

**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**

**Coordinación de Geotecnia**

**SCT**  
SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES



**Grupo Aeroportuario de la  
Ciudad de México, S.A. de C.V.**



# **ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MÉXICO**

**OBRAS DEL LADO AIRE**

**MESAS DE DIÁLOGO  
Agosto 13 de 2018**

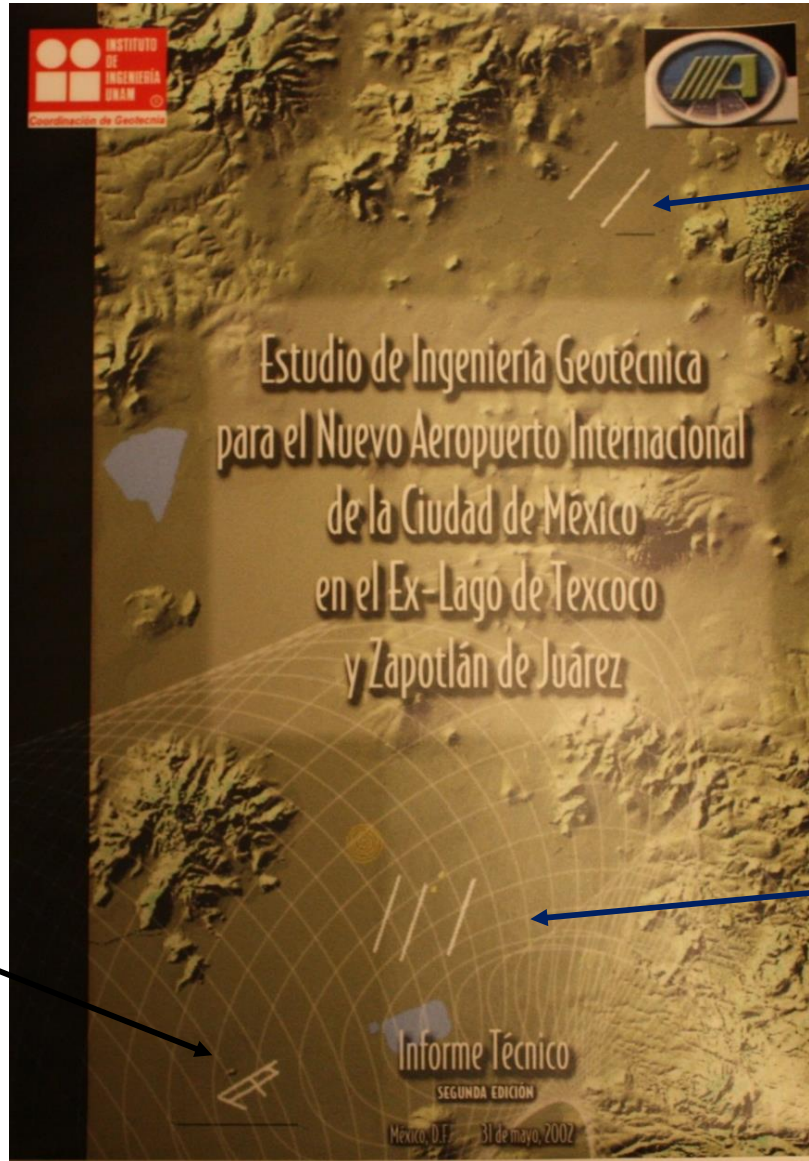


# CONDICIONES GEOTÉCNICAS GENERALES EN LA ZONA DEL LAGO



- ❖ **Suelos arcillosos con compresibilidad alta a muy alta**
- ❖ **Suelos arcillosos con resistencia cortante baja a muy baja**
- ❖ **Suelos con alto contenido salino**
- ❖ **Asentamiento regional**
- ❖ **Sismos intensos**

