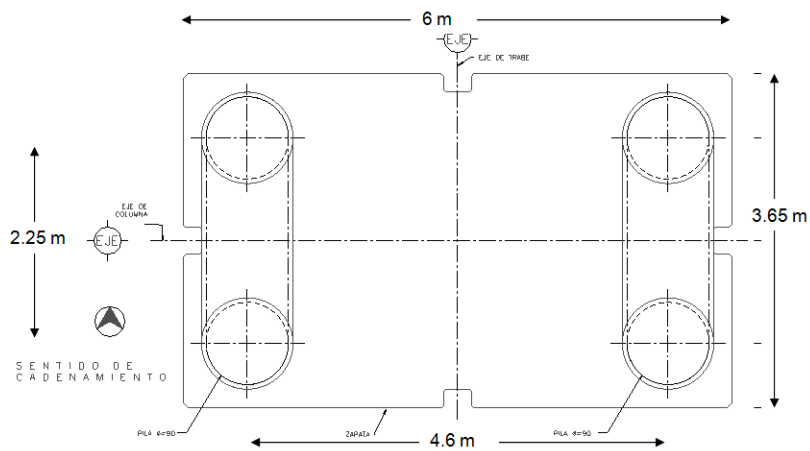


Figura 11. Geometría de la Zapata

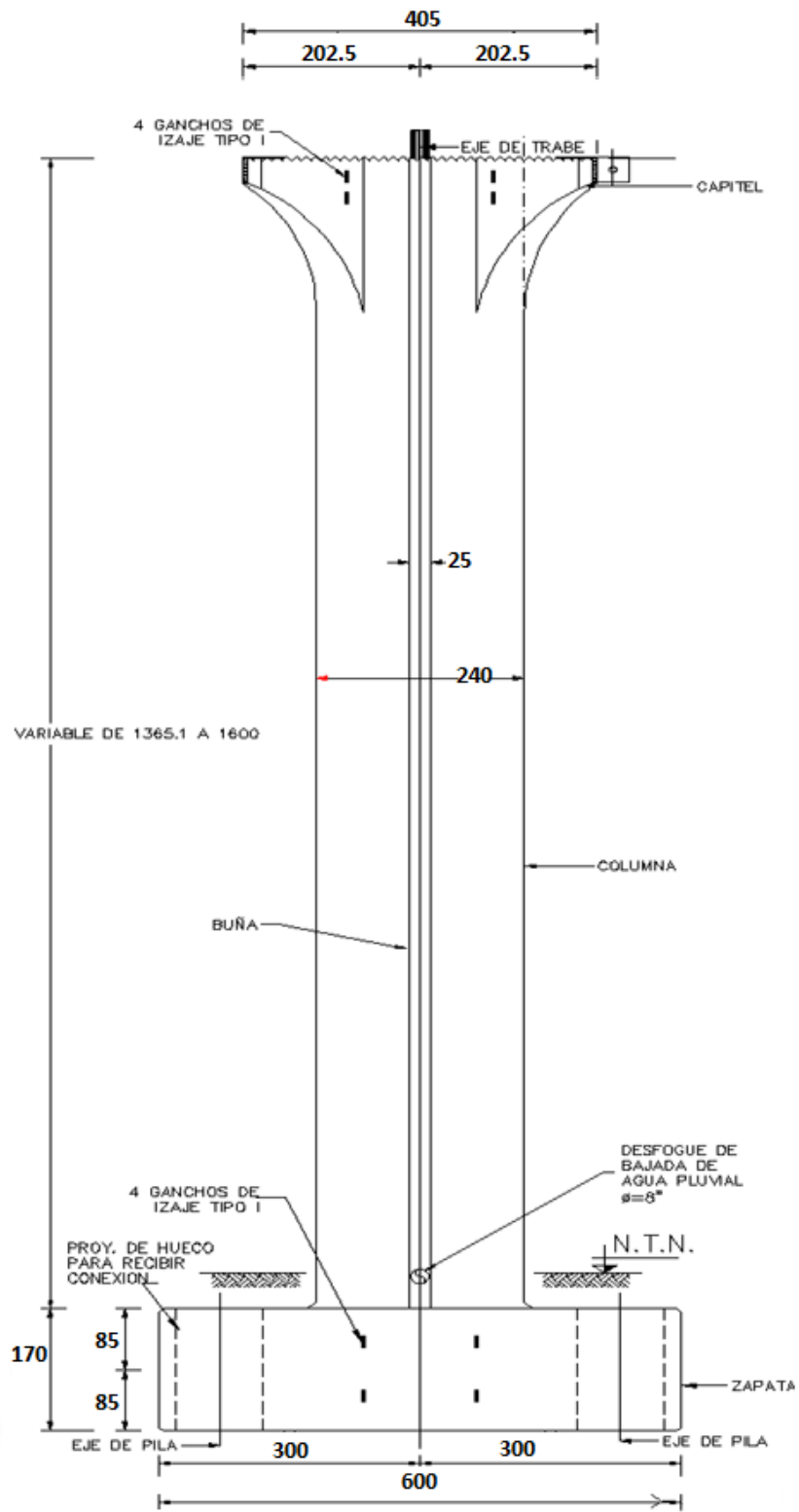


Figura 12. Geometría de Zapata-Columna - Sección transversal.

2.4 Descripción del proceso constructivo

El proceso constructivo que se desarrolló para el apoyo A281, se resume en los siguientes puntos:

1. Localizar sobre el terreno el lugar exacto donde ha de ser instalada la zapata-columna, para así determinar los puntos (4 en total) donde se realizarán las perforaciones piloto de 90 cm que formarán los extremos de las pilas oblongas.

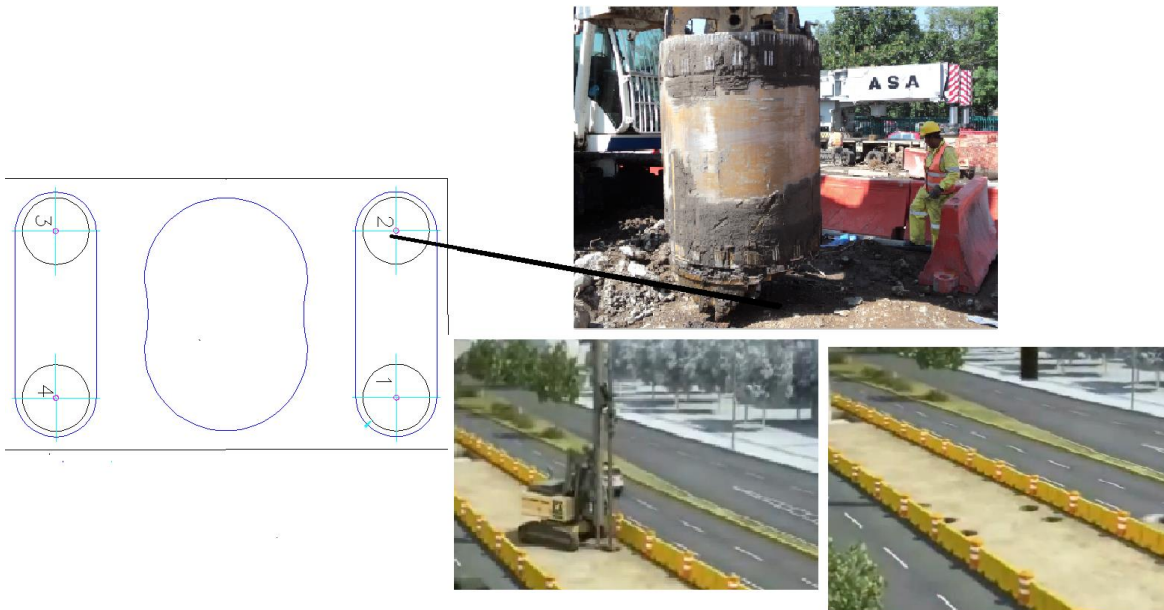


Figura 13. Localización y excavación de puntos centrales

La perforación se debe realizar de una forma continua y en una sola etapa hasta la profundidad, que según el diseño, sea la de desplante.

En todo el espesor de rellenos o en los 3 m superficiales, se perforó con un diámetro mayor al de la pila, de tal manera que permitiera colocar una camisa o ademe metálico recuperable que garantice la estabilidad del terreno superficial.

2. Posterior a las cuatro perforaciones piloto, se realizó la excavación del material entre los puntos 1 y 2 y entre 3 y 4, según nomenclatura usada en la Figura 13. Localización y excavación de puntos centrales, para así dar la forma oblonga a la excavación, utilizando para ello almejas guiadas.



Figura 14. Almeja usada para excavaciones

3. Con objeto de guiar y garantizar la verticalidad de la excavación con la almeja, se construyó un brocal perimetral al área de excavación.

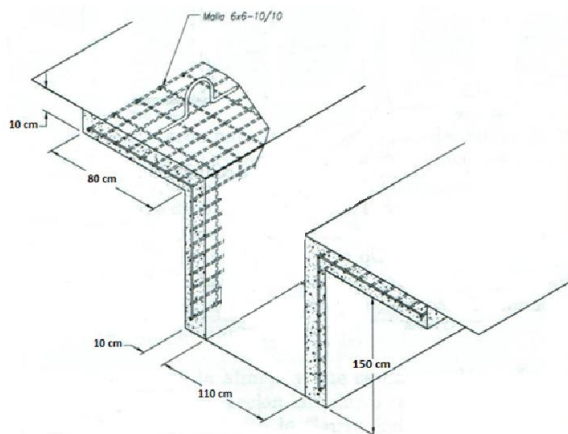


Figura 15. Detalles del brocal a usar en la perforación con almeja



Figura 16. Perforaciones terminadas

4. Una vez terminada la perforación, se estabilizó con un lodo polimérico biodegradable y no contaminante, el cual puede ser reciclable posteriormente.
5. El paso a seguir fue la colocación del armado de acero, el cual fue habilitado al mismo tiempo que se hacía la excavación.



Figura 17. Armado de acero de una pila

6. Debido a su longitud, el armado de acero se elaboró en dos partes y el procedimiento para introducirlo en la perforación se hace de igual forma en dos etapas, en la primera de ellas se introduce la mitad del armado dejando por fuera la longitud necesaria para poder hacer la conexión con la mitad superior.



Figura 18. Armado de las pilas dentro de la perforación



Figura 19. Izaje de la segunda parte del armado y conexión entre ellos



Figura 20. Armado de acero instalado

7. Una vez que el armado de acero está instalado en la excavación, se procede al colado de la pila hasta el nivel que el proyecto indica, este colado se ejecuta en una sola etapa con tuberías tipo Tremie de mínimo 6 pulgadas de diámetro, dichas tuberías se ubican en los extremos de la pila oblonga.



Figura 21. Colado de pilas

8. Durante la parte final del colado de cada una de las pilas, se instalan las espigas cuya función es conectar la cimentación profunda con la zapata-columna; éstas se ubican en los puntos centrales donde se realizaron las excavaciones piloto.



Figura 22. Instalación de las espigas en una pila

9. Una vez coladas las dos pilas, se excava el material entre ellas hasta el nivel donde se ha de hacer el mejoramiento con concreto, dejando al descubierto las espigas recién instaladas.



Figura 23. Excavación de material entre pilas

10. Una vez se ha llegado a la profundidad a la cual se debe hacer el mejoramiento, se vierte concreto hasta que se tiene un espesor del mismo de 1,7 metros.



Figura 24. Colado de mejoramiento en concreto

11. Al haber terminado el mejoramiento con concreto del espesor que indica el diseño, se hace un descabece de las dos pilas hasta el nivel donde se construyó una plantilla la cual cuenta con acero de refuerzo y un concreto de mejores especificaciones que el del relleno recién instalado.



Figura 25. Descabece de pilas

12. Luego del descabece de las pilas y del colado de la plantilla, se tiene ya el nivel donde se desplantará la zapata-columna. Como se observa en la Figura 26, quedan expuestas las 4 espigas que serán la conexión entre las pilas y la zapata-columna.



Figura 26. Nivel de desplante de zapata luego de colada la plantilla

13. El siguiente paso es la instalación de la zapata-columna en su posición final mediante el uso de dos grúas, cada una de ellas con una capacidad de carga nominal de 1200 toneladas. La zapata-columna prefabricada cuenta con cuatro agujeros, en cada uno de ellos, queda expuesto parte del acero de refuerzo, como se observa en la Figura 27, a través de éste se realiza la conexión con las pilas.





Figura 27. Montaje de zapata-columna

14. Una vez que la zapata-columna se encuentra instalada en el lugar donde debe estar, y el acero de las espigas ha encajado en los agujeros de la zapata, se procede a conectar los aceros de refuerzo de las dos estructuras (espigas y zapata-columna) para conseguir, de esta forma, que la transferencia de esfuerzos se lleve a cabo de la forma ideal. Luego de conectados los aceros, se vierte concreto en esos cuatro agujeros para así culminar con el proceso de conexión.



Figura 28. Zapata instalada y colado de conexiones

15. Finalmente, sobre la zapata y alrededor de ella, se vierte concreto solo con el objetivo de rellenar y llegar al nivel señalado por el diseño, como se muestra a continuación.