**Las condiciones del subsuelo son determinantes en el diseño y construcción del NAIM**



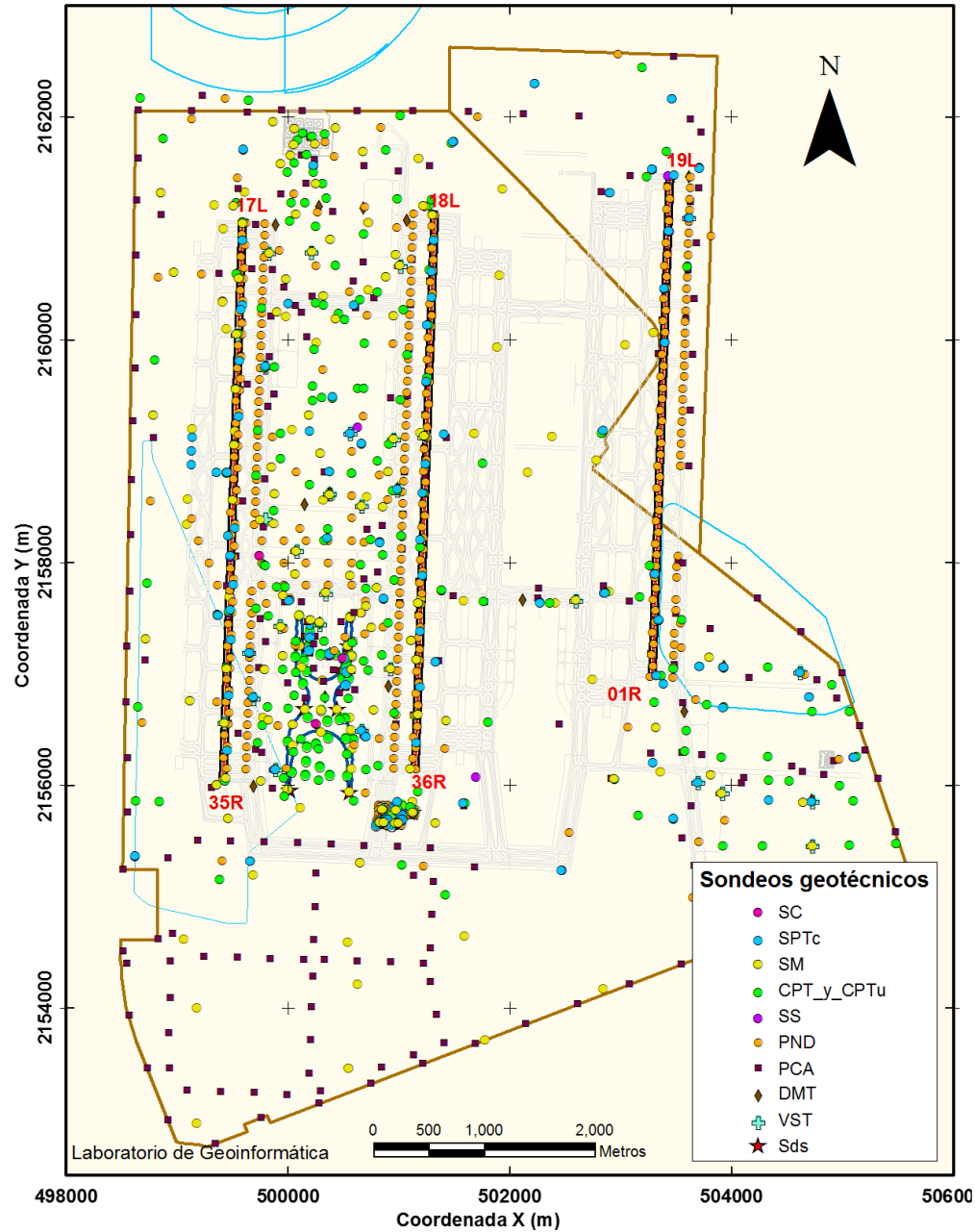
Zapotlán de Juárez, Hgo.

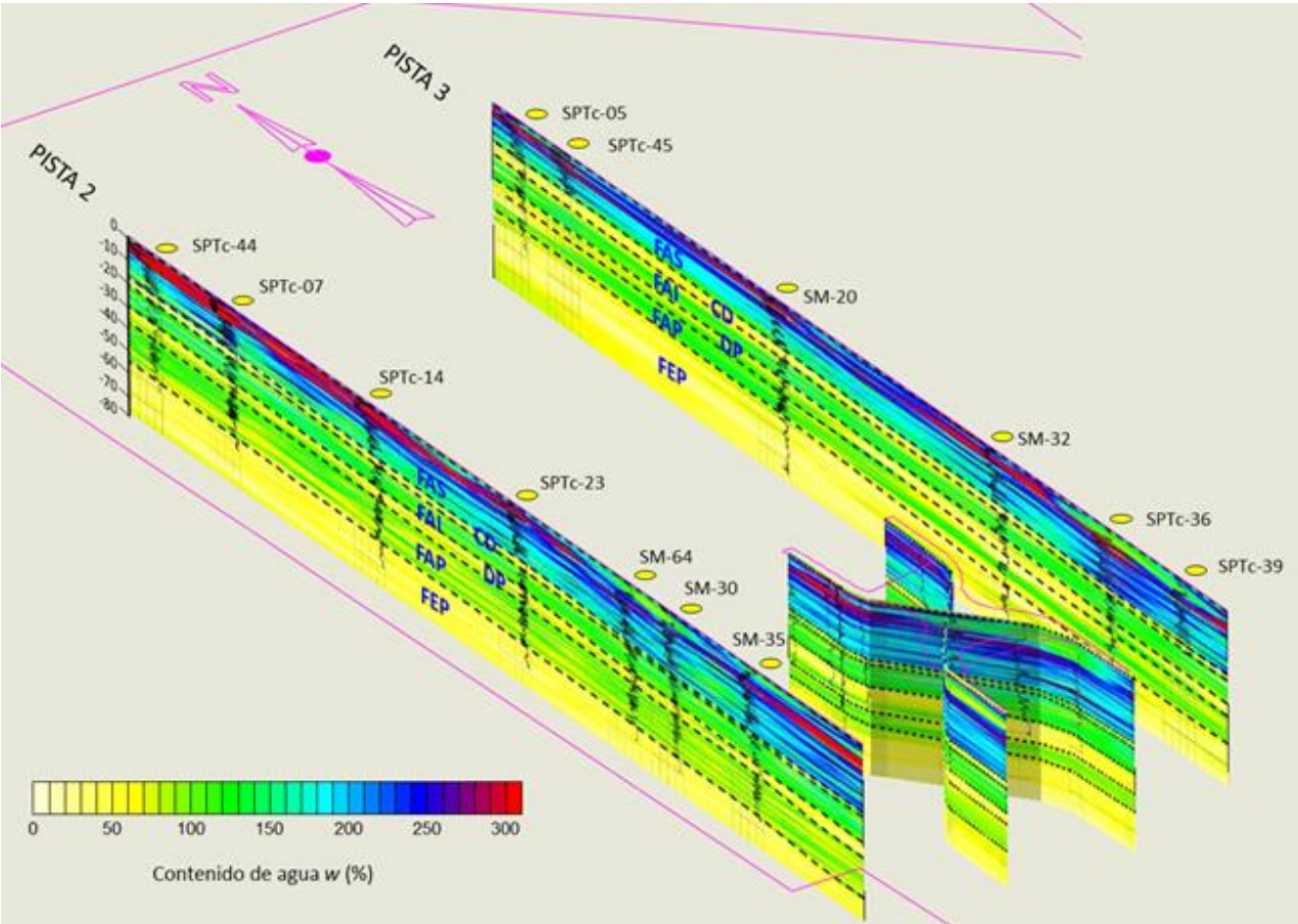
Ex-Lago de Texcoco, Edo. de Méx.