Figura 29. Relleno sobre y a los lados de la zapata

Hasta aquí lo que conlleva al proceso constructivo de la cimentación del apoyo A281, posteriormente se instalan los traveses, tabletas y de más elementos estructurales para el funcionamiento de la vialidad, ese proceso no se menciona porque se encuentra fuera del alcance de este trabajo.



Figura 30. Apoyo A281

3.1 Propósito de la instrumentación

Para tener éxito en un proyecto de instrumentación se debe tener presente lo citado por Ralph Peck en el Libro “Geotechnical Instrumentation for monitoring field performance”. Él afirma que cada instrumento instalado en un proyecto debe ser seleccionado y puesto en su lugar con el objetivo de responder una pregunta específica.

La instrumentación que se llevó a cabo en el apoyo A281, por parte del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, surge como la forma más eficiente de resolver varios interrogantes relacionados con la interacción suelo-estructura de este novedoso sistema de cimentación (explicado en el capítulo anterior).

Con la interpretación de los resultados obtenidos de esta instrumentación, se tendrá la capacidad de responder al siguiente interrogante:

- ¿Cómo es el comportamiento de la cimentación conformada por dos pilas oblongas y una zapata-columna prefabricada en condiciones estáticas, a largo plazo y cuando, debido a un sismo, existan condiciones dinámicas?

Para poder responder esta pregunta tan general, es necesario usar en la instrumentación elementos que nos permitan responder preguntas más específicas, obteniendo por medio de mediciones, valores reales de algunos parámetros que indican un comportamiento.

Dichas preguntas son:

- ¿Cómo es la transferencia de carga de las pilas oblongas al suelo en condiciones estáticas y dinámicas?
- ¿Cuánto es el aporte de resistencia por punta y cuanto por fricción de las pilas?
- ¿Cuáles son las presiones laterales que existen a lo largo de las paredes de las pilas?
- ¿Cómo se transmiten los esfuerzos en las conexiones de la zapata-columna a las pilas?

Teniendo en mente que esta instrumentación va a aclarar estos conceptos, se puede indicar que luego del análisis de resultados, se tendrán fundamentos teóricos para poder comparar las predicciones teóricas y semi empíricas que se han puesto en juego en las etapas de diseño, con los resultados experimentales obtenidos.

También se puede decir que la instrumentación se orienta a:

- Dar certidumbre a las consideraciones y enfoques del diseño geotécnico de las cimentaciones
- Ahondar en el conocimiento experimental de cimentaciones con pilas oblongas coladas en el lugar y su conexión a soluciones prefabricadas de zapata-columna.

3.2 Descripción de instrumentos usados

3.2.1 Deformímetros eléctricos

Este tipo de instrumentos son los más utilizados cuando se desea medir algún tipo de deformación en un concreto debido a que se pueden embeber en él, por lo tanto, las deformaciones que en ellos se presentan, son las deformaciones que sufre el concreto al verse sometido a diferentes esfuerzos, otra razón por la cual son muy útiles, es por su principio de funcionamiento, ya que esta clase de deformímetros varían la resistencia eléctrica que presentan ante un voltaje de excitación dependiendo de qué tan deformados se encuentren o qué tanta tensión o compresión se esté ejerciendo sobre su rejilla formada por fibras metálicas.

Para esta instrumentación se usaron deformímetros de un cuarto de puente y de puente completo, lo anterior haciendo referencia a la teoría del puente de wheatstone, la cual se explica en el Anexo 1.

Deformímetros de un cuarto de puente

Para el monitoreo estático de las micro deformaciones en el concreto de las dos pilas de la cimentación, se colocaron deformímetros eléctricos de un cuarto de puente embebidos en él a diferentes profundidades.



Figura 31. Deformímetro de un cuarto de puente

Para obtener los registros o mediciones de estos instrumentos, se usa una consola indicadora de deformaciones modelo P3, esta consola es portátil y tiene la capacidad de almacenar los registros estáticos de hasta cuatro deformímetros conectados simultáneamente, el tipo de deformímetros que se conectan son de un cuarto de puente o puente completo.

Como el arreglo es eléctrico, el principio de este sistema es que la consola excita al instrumento con un voltaje y registra luego un voltaje de salida, el cual dependerá de qué tan deformado se encuentra el deformímetro, por ende qué tan deformado esté el concreto. Conociendo las deformaciones y teniendo el módulo de elasticidad, para lo cual se hicieron pruebas de compresión en el laboratorio a muestras del concreto tomadas durante el colado de las pilas, se puede determinar el esfuerzo al que está siendo sometida la pila en el lugar donde está instalado el instrumento.

Estos deformímetros eléctricos, usados para registros estáticos, son muy sensibles a variaciones de la temperatura, el momento en el cual se presenta la mayor variación de ésta, es durante el fraguado del concreto donde están embebidos, pero posteriormente y durante la vida útil de la estructura, la temperatura no sufre grandes cambios por lo que en ese momento se pueden tener registros mucho más confiables. Debido al funcionamiento interno de estos deformímetros, los registros que se obtienen no se ven corregidos o compensados ante factores como el que se mencionó anteriormente, por eso no son instrumentos de utilidad en el monitoreo de comportamiento dinámico.

Deformímetros de puente completo

Estos deformímetros son sensores con principio de medición a base de resistencias eléctricas, ideado para el monitoreo dinámico de deformaciones en estructuras de concreto los cuales tienen la particularidad que compensan errores como el de temperatura y ofrecen una mayor precisión en la adquisición de datos; para cumplir con este fin, estos son ahogados en el concreto de cada una de las pilas en los lugares que se especificarán más adelante.



Figura 32. Deformímetros de puente completo

Con estos instrumentos se podrán determinar los esfuerzos generados en el concreto por algún evento sísmico, partiendo de la deformación medida y conociendo el módulo de elasticidad del concreto.

El tener monitoreada la estructura implica obtener registros constantemente y a largo plazo, lo anterior se logra conectando estos instrumentos a un adquisidor de datos dinámicos, el cual se describirá más adelante.

3.2.2 Celdas de presión

La celda de presión que se usa en este tipo de instrumentación es, básicamente, un transductor con principio de medición a base de resistencias eléctricas. La celda en sí consiste en: dos láminas circulares que se sueldan dejando entre sí un pequeño espacio el cual se llena con un fluido muy estable, al estar instalada, la presión a la cual se ve sometida la parte sensible de la celda, es transmitida por el fluido a través de un pequeño tubo al transductor, éste a su vez genera una señal eléctrica que es captada por la consola lectora.

Al obtener registros de las celdas de presión instaladas a diferentes profundidades de la pila, se puede conocer cómo se distribuyen los esfuerzos dependiendo de la profundidad; de igual forma, si se conocen los valores de presión a la que se ve sometida una celda en diferentes tiempos, se puede determinar la variación con el tiempo de los esfuerzos en esa sección en condiciones estáticas o dinámicas.

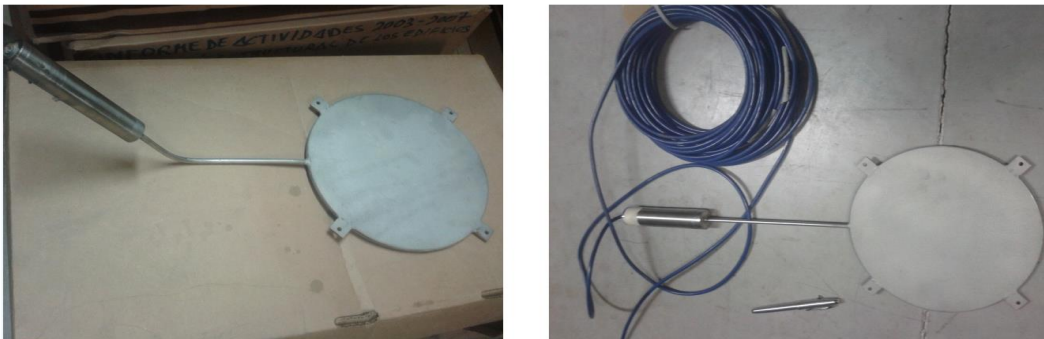


Figura 33. Celdas de presión

3.2.3 Celdas de presión de cuerda vibrante

La forma en la que está constituida este tipo de celda es igual que la descrita anteriormente, la diferencia que existe es que el transductor con que cuentan estas celdas, tal y como lo indica su nombre, es de cuerda vibrante, esto quiere decir que la presión que se ejerce en la parte sensible de la celda, es transmitida mediante un fluido al transductor, el cual cuenta con una cuerda tensionada que varía su frecuencia de vibración dependiendo de la presión a la que está siendo sometida la celda. Las vibraciones generan un cambio en el voltaje de salida que se registra con una consola lectora, por lo tanto midiendo los cambios en el voltaje, se pueden obtener cambios en el estado de esfuerzos al que está sometida la celda.

3.2.4 Celdas de presión tipo Jack-Out

Este tipo de celdas tiene el mismo principio de operación que las celdas de presión ya descritas y también se conectan a un adquirente de datos dinámico, como se describe en 3.2.6 Adquirente de datos.

El objetivo de estas celdas es medir el esfuerzo horizontal que el suelo impone sobre la pila a diferentes profundidades. Para que dichas mediciones se puedan llevar a cabo es necesario que la celda se encuentre completamente en contacto con el terreno, para ello se hace uso de un gato hidráulico, el cual, en el momento en que la celda está instalada en el armado se acciona para asegurar dicho contacto. Este procedimiento se explicará más adelante en “planeación, lineamientos e instrumentación de pilas”.

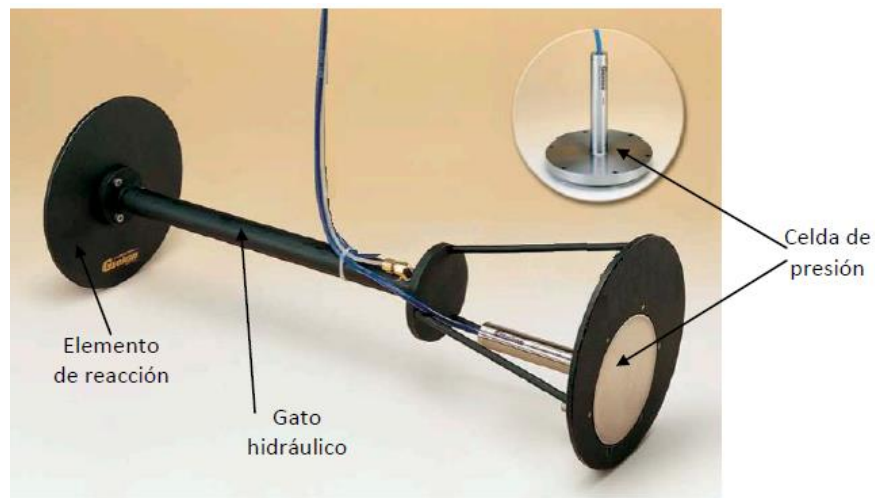


Figura 34. Celda de presión tipo Jack-Out



Figura 35. Celdas de presión tipo Jack Out

3.2.5 Conjunto de acelerómetros biaxiales y triaxiales

Con el objetivo de obtener información del comportamiento de la zapata-columna en el momento en el que ésta se vea sometida a acciones dinámicas, se instalarán sobre la zapata un conjunto de acelerómetros triaxiales y biaxiales, los cuales pueden indicar las fuerzas a las que el sistema de cimentación está siendo sometido debido a un sismo y el cabeceo del mismo. Los datos que se obtengan se correlacionarán con las mediciones tanto dinámicas como estáticas de los instrumentos mencionados anteriormente, para así poder tener una visión global del comportamiento y la interacción suelo estructura de toda la cimentación.

Se colocará un arreglo triaxial de acelerómetros, ubicándolo de manera tal que registre los componentes de la aceleración en la dirección horizontal paralela al eje del trazo, en la horizontal transversal del mismo, y en dirección vertical. La ubicación exacta de estos arreglos se mostrará en 3.4 Planeación y lineamientos de la instrumentación.



Figura 36. Conjunto triaxial de acelerómetros a colocarse sobre la zapata-columna

3.2.6 Adquisidor de datos

Los instrumentos usados para el monitoreo estático y dinámico de la cimentación, deben estar conectados a un registro digital dinámico automático con el objetivo de tener el registro de cada uno de ellos de forma constante a largo plazo y durante un evento sísmico.

El registrador digital que se usa en este proyecto es un modelo Granite, como se observa en la Figura 37, este cuenta con un sistema de adquisición de datos multicanal de alta resolución y de bajo consumo de energía. Consiste en un chasis con conectores donde se recibe la información proveniente de los instrumentos instalados en la cimentación. Algunas de las características principales de este registrador se muestran a continuación. (Mora *et al.*, 2012)

Tipo	Digital
Medio de registro	Tarjeta interna "flash"
Canales	Externos
Niveles de entrada	5,10 y 40 Vpp
Tasa de muestreo (muestras/segundo)	1 a 2000
Longitud de palabra (bits)	24
Recuperación de datos	Local por Lap-Top o v
Control de tiempo	GPS
Alimentación (Volts DC)	8 a 18

Debido a que el objetivo es tener monitoreados constantemente los registros de los instrumentos, este registrador cuenta con un protocolo de transferencia de datos que permite enviar paquetes de información en forma remota aun cuando se esté llevando a cabo algún mantenimiento al mismo aparato.

El adquirente de datos está constantemente registrando las lecturas de los instrumentos con la velocidad de captura que se crea conveniente, en este caso se proponen 100 lecturas por segundo para cada canal. Se pueden programar memorias pre y pos-evento para que en el momento en el que la aceleración del terreno sobrepasa un determinado valor pre establecido, se tengan lecturas del evento sísmico y de su desarrollo con el tiempo.

En este proyecto se usa un adquirente de datos de 24 canales ya que este es el número de instrumentos que se tienen en la instrumentación.



Figura 37. Sistema adquirente de datos dinámico

3.3 Calibración de celdas de presión

Las lecturas de voltaje que se obtienen con las consolas, deben ser transformadas para así conocer un valor de deformación o de presión según sea el caso, para esto el fabricante de los deformímetros y celdas brinda una calibración la cual permite hacer esa transformación. Para tener la certeza de que las mediciones que se hacen representan un comportamiento o un fenómeno dentro de la estructura de cimentación, en este proyecto se calibraron todas las celdas de presión instaladas y luego se compararon con la calibración del fabricante. Las calibraciones de las celdas se pueden observar en el Anexo 2.

Para la instrumentación del apoyo A281 se usaron 5 celdas de presión y 3 celdas tipo Jack-Out, para poder llevar a cabo una adecuada calibración se deben tener presente las capacidades máximas de cada una de ellas, para este caso, dos de las celdas de presión tienen una capacidad de 100 kPa, una de 400 kPa y las dos restantes de 1 MPa, de igual manera las celdas Jack-Out tienen capacidades diferentes, una tiene capacidad de 250 kPa, otra de 450 kPa y la restante de 600 kPa, lo anterior con el objetivo de determinar cuál será las cargas máximas a las que se pueden someter las diferentes celdas sin llegar a sobrepasar las capacidades de cada una.

La calibración de las celdas se realizó como se indica a continuación.

- Se conectó la celda de presión a una fuente de energía que alimenta el circuito con 10 Volts.
- Con la ayuda de un arreglo de madera para garantizar la horizontalidad, se ubicó la celda de presión en una prensa que tiene capacidad de 500 Kg de carga.
- Se conectó a la celda, un multímetro de precisión donde se leen los valores de voltaje que se obtienen a medida que se le va aplicando la carga, como se indica en la Figura 38.
- Se lee el valor de voltaje que se obtiene para una condición inicial con carga cero y deformación cero.
- Garantizando que la carga que se aplica con la prensa se aplique en toda el área sensible de la celda, se inicia a dar incrementos de carga hasta llegar al valor establecido con el análisis de la capacidad máxima que soportaría cada celda.
- Para cada incremento de carga se obtiene un voltaje de salida con el multímetro.
- Se realiza un proceso de carga y descarga para de esta forma obtener una ecuación y una gráfica característica del comportamiento.
- Con la ecuación se puede obtener el factor de calibración de laboratorio.

Para todas las celdas que se calibraron el factor de calibración, a pesar de que no es exactamente igual, es prácticamente el mismo, por tanto, es posible afirmar que el uso de este factor sí da una certeza a la hora de obtener una presión partiendo de una lectura de voltaje tomada en estas celdas.



Figura 38. Calibración de celdas de presión

Las celdas de presión tipo Jack-Out, debido a su geometría, se calibraron de una forma diferente. El procedimiento que se realizó se explica a continuación:

- Se usó un pequeño tanque cilíndrico sellado herméticamente, equipado de tal manera, que permite aplicar una presión dentro de él, mediante la inyección de aire.
- Se llenó el tanque hasta la mitad con agua a temperatura ambiente, y se colocó dentro del él, la celda de presión, como se observa en la Figura 39.
- Se conectó la celda a una fuente de energía que alimenta el sistema con 10 Volts y a un multímetro de precisión para medir variaciones en el voltaje de salida de la celda.
- Se inyectó aire en el tanque de forma tal, que se obtenían incrementos definidos en la presión dentro de él, al ser el agua un fluido incompresible, transmite dicha presión al elemento sensible de la celda.
- Se tomó la lectura inicial de la celda, bajo ninguna presión actuante.
- Para cada incremento de presión que se aplicaba, se obtenía un valor de voltaje de salida de la celda y, adicionalmente a éste, se obtiene una lectura en la columna de mercurio.
- Se realizó un proceso de carga y descarga con el objetivo de obtener una ecuación característica del comportamiento.

Con los resultados obtenidos se procede de la misma manera que con los resultados de las celdas de presión descritas al inicio de esta sección y se obtiene un factor de calibración. En el Anexo 2 se muestran las hojas de calibración de cada una de estas celdas.



Figura 39. Calibración celdas de presión tipo Jack-Out

Debido a la forma en que el fabricante calibró los deformímetros de puente completo (a tensión), no se llevó a cabo una calibración de laboratorio de estos sensores ya que no se contó, en su momento, con el equipo adecuado para reproducir ese comportamiento. A los deformímetros de cuarto de puente tampoco se les pudo hacer una calibración porque son muy frágiles y esto complica el poder ponerlos en una configuración para ese proceso sin que se rompan, sin embargo, varias instrumentaciones realizadas por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, han demostrado que se pueden hacer análisis de deformaciones basados en las calibraciones que da el fabricante, y se tienen buenos resultados.

3.4 Planeación y lineamientos de la instrumentación

En este proyecto se busca ampliar el conocimiento acerca del comportamiento de las cimentaciones con pilas oblongas coladas *in situ* y su conexión a soluciones prefabricadas como una zapata-columna. La instrumentación que se realizó será permanente en las dos pilas oblongas, en la conexión con la zapata-columna y en la base de la zapata-columna que conforman el apoyo A281.

En este proceso se contempló la instalación de deformímetros eléctricos en el cuerpo de las dos pilas para monitoreo dinámico y estático. Estos instrumentos están embebidos en el concreto a diferentes profundidades con el objetivo de medir las deformaciones que se presentan en éste, de igual forma, al conocer el módulo de elasticidad del concreto, es posible determinar los esfuerzos a los que están sometidas las pilas a diferentes profundidades. Para determinar el módulo de elasticidad del concreto se tomaron muestras de éste y se llevaron al laboratorio.

Los diseñadores recomendaron, para este apoyo, hacer un mejoramiento con concreto de 1,7 metros de profundidad bajo la zapata-columna, tal y como se indicó en 2.3 Descripción de la cimentación y se muestra en la Figura 10, debido a esto, se estipuló instalar una celda de presión a ese nivel, bajo el mejoramiento, en contacto con el terreno natural y otra sobre el mejoramiento en contacto con la zapata. Para poder determinar la carga que la pila transmite por punta al terreno, se planeó instalar dos celdas de presión en la punta, como se observa en la Figura 43.

También se instala una celda de presión en el costado de la zapata en contacto con el terreno natural, dicha celda se ubica en el sentido longitudinal (trazo de la vialidad), y otra más en el sentido transversal.

El objetivo de ubicar estas celdas en dicho lugar es medir las presiones horizontales estáticas y dinámicas que se presentarán durante un sismo.

Para poder determinar cómo se transmite la carga al terreno en el fuste, en el Barret izquierdo se instalan, a diferentes profundidades, tres celdas de presión tipo Jack-Out las cuales están en contacto con el terreno, además de lo anterior, integrados a la zapata se instalan acelerómetros uniaxiales y triaxiales.

Durante el proceso constructivo de la cimentación y la instalación de las trabes superiores que conforman el segundo piso, se hizo un seguimiento del comportamiento de la cimentación, tomando lecturas manualmente de los instrumentos cada vez que se presentó un evento relevante el cual generara un cambio en el estado de esfuerzos inicial de la estructura.

Una vez instalados la totalidad de los instrumentos, estos se deben conectar a un adquisidor de datos digital que, tal y como se explicó en la sección 3.2.5 (Adquisidor de datos), graba los registros de todos los instrumentos desde el momento en que se alcanza un determinado valor pre establecido de aceleración en el terreno, y registra lecturas de un pre y un pos-evento. Gracias a que este adquisidor toma lecturas de los instrumentos permanentemente, es muy útil para conocer

el comportamiento de la estructura a largo plazo y conocer con tiempo si existe alguna anomalía que afecte el normal funcionamiento estructural de la obra.

Según el análisis hecho para determinar qué tipo de instrumentos usar en este proyecto, se llegó a la conclusión que para poder medir los fenómenos que se desean estudiar, se debían usar:

- Deformímetros eléctricos de puente completo y de un cuarto de puente los cuales se ahogan en el concreto a diferentes profundidades de las pilas, en el centro de la sección transversal y a los costados de ésta, de igual forma se instalan en las conexiones de las pilas con la zapata-columna.
- Celdas de presión con transductor de puente completo en los extremos de la punta de la pila izquierda a instrumentar, para conocer, la carga que se transmite al terreno por la punta.
- Celda de presión con transductor de cuerda vibrante por debajo del mejoramiento hecho con concreto, en contacto con el suelo. Esta no estará conectada al registrador de datos dinámico, sino que, se leerá con una consola manual.
- Celdas de presión tipo Jack-Out en la cara de la pila oblonga izquierda a diferentes profundidades.
- Acelerómetro con un arreglo triaxial; ubicado de manera tal que, registre los componentes de la aceleración en la dirección horizontal paralela al eje del trazo, en la horizontal transversal del mismo, y en dirección vertical.
- Acelerómetro con un arreglo biaxial; registrando así, de igual manera, los componentes de la aceleración en la dirección horizontal paralela al eje del trazo y en la horizontal transversal del mismo.

Algunos deformímetros de cuarto de puente fueron instalados en la misma pila y a la misma profundidad que los de puente completo, pero al otro lado del eje de la pila. La pila derecha se encuentra instrumentada solo con deformímetros de cuarto de puente.

Las profundidades a las cuales se ubicaron los sensores se determinaron en gran medida por la estratigrafía del sitio; dichas profundidades dan una referencia básica de las secciones en donde es importante conocer los parámetros que se quieren estudiar

Todos los instrumentos que se instalan deben estar conectados a un adquisidor de datos dinámico para poder llevar a cabo un monitoreo constante de ellos, sin embargo, los deformímetros de un cuarto de puente y la celda de presión con transductor de cuerda vibrante se deben registrar con una consola manual portátil.

En el camellón y a la mitad del claro entre el apoyo instrumentado y el apoyo contiguo, se coloca en la superficie del terreno una estación sísmica, donde se ha de alojar el conjunto triaxial de acelerómetros. Esto aporta las aceleraciones del terreno en campo libre cercano en sus tres componentes ortogonales entre sí.

Este conjunto y los acelerómetros que se adosan a la cimentación, dan las señales a los sensores geotécnicos, para que, registren automáticamente cuando la aceleración, debido a un sismo sea, mayor que un valor establecido.

El registrador de datos dinámico está ubicado, en una caseta que está construida al lado del apoyo, con el objetivo de protegerlo, ya que, los datos que de él se obtengan son de mucha importancia.

3.5 Instalación de instrumentos en las pilas

3.5.1 Deformímetros

DEFORMIMETROS DE PUENTE COMPLETO Y DE CUARTO DE PUENTE

Estos deformímetros estarán embebidos en el concreto de las pilas y de las conexiones con la zapata. La instalación de éstos en la pila se hace fijándolos en el armado mediante alambre recocado cuando éste se encuentra terminado y tendido en el suelo cerca del apoyo.

Según la ubicación de cada sensor en la pila, se calcula la longitud de cable necesaria para que cada uno de los instrumentos se conecte al registrador de datos, este cable, una vez fijados los deformímetros al armado, se conduce por dentro del mismo protegido por un ducto plástico "Poliflex" hasta la parte superior, dicho poliducto se va fijando al armado con cintillos plásticos en la parte central del armado para evitar que en el momento del colado sufran algún daño. Debido a que el habilitado e instalación del armado se hace en dos etapas por la longitud que tiene, el proceso de fijar el cable al armado se hace también en dos etapas. Al finalizar la primera etapa, que es el izaje de la mitad del armado dentro la perforación, el cable se enrolla en la parte superior de este, justo en el lugar donde se hará la conexión con la segunda parte del armado, y luego de que se hace la conexión se sigue conduciendo por dentro del armado hasta la cabeza del mismo.

En el extremo superior del armado se enrolla el resto de la longitud del cable prevista para acceder al sitio de registro y se protege para las acciones de construcción subsecuentes.