Aeropuerto actual



# SONDEOS GEOTÉCNICOS REALIZADOS ENTRE 2013 Y 2017





Distribución de contenidos de agua



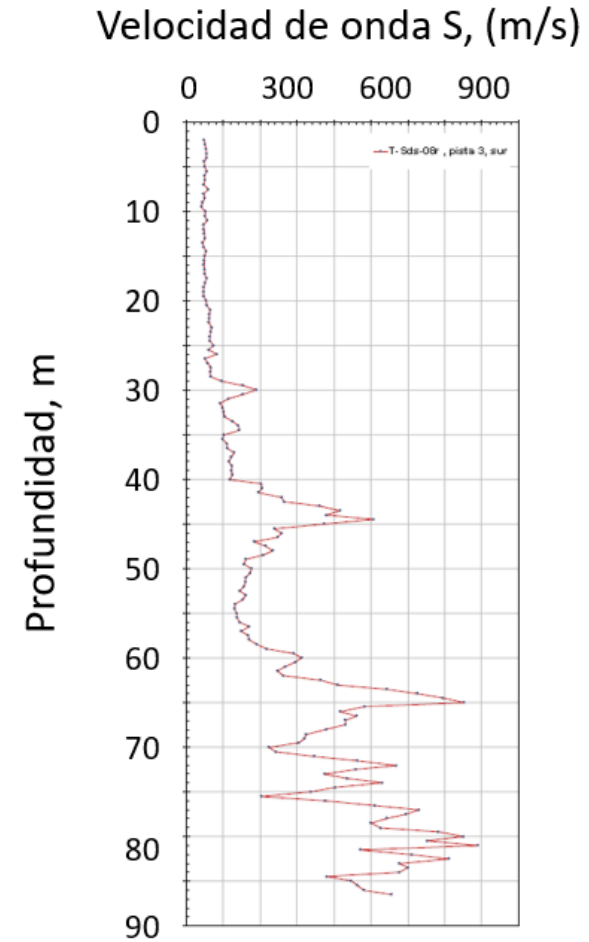
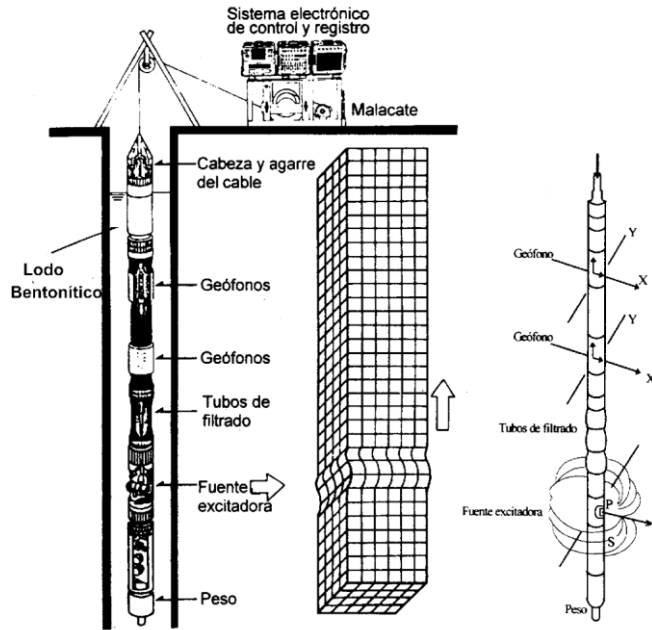
Obras de la 1ª Etapa



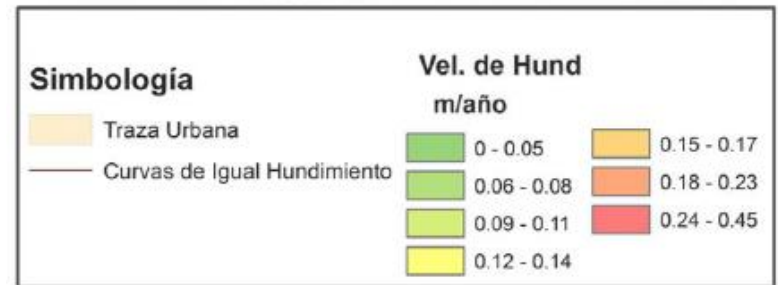