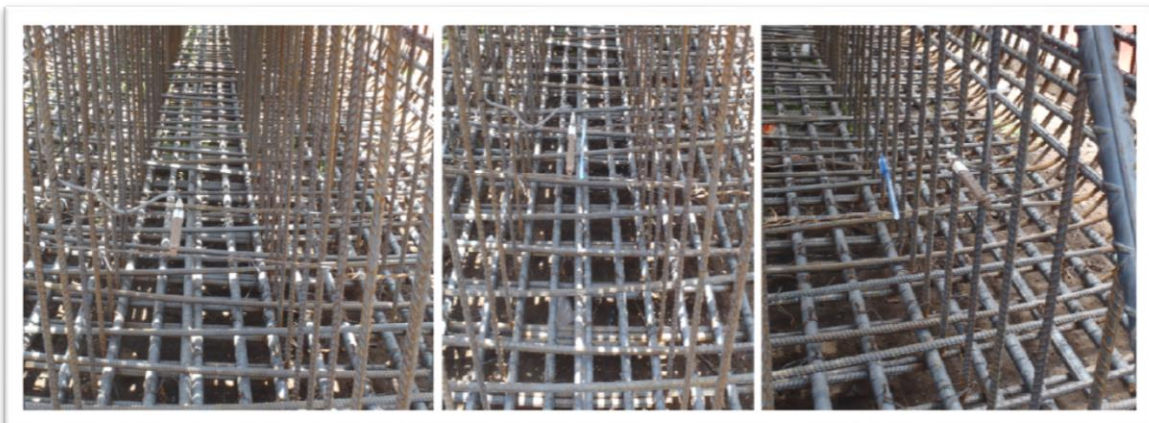


Figura 40. Instalación de deformímetros de cuarto de puente



Figura 41. Instalación de deformímetros de puente completo



Figura 42. Cables protegidos enrollados en las dos etapas del izaje del armado

3.5.2 Celdas de presión

CELDAS EN LA PUNTA DE LA PILA IZQUIERDA

La colocación de estas celdas se hace al igual que los deformímetros, cuando el armado está terminado y tendido en el suelo cerca del apoyo. Se fijan dos placas de acero en la punta del armado y sobre cada una de ellas se instala una celda de presión con tornillos garantizando su horizontalidad. El cable también se protege y se conduce por dentro del armado hasta la cabeza y se enrolla allí para ser conducido finalmente hacia la caseta de registro.



Figura 43. Instalación de celdas de presión en la punta de la pila

CELDAS BAJO EL MEJORAMIENTO Y BAJO LA ZAPATA

La celda que se ubica bajo el mejoramiento, se instala una vez terminado el descabece de las pilas y cuando se tiene el nivel donde se debe iniciar el colado. Esta celda se instala en una cama de arena de 5 cm de espesor y el cable se conduce hacia la superficie por un lado del relleno, entre éste y el terreno natural.

La celda bajo la zapata y sobre el relleno se instala también en una cama de 5 cm de arena, el cable se conduce por debajo la plantilla hacia un lado del mejoramiento donde no se vea en peligro por la instalación de la zapata.



Figura 44. Instalación de celda de presión bajo el mejoramiento



Figura 45. Lugar de instalación de celda bajo la Zapata y sobre el mejoramiento

CELDAS EN LOS COSTADOS DE LA ZAPATA

Debido a que la zapata al ser instalada no queda en contacto con el terreno sino que existe un espacio el cual se llena posteriormente con concreto, las celdas de presión se ubican en el contacto del terreno con este relleno y no directamente en la zapata ya que ésta quedaría en contacto con el concreto y las mediciones que se obtuvieran no representarían lo que se está buscando, que es conocer la forma en que la carga se transmite al terreno. De igual forma el cable es protegido y llevado a la superficie para posteriormente ser llevado al registrador de datos.

3.5.3 Celdas de presión tipo Jack-out

La instalación de estas celdas se realiza cuando el armado está terminado sobre el terreno cerca del apoyo y listo para ser instalado en la perforación. Estas celdas tienen un gato hidráulico que colocará la parte sensible de la celda en contacto con el terreno, y así medir los esfuerzos horizontales sobre la pila.

La celda se fija con alambre al armado y allí se instala un arreglo hecho con perfiles para asegurar que en el momento en que el gato haga que la celda se desplace, ésta no tenga nada que se le interponga y que no corra el riesgo de caerse.

Tanto el cable del instrumento como la línea de alimentación de presión del gato se aseguran al armado y el sobrante será enrollado en la parte superior de la pila. Una vez que el armado sea introducido a la perforación se bombeará presión en las líneas de alimentación de los gatos hidráulicos; esta operación asegurará que la celda de presión esté en contacto con el terreno. La presión se deberá mantener hasta que el concreto haya fraguado. Al igual que los demás instrumentos, los cables de estas celdas serán conducidos hacia la cabeza de la pila y una vez allí, junto con los otros cables se conducen a la caseta de registro.



Figura 46. Instalación de celda de presión tipo Jack-Out

3.5.4 Acelerómetros triaxiales y biaxiales

Para la instalación de estos acelerómetros, se deben instalar primero sobre la zapata dos placas de acero con el uso de taquetes y ya sobre estas se fijan los sensores, los cuales se cubrirán con un tubo y tapas de acero. El sensor biaxial se ubica en el extremo opuesto al arreglo triaxial, tal ubicación hacia la periferia de la zapata de la cimentación tiene por objeto distinguir movimientos de cabeceo del sistema.

Para cumplir con lo anterior se deben adecuar esos dos espacios sobre la zapata, para lo cual a la hora del colado del relleno sobre ella, se ubican dos cajones dentro de los cuales se instalarán los acelerómetros posteriormente; cabe mencionar que antes del colado, a estos cajones se les adecua con el “Poliflex” que protegerá los cables de dichos instrumentos.



Figura 47. Espacio para instalación de acelerómetros

3.6 Descripción de equipo adquisidor de datos

Como se ha mencionado en varias ocasiones en este trabajo, los instrumentos para monitoreo dinámico de la cimentación se conectan a un registrador digital dinámico, para registrar las señales de cada canal a largo plazo, y durante eventos sísmicos. El registrador que se utiliza en este proyecto es de 24 canales y está integrado con elementos de la plataforma Compact-Rio de National Instruments.

4. RESULTADOS

Tal y como se planeó hacer, se realizó un seguimiento al comportamiento de la cimentación durante todas las etapas de su construcción, para ello se tomaban lecturas de los instrumentos que ya estuvieran instalados mientras se seguía con el proceso de la construcción, logrando así obtener, por ejemplo, valores de deformaciones del concreto en las pilas profundas durante el proceso de colado de plantilla y colocación de la zapata-columna, también se obtuvieron registros de las celdas de presión ubicadas en la zapata durante la instalación de las traveses superiores que conformarían la vialidad elevada de la Autopista Urbana Sur.

Para este particular, se analizan los resultados obtenidos de los deformímetros de un cuarto de puente, instalados en las conexiones de la zapata-columna con las pilas profundas, durante la instalación de las traveses superiores. La ubicación de estos deformímetros se muestra en la Figura 48.

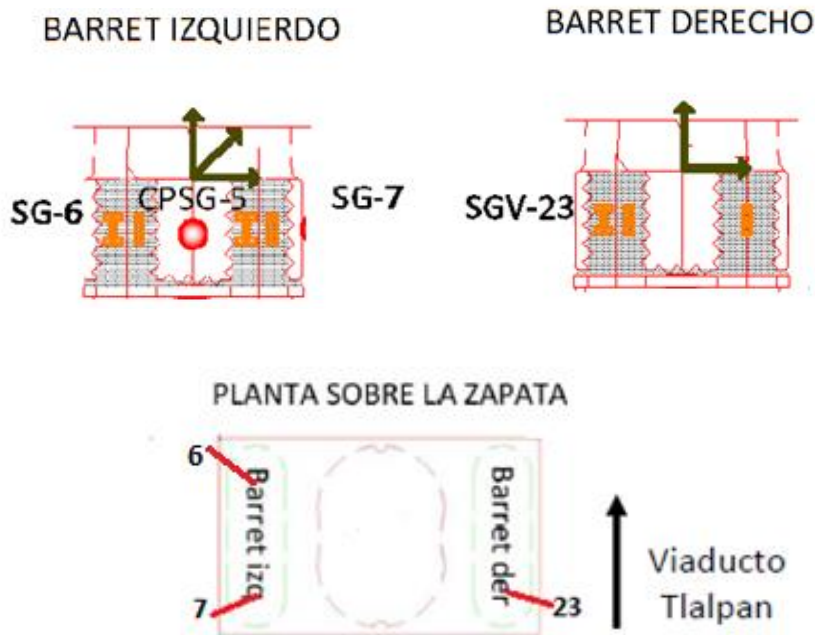


Figura 48. Ubicación de deformímetros de las conexiones

El proceso de instalación de traveses superiores se desarrolló con varios días de diferencia y con la ayuda de dos grúas con capacidad de 1200 toneladas cada una. La trabe anterior al apoyo A281 es recibida por éste y por el apoyo A280, mientras que la trabe posterior es recibida por la trabe anterior, como se indica en la Figura 49.

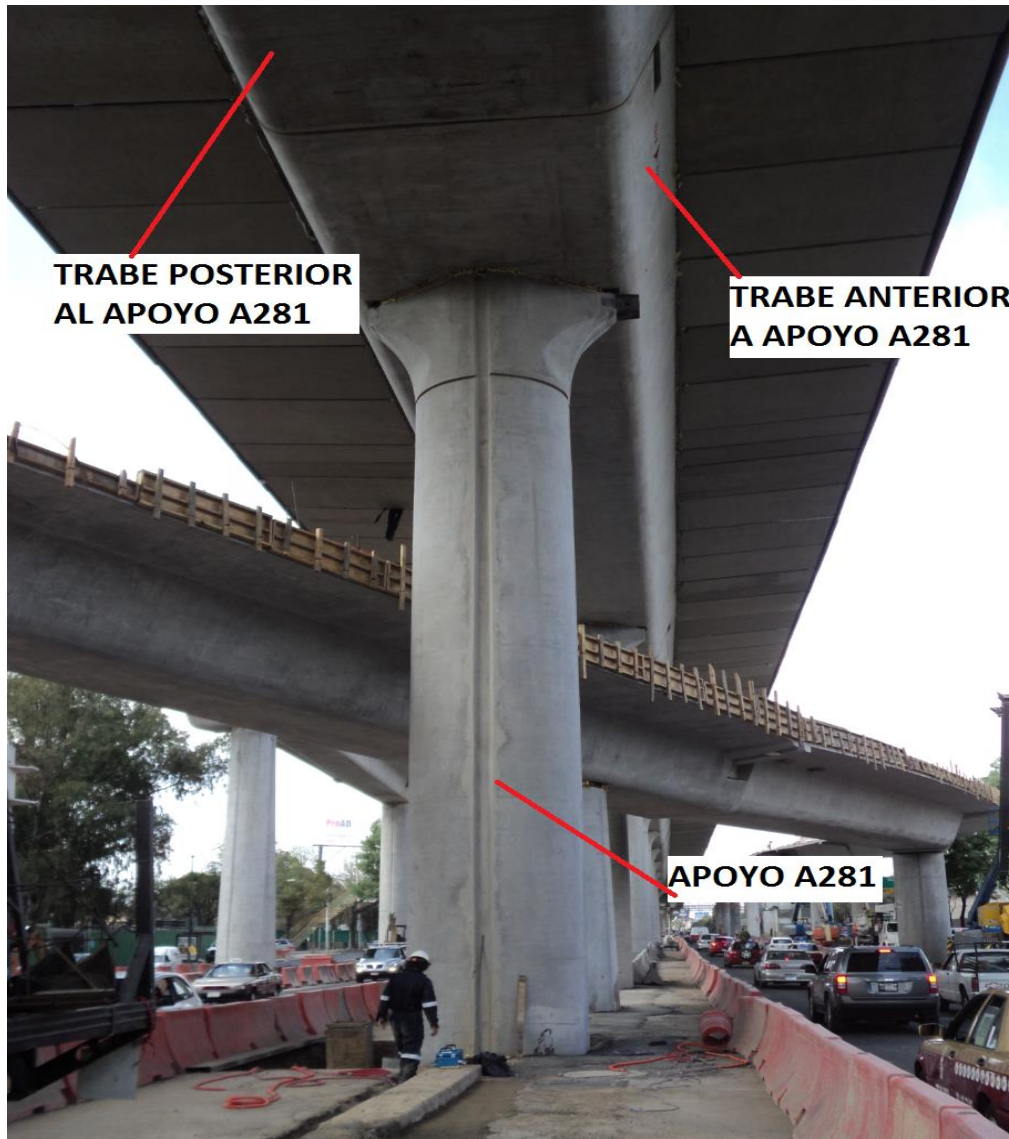


Figura 49. Apoyo A281 y traves anterior y posterior

Los pesos de la zapata-columna y de las traves que se instalaron en el apoyo son:

- Zapata-columna: 246.5 toneladas
- Trabe anterior a apoyo A281: 336 toneladas
- Trabe posterior a apoyo A281: 232 toneladas

Al realizar el análisis de las lecturas obtenidas de los deformímetros SGV-6, SGV-7, instalados en el barret izquierdo, y del deformímetro SGV-23, instalado en el barret derecho, como lo muestra la Figura 48, se obtiene el comportamiento que se muestra en la Figura 50.

Allí se puede observar que las deformaciones unitarias que inician, como es de esperarse, en cero para el momento de la instalación de los instrumentos, se incrementan a medida que se le va aplicando las cargas, en este caso el peso de las traves superiores.

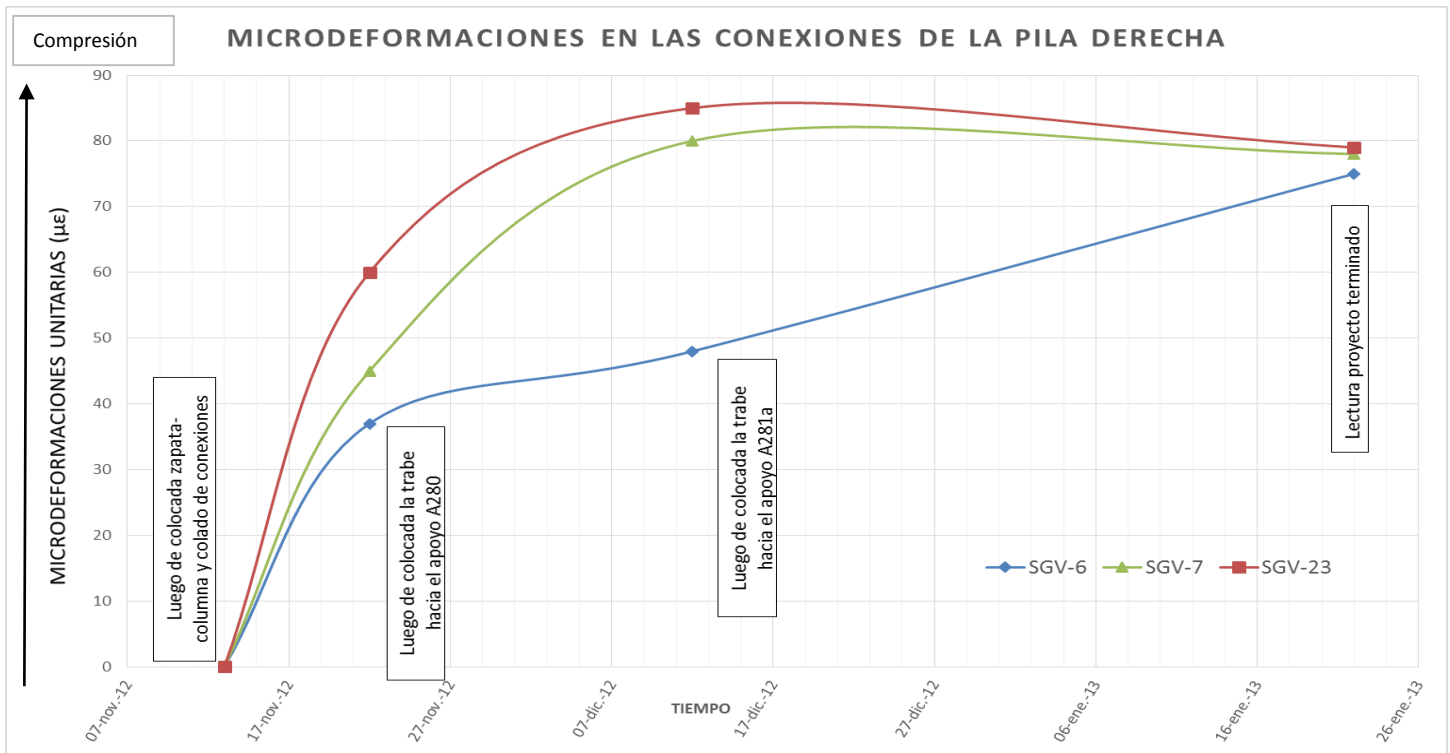


Figura 50. Deformaciones del concreto en conexiones de zapata-columna

Los deformímetros SGV-23 y SGV-7, indican que las deformaciones aumentan a medida que se carga la cimentación con las trabes, llegando a un máximo cuando se tienen las dos trabes instaladas. Es fácil notar que se mantiene una tendencia entre estos dos instrumentos, incluso luego de que se ha puesto toda la carga que soportara la cimentación.

Del mismo modo se puede apreciar que el deformímetro SGV-6, el cual se encuentra a la par del SGV-7 pero en el extremo contrario de la zapata, marca la misma tendencia de comportamiento que los otros instrumentos, pero sus deformaciones unitarias son menores durante la etapa de instalación de las trabes; esto puede deberse a la forma en la que están ubicadas las trabes sobre el apoyo ya que la trabe anterior es más pesada que la trabe posterior, lo que causa que la distribución de esfuerzos en la zapata no sea uniforme. Los deformímetros que están del lado de la trabe más pesada son los que marcan mayores deformaciones unitarias.

Un análisis numérico y detallado del comportamiento de la cimentación, correlacionando y comparando resultados obtenidos de los instrumentos con hipótesis de diseño, es un ejercicio que esta fuera del alcance de esta tesina.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El proceso de instrumentación sismo-geotécnica de una cimentación se tiene que dar luego de hacer un análisis detallado de los fenómenos a los que la cimentación se verá sometida, y teniendo claro, cuáles de ellos se quieren medir y cuál es la mejor forma de hacerlo.
- En cualquier proyecto de instrumentación, la instalación de los instrumentos en la estructura es solamente un paso intermedio de todo el proceso y se realiza luego de una ardua y compleja planeación, la cual inicia con determinar qué tipo de instrumento se debe instalar y en que parte de la pila para poder medir lo que se desee y culmina con el análisis de resultados y la elaboración de informes que ratifiquen o rectifiquen las hipótesis de diseño.
- El proceso en obra de instalación de instrumentos es un trabajo conjunto entre el personal técnico de instrumentación y los encargados de la construcción.
- Una vez analizados los resultados obtenidos con esta instrumentación, a largo plazo, se podrá definir como transmiten las pilas oblongas, la carga al suelo y qué porcentaje de ésta se transmite por fuste y qué porcentaje por punta.
- También se podrá determinar el comportamiento real de las pilas y del sistema zapata-columna en el momento de un sismo, y conocer cómo es la distribución de esfuerzos a lo largo de la cimentación cuando ésta se vea sometida a este tipo de solicitaciones.
- Las lecturas de los deformímetros de las conexiones de la zapata-columna con las pilas profundas, indican un comportamiento ideal, donde se observa que mientras se carga la estructura se presentan las deformaciones más grandes, y luego de aplicada la carga máxima, se tienden a estabilizar las deformaciones.

Con el objetivo de ir mejorando los procesos de instrumentación que se desarrollen en un futuro, se recomienda:

- Conocer muy bien el terreno donde se pretende instrumentar una cimentación.
- Tener claro el tipo de información que se quiere obtener para definir con la mayor precisión los instrumentos que se deben instalar, el funcionamiento de cada uno de ellos y la forma en que se registrarán las respuestas que éstos brinden al momento de interrogarlos por resultados.
- Tener completamente identificados los instrumentos que se han de instalar para un fácil reconocimiento de ellos durante la instalación.
- Calibrar todos los instrumentos dentro de los intervalos en los que éstos vayan a trabajar en el campo.
- Tomar lecturas iniciales en gabinete y una vez instalados los instrumentos para verificar que se encuentran en correcto funcionamiento.
- Se deben realizar y adelantar el mayor número de actividades posibles en gabinete como por ejemplo, proteger los cables con poliflex, ya que en obra, este proceso puede llegar a ser muy tedioso por el espacio que se pueda llegar a tener.

- Cuidar, durante todos los procesos de obra, los instrumentos instalados para que no se dañen ni se averíen.

6. REFERENCIAS

- Dunnicliff, J. (1988). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, John Wiley.
- Mendoza, M.J (2004) “Comportamiento de una cimentación con pilotes de fricción en la ciudad de México, bajo carga estática y sísmica”, Tesis Doctoral, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM, México D.F.
- Mendoza, M.J, Ibarra E, Rufiar M, Mendoza S (2012) “Especificaciones para la instrumentación sismo-geotécnica de la cimentación del apoyo A-281. Autopista Urbana Sur”. Informe del Instituto de Ingeniería elaborado para “ICA-PRET”. Julio de 2012.
- Mendoza, S. (2011) “Integración de instrumentos Sismo-Geotécnicos a una cimentación a base de zapata con pilas coladas *in situ*”. Tesis de especialidad en Geotecnia, UNAM, México D.F.
- Mora A, Ayala M, Vázquez R *et al.*, (2012) “Línea 12 del metro: Mixcoac-Tláhuac”. Informe final de la instrumentación permanente para el monitoreo estructural de un tramo típico de la Línea 12 del Metro.
- Prieto C y Verduzco R (2012) “Boletín complementario para la construcción de plantillas especiales, vía periférica elevada Arco Sur”. Informe elaborado para ICA, septiembre de 2012.
- Prieto C y Verduzco R (2012) “Memoria geotécnica proyecto Autopista Urbana Sur tramo comprendido entre los ejes A261-A281 y A284-A291”. Informe elaborado para ICA, enero de 2012.

7. ANEXOS

ANEXO 1

Circuitos de puente de Wheatstone para el uso con deformímetros eléctricos

En general los valores de deformaciones en el concreto causado por las tensiones o compresiones a las que se expuesto, son muy pequeñas, del orden de 10^{-6} m, por lo tanto, para poder obtener valores precisos de deformaciones se requiere el uso de deformímetros que usen la configuración puente de Wheatstone con una fuente de excitación de voltaje.

Este arreglo está formado por cuatro resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 . Un voltaje es aplicado entre A y B y la resistencia R_4 es alterada hasta que no fluya corriente entre C y D . En este punto la aguja del galvanómetro no es desviada y el puente está balanceado. Bajo estas condiciones,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Al conocer R_1 , R_2 y R_4 , se puede determinar R_3 .

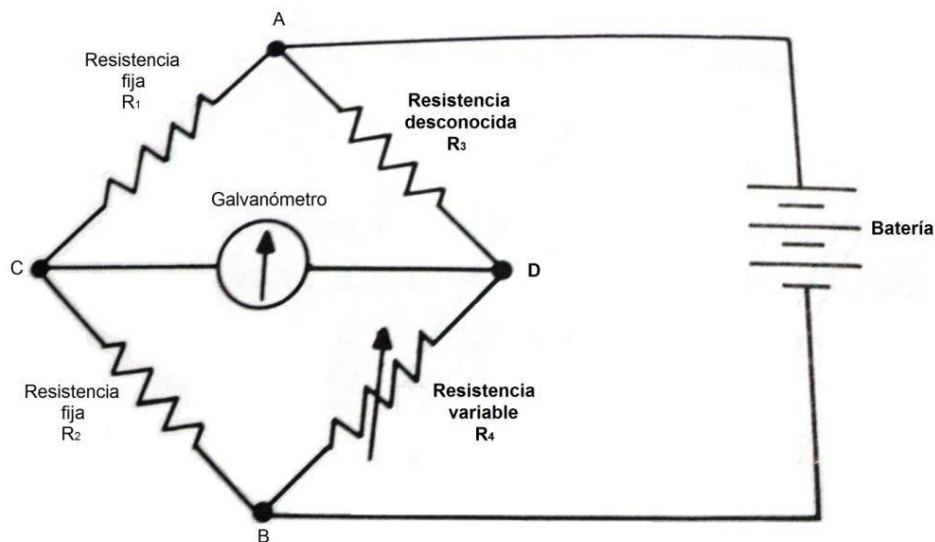


Figura A1. Circuito del puente de Wheatstone (Dunnicliff, 1988).

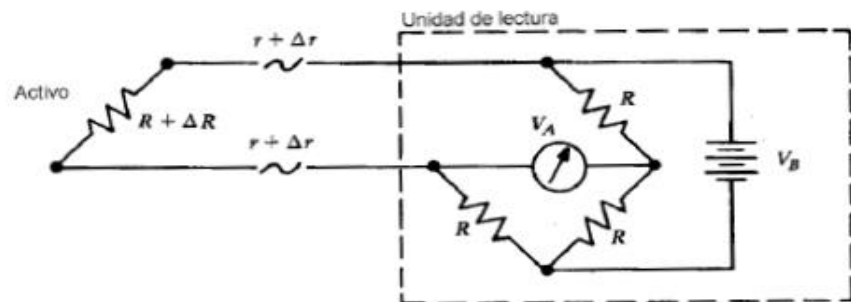
Los tipos de arreglos de puente usados en este proyecto se mencionan a continuación.

ARREGLO DE UN CUARTO DE PUENTE

Este es el tipo de arreglo más sencillo, para poder medir y determinar variaciones en los voltajes de salida y por lo tanto en las deformaciones, existen dos arreglos muy usados: el de dos alambre y el de tres alambre.

El primero de ellos, al existir un cambio en la temperatura en el momento en que el transductor sea excitado, y por lo tanto cambie su resistencia, se puede no tener datos muy confiables ya que el fenómeno de la temperatura afecta el registro, causando que no se pueda tener claridad del cambio que se generó solo por la deformación.

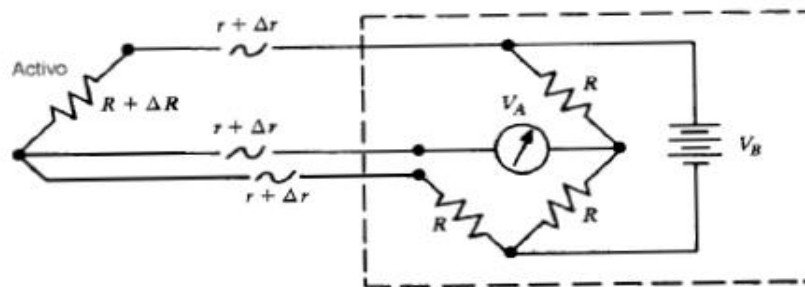
El arreglo de tres alambres puede llegar a eliminar casi en su totalidad este fenómeno, pero siempre existirá ese tipo de imprecisiones en el arreglo de un cuarto de puente. Esta solución consiste en conectar un tercer alambre a un medidor de deformaciones activo y conectado así a la red del puente. Estos dos arreglos se muestran a continuación.



$R + \Delta R$ = Resistencia + Cambio de resistencia
 $r + \Delta r$ = Resistencia del alambre + cambio de la resistencia del alambre
 R = Resistencia del puente completo

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{\Delta R + 2\Delta r}{4[(R + 2r) + \frac{1}{2}(\Delta R + 2\Delta r)]}$$

a)



$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{\Delta R}{4[(R + 2r) + \frac{1}{2}\Delta R]}$$

b)

Figura A2. Redes de un cuarto de puente de Wheatstone: a) sistema de dos alambres y b) sistema de tres alambres (Dunnicliff,1988).

ARREGLO DE DE PUENTE COMPLETO

Con este arreglo se logra una compensación total del fenómeno ocasionado por la variación de la temperatura, por lo tanto el valor del voltaje de salida es muy confiable y preciso.

Existen tres variaciones en este arreglo, como se observa a continuación.

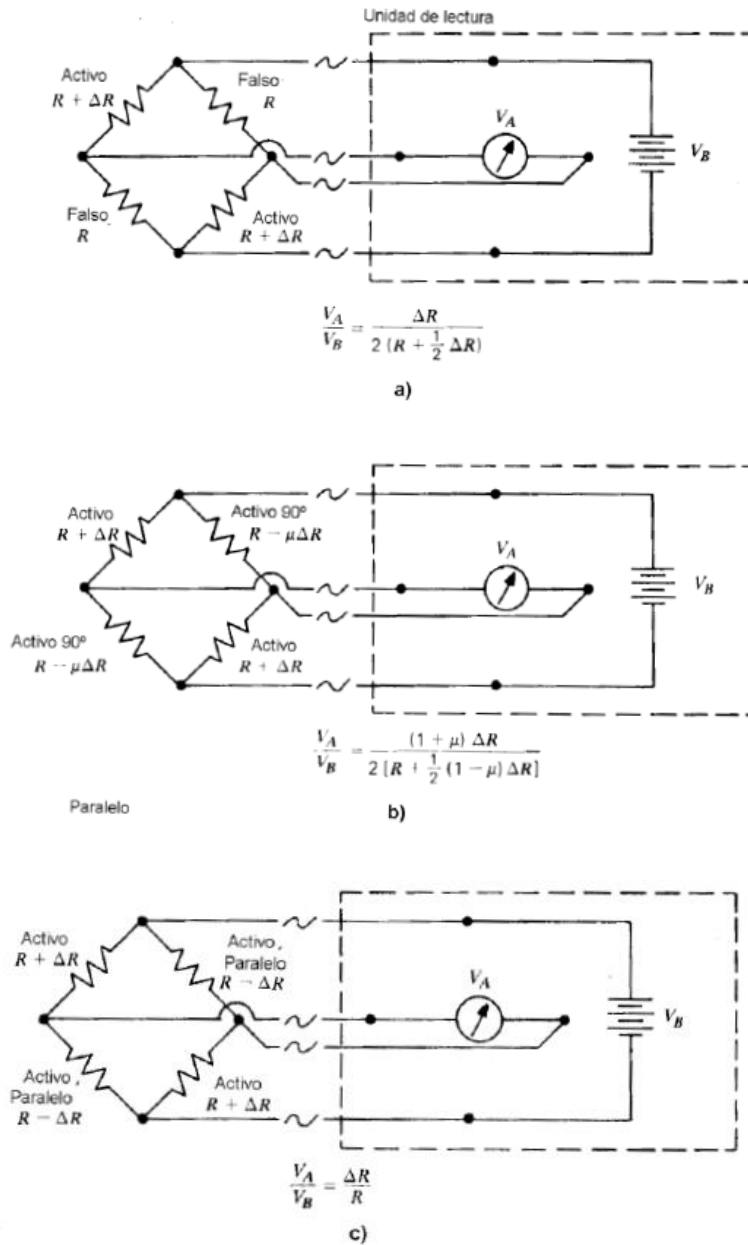


Figura A3. Redes de puente completo de Wheatstone: a) medidores falsos, b) todos los medidores activos, dos a 90° de los otros dos (efecto Poisson) y c) todos los medidores totalmente activos, dos en tensión, dos en compresión, con igual deformación (Dunnicliff, 1988).

ANEXO 2

CALIBRACIÓN DE CELDAS DE PRESIÓN

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-MODELO 3500

Fecha: 27-ago-12

Alimentado por:

Celda de presión:

Amp AD624

Marca: GEOKON

Volt: 10 V

Modelo: 3500-2-100 KPa

SN: 1213801

Diámetro (cm) 23

Calibró:

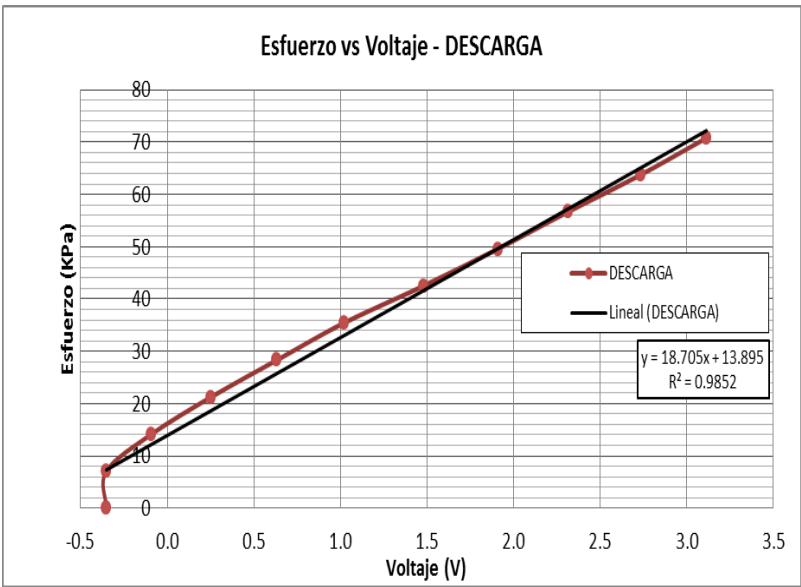
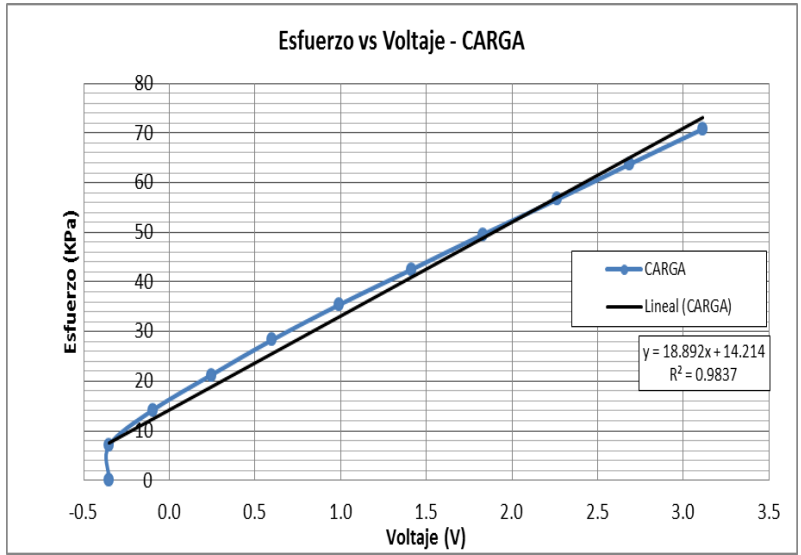
Área (m²) 0.0415



Ingenieros: Salvador Mendoza, Leidy Bejarano y Diego González

CARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
0	0.000	0.000	-0.3523
30	0.294	7.083	-0.3521
60	0.589	14.167	-0.0982
90	0.883	21.250	0.2439
120	1.177	28.334	0.6002
150	1.472	35.417	0.9920
180	1.766	42.501	1.4130
210	2.060	49.584	1.8320
240	2.354	56.668	2.2660
270	2.649	63.751	2.6870
300	2.943	70.834	3.1144

DESCARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
300	2.943	70.834	3.1144
270	2.649	63.751	2.7320
240	2.354	56.668	2.3133
210	2.060	49.584	1.9090
180	1.766	42.501	1.4780
150	1.472	35.417	1.0194
120	1.177	28.334	0.6335
90	0.883	21.250	0.2521
60	0.589	14.167	-0.0909
30	0.294	7.083	-0.3521
0	0.000	0.000	-0.3522



"G" FACTOR	fabrica	20	Kpa/V
	laboratorio	18.8	Kpa/V

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-MODELO 3500

Fecha: 27-ago-12

Alimentado por:

Celda de presión:

Amplificado: **AD624**

Marca: GEOKON

Voltaje: 10 V



Modelo: 3500-2-100 KPa

SN: 1213800

Diámetro (cm) 23

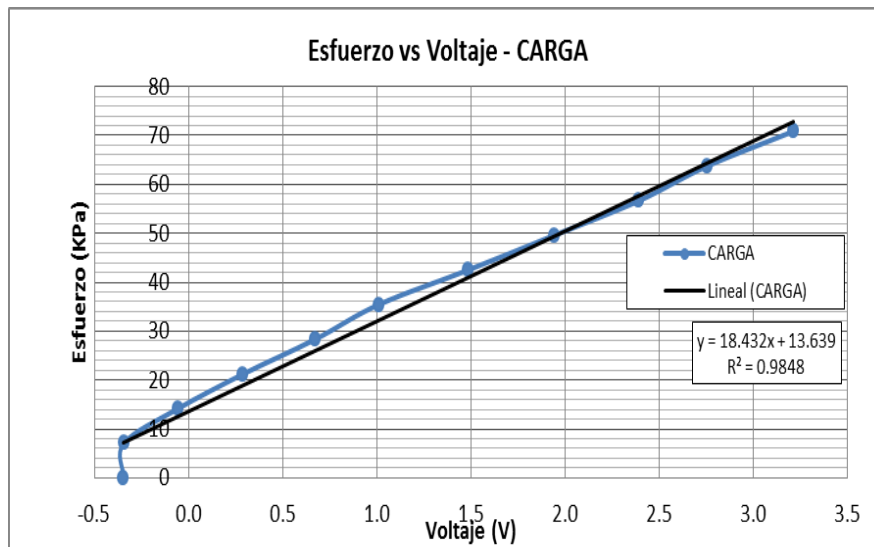
Área (m2) 0.0415

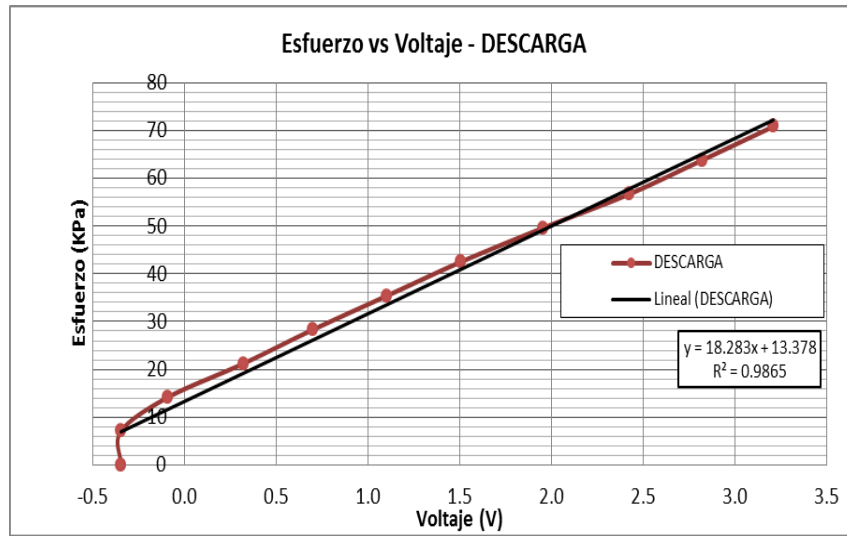
Calibró:

Ingenieros: Salvador Mendoza, Gerardo González, Leidy Bejarano y Diego González

CARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
0	0.000	0.000	-0.346
30	0.294	7.083	-0.345
60	0.589	14.167	-0.057
90	0.883	21.250	0.289
120	1.177	28.334	0.671
150	1.472	35.417	1.008
180	1.766	42.501	1.483
210	2.060	49.584	1.940
240	2.354	56.668	2.390
270	2.649	63.751	2.754
300	2.943	70.834	3.210

DESCARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
300	2.943	70.834	3.210
270	2.649	63.751	2.820
240	2.354	56.668	2.423
210	2.060	49.584	1.953
180	1.766	42.501	1.506
150	1.472	35.417	1.105
120	1.177	28.334	0.701
90	0.883	21.250	0.323
60	0.589	14.167	-0.090
30	0.294	7.083	-0.346
0	0.000	0.000	-0.345





"G" FACTOR	fabrica	20	Kpa/V
	laboratorio	18.4	Kpa/V

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-MODELO 3500

Fecha: 31-ago-12

Alimentado por:

Celda de presión:

Amplificador: **AD624**

Marca: GEOKON

Voltaje: 10 V

Modelo: 3500-2-1 MPa

SN: 1213799

Diámetro (cm) 23

Área (m²) 0.0415

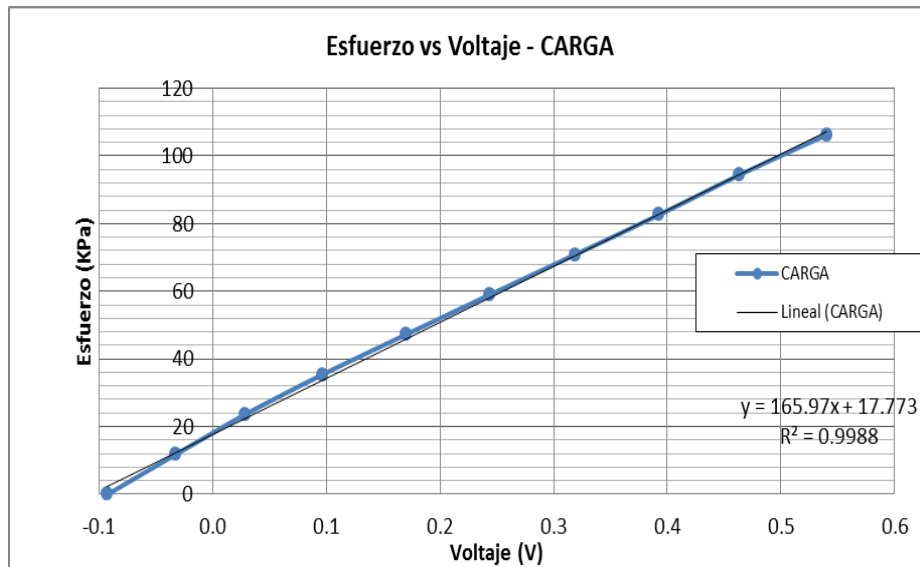


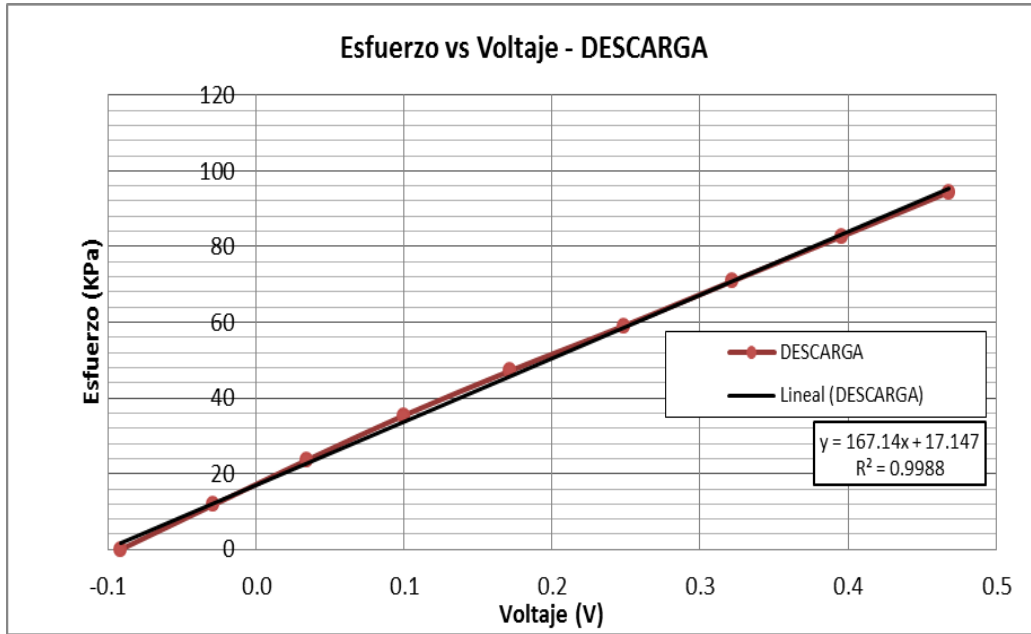
Calibró:

Ingenieros: Leidy Bejarano, Gerardo González y Diego González

CARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
0	0.000	0.000	-0.09241
50	0.491	11.806	-0.03228
100	0.981	23.611	0.02880
150	1.472	35.417	0.09680
200	1.962	47.223	0.17000
250	2.453	59.029	0.24400
300	2.943	70.834	0.31870
350	3.434	82.640	0.39280
400	3.924	94.446	0.46370
450	4.415	106.252	0.54000

DESCARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
400	3.924	94.446	0.46830
350	3.434	82.640	0.39530
300	2.943	70.834	0.32140
250	2.453	59.029	0.24830
200	1.962	47.223	0.17180
150	1.472	35.417	0.10010
100	0.981	23.611	0.03430
50	0.491	11.806	-0.02860
0	0.000	0.000	-0.09141





"G" FACTOR	fabrica	200	Kpa/V
	laboratorio	167	Kpa/V

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-MODELO 3500

Fecha: 31-ago-12

Alimentado por:

Celda de presión:

Amplificado **AD624**

Marca: GEOKON

Voltaje: 10 V

Modelo: 3500-2-1 MPa

SN: 1213798

Diámetro (cm) 23

Área (m2) 0.0415

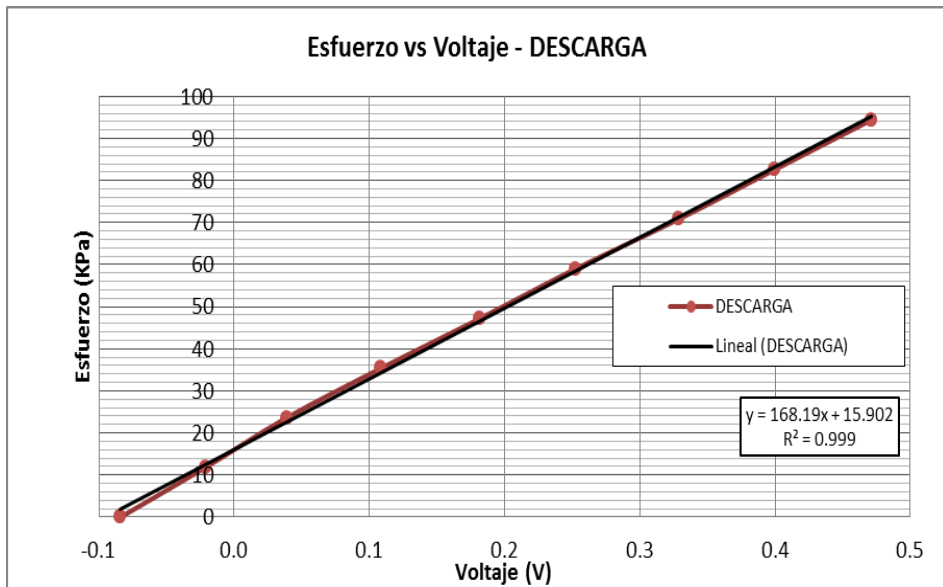
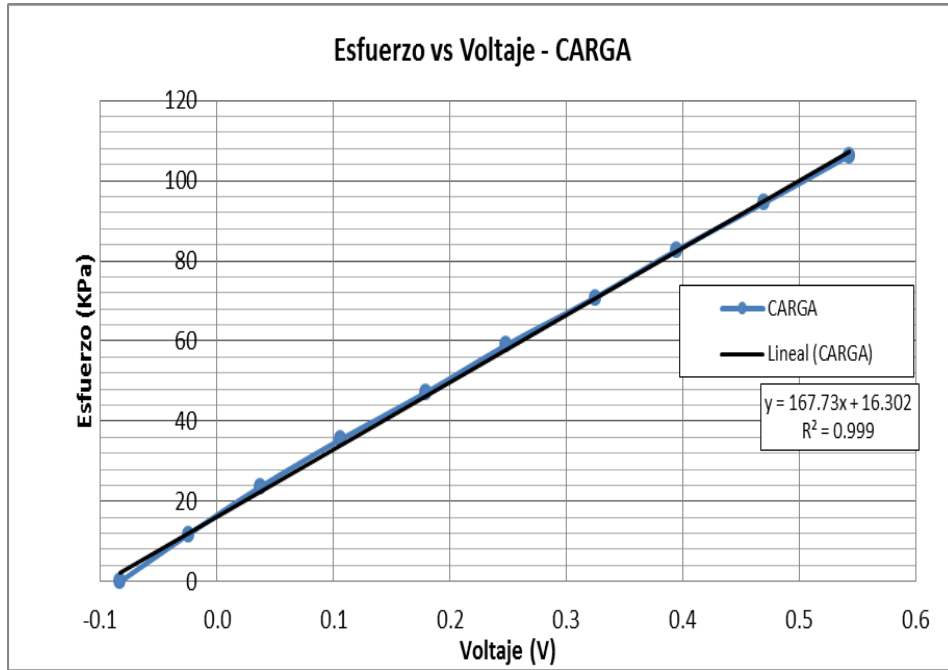
Calibró:

Ingenieros: Leidy Bejarano, Gerardo González y Diego González



CARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
0	0.000	0.000	-0.083
50	0.491	11.806	-0.024
100	0.981	23.611	0.037
150	1.472	35.417	0.106
200	1.962	47.223	0.180
250	2.453	59.029	0.249
300	2.943	70.834	0.325
350	3.434	82.640	0.395
400	3.924	94.446	0.470
450	4.415	106.252	0.543

DESCARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
400	3.924	94.446	0.471
350	3.434	82.640	0.400
300	2.943	70.834	0.329
250	2.453	59.029	0.253
200	1.962	47.223	0.182
150	1.472	35.417	0.109
100	0.981	23.611	0.039
50	0.491	11.806	-0.021
0	0.000	0.000	-0.084



"G" FACTOR	fabrica	200	Kpa/V
	laboratorio	168	Kpa/V

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-MODELO 3500

Fecha: 31-ago-12

Alimentado por:

Celda de presión:

Amplificador: **AD624**

Marca: GEOKON

Voltaje: 10 V

Modelo: 3500-2-400 KPa



SN: 1213781

Diámetro (cm) 23

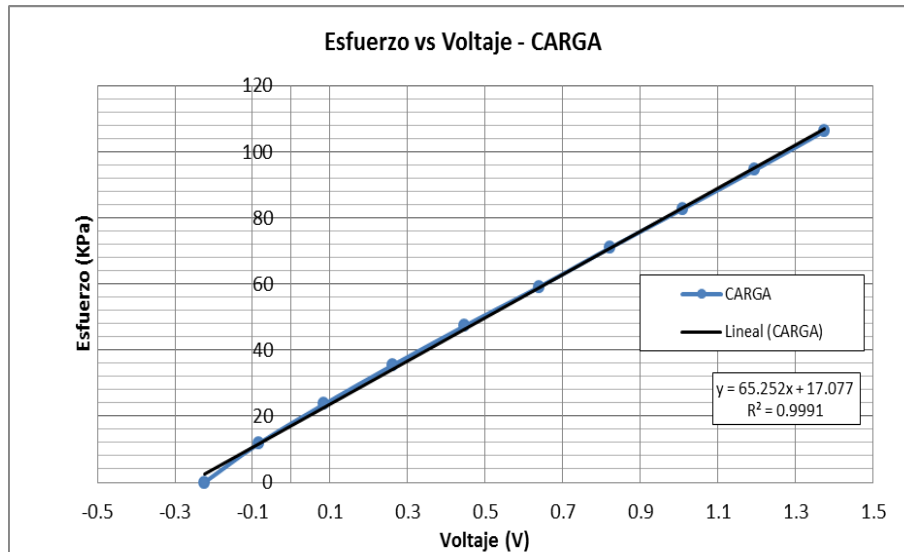
Calibró:

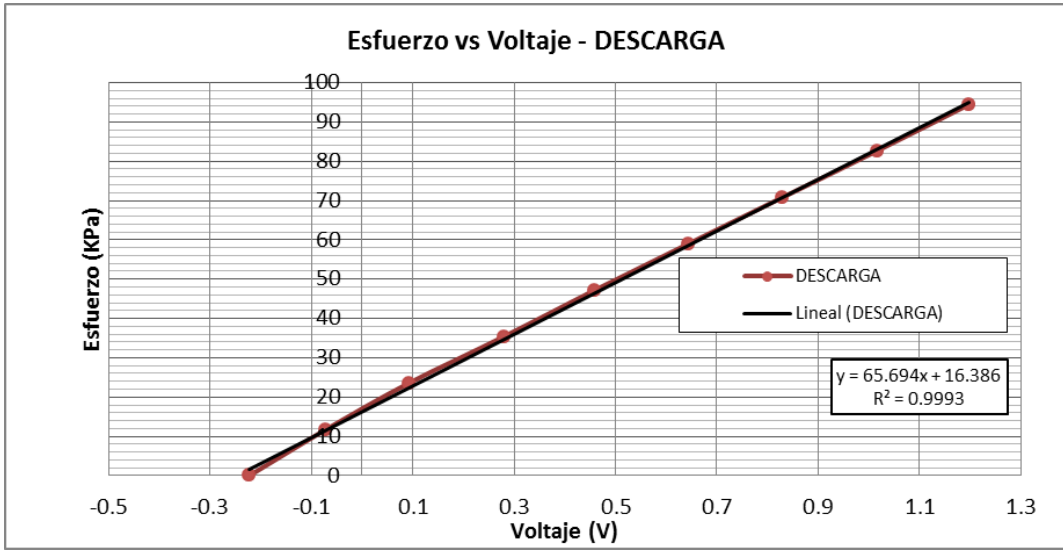
Área (m2) 0.0415

Ingenieros: Leidy Bejarano y Diego González

CARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
0	0.000	0.000	-0.2237
50	0.491	11.806	-0.0828
100	0.981	23.611	0.0848
150	1.472	35.417	0.2617
200	1.962	47.223	0.4461
250	2.453	59.029	0.6381
300	2.943	70.834	0.8213
350	3.434	82.640	1.0090
400	3.924	94.446	1.1950
450	4.415	106.252	1.3750

DESCARGA			
Carga	Fuerza	Esfuerzo	Voltage
kg	KN	Kpa	V
400	3.924	94.446	1.1971
350	3.434	82.640	1.0156
300	2.943	70.834	0.8295
250	2.453	59.029	0.6438
200	1.962	47.223	0.4590
150	1.472	35.417	0.2800
100	0.981	23.611	0.0931
50	0.491	11.806	-0.0708
0	0.000	0.000	-0.2227





"G" FACTOR	fabrica	80	Kpa/V
	laboratorio	66	Kpa/V

CALIBRACIÓN DE CELDAS DE PRESIÓN TIPO JACK-OUT

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-TIPO JACK-OUT

Fecha: 22-ago-12
 Celda de presión:
 Marca: GEOKON
 Modelo: 4820-2 CPJOOSG-3-250 Kpa
 SN: 1214156
 Diámetro (cm)
 Área (m2)

Alimentado por:
 Amplificador: AD624
 Voltaje: 10 V



Calibró:
 Ingenieros: Leidy Bejarano y Diego González

CARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
Kg/cm2	cm	mts	V	T/m2	Kpa
0	0,000	0,000	-0,300	0,000	0,00
0,5	26,500	0,265	0,418	3,604	35,33
1,2	81,000	0,810	1,907	11,016	107,99
1,5	103,500	1,035	2,503	14,076	137,99
1,8	125,500	1,255	3,084	17,068	167,32
2	139,000	1,390	3,475	18,904	185,32

DESCARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
kg	cm	mts	V	T/m2	Kpa
1,8	124,000	1,240	3,051	16,864	165,32
1,5	102,900	1,029	2,473	13,994	137,19
1,2	79,200	0,792	1,839	10,771	105,59
0,5	27,000	0,270	0,439	3,672	36,00
0	0,000	0,000	-0,294	0,000	0,00

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-TIPO JACK-OUT

Fecha: 30-ago-12
 Celda de presión:
 Marca: GEOKON
 Modelo: 4820-2 CPJOOSG-2-450 Kpa
 SN: 1212701
 Diámetro (cm)
 Área (m2)

Alimentado por:
 Amplificador: AD624
 Voltaje: 10 V



Calibró:
 Ingenieros: Leidy Bejarano y Diego González

CARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
Kg/cm2	cm	mts	V	T/m2	Kpa
0	0,000	0,000	-0,155	0,000	0,00
0,6	34,500	0,345	0,452	4,692	46,00
1,2	81,400	0,814	1,229	11,070	108,52
1,8	125,800	1,258	1,970	17,109	167,72
2,4	169,700	1,697	2,700	23,079	226,25
3	214,800	2,148	3,440	29,213	286,38

DESCARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
kg	cm	mts	V	T/m2	Kpa
2,4	167,500	1,675	2,664	22,780	223,31
1,8	123,500	1,235	1,940	16,796	164,65
1,2	79,500	0,795	1,202	10,812	105,99
0,6	34,600	0,346	0,458	4,706	46,13
0	0,000	0,000	0,153	0,000	0,00

CALIBRACIÓN CELDA DE PRESIÓN-TIPO JACK-OUT

Fecha: 30-ago-12
 Celda de presión:
 Marca: GEOKON
 Modelo: 4820-2 CPJOOSG-1-600 Kpa
 SN: 1212700
 Diámetro (cm)
 Área (m2)
 Temp. Agua 22,5 °C

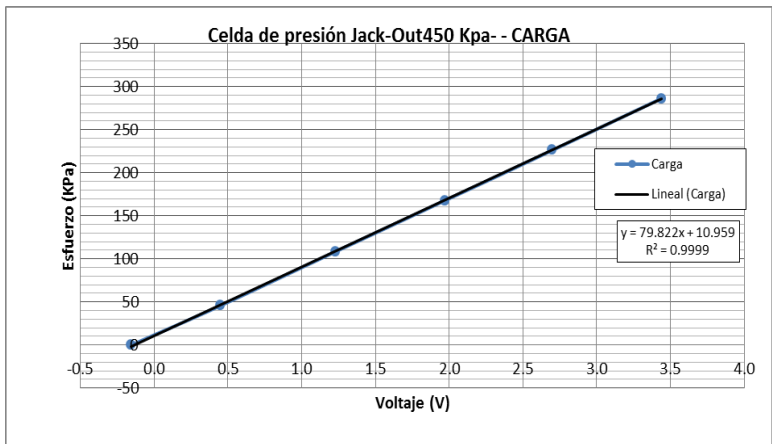
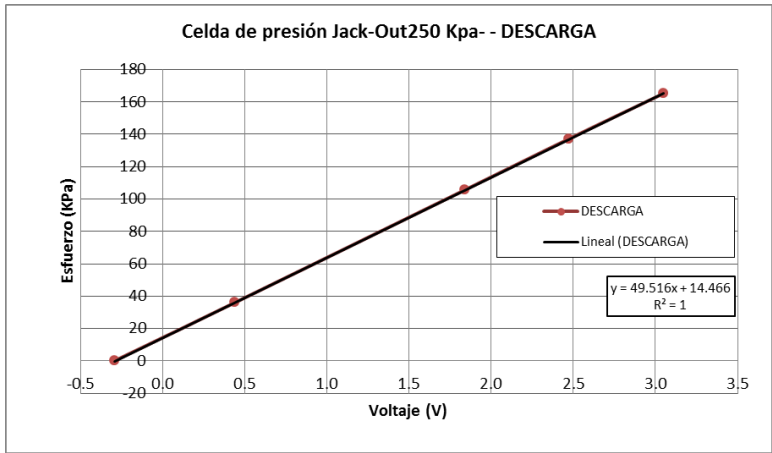
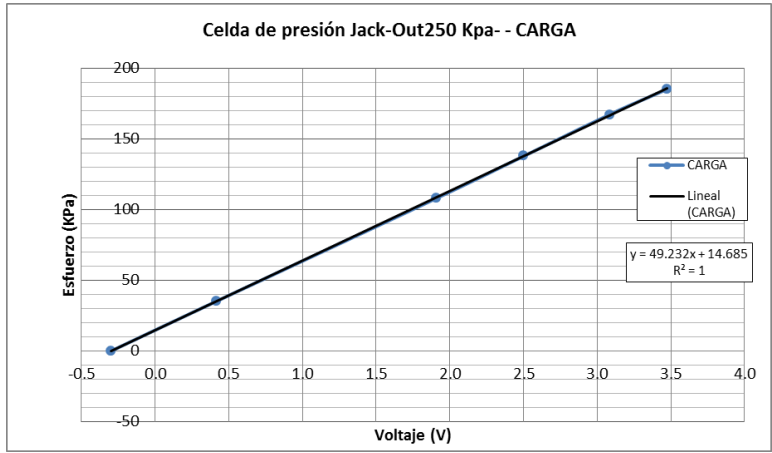
Alimentado por:
 Amplificador: AD624
 Voltaje: 10 V

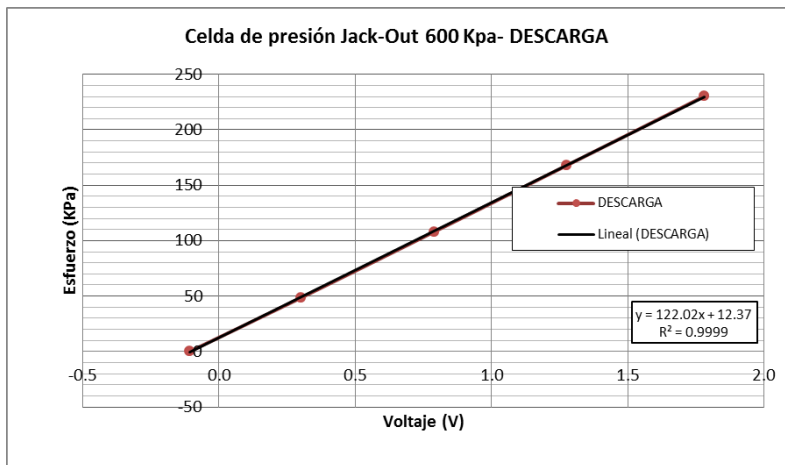
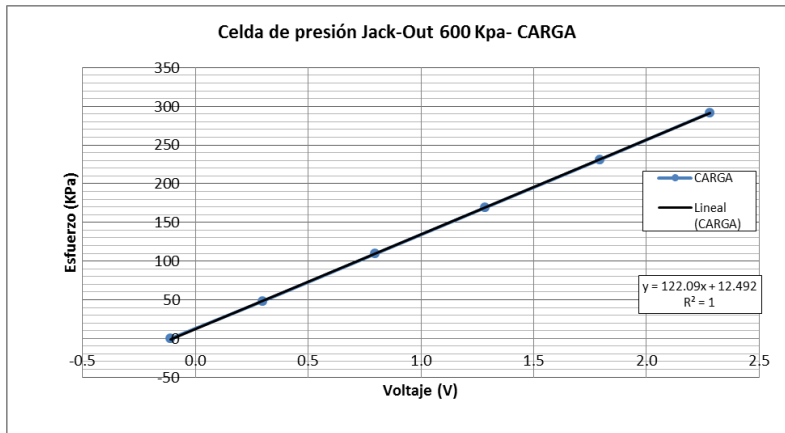
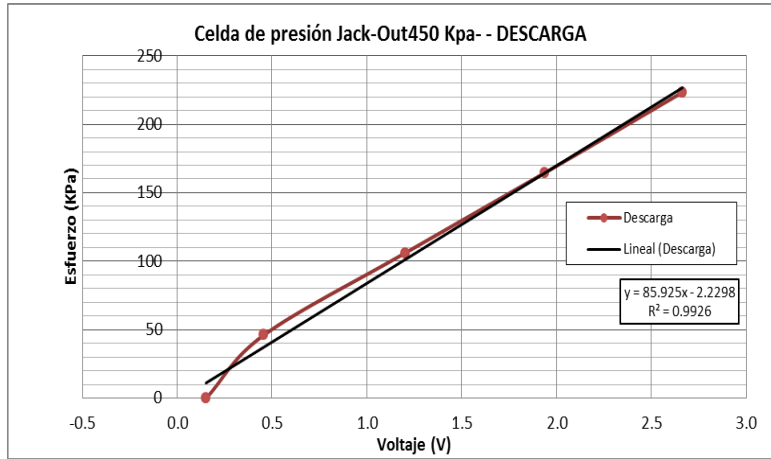


Calibró:
 Ingenieros: Leidy Bejarano y Diego González

CARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
Kg/cm2	cm	mts	V	T/m2	Kpa
0	0,000	0,000	-0,110	0,000	0,00
0,6	35,400	0,354	0,297	4,814	48,14
1,2	80,400	0,804	0,797	10,934	109,34
1,8	124,400	1,244	1,286	16,918	169,18
2,4	170,000	1,700	1,794	23,120	231,20
3	214,500	2,145	2,282	29,172	291,72

DESCARGA					
Presión Manómetro Caratula	Presión Manómetro Hg (cm)	Presión Manómetro Hg (mt)	Lectura con multímetro HP Salida (volts)	Presión	Presión
kg	cm	mts	V	T/m2	Kpa
2,4	169,300	1,693	1,781	23,025	230,25
1,8	123,400	1,234	1,276	16,782	167,82
1,2	79,400	0,794	0,789	10,798	107,98
0,6	35,800	0,358	0,302	4,869	48,69
0	0,000	0,000	-0,108	0,000	0,00





"G" FACTOR CELDA DE 250 Kpa	fabrica	50	Kpa/V
	laboratorio	49	Kpa/V

"G" FACTOR CELDA DE 600 Kpa	fabrica	120	Kpa/V
	laboratorio	119	Kpa/V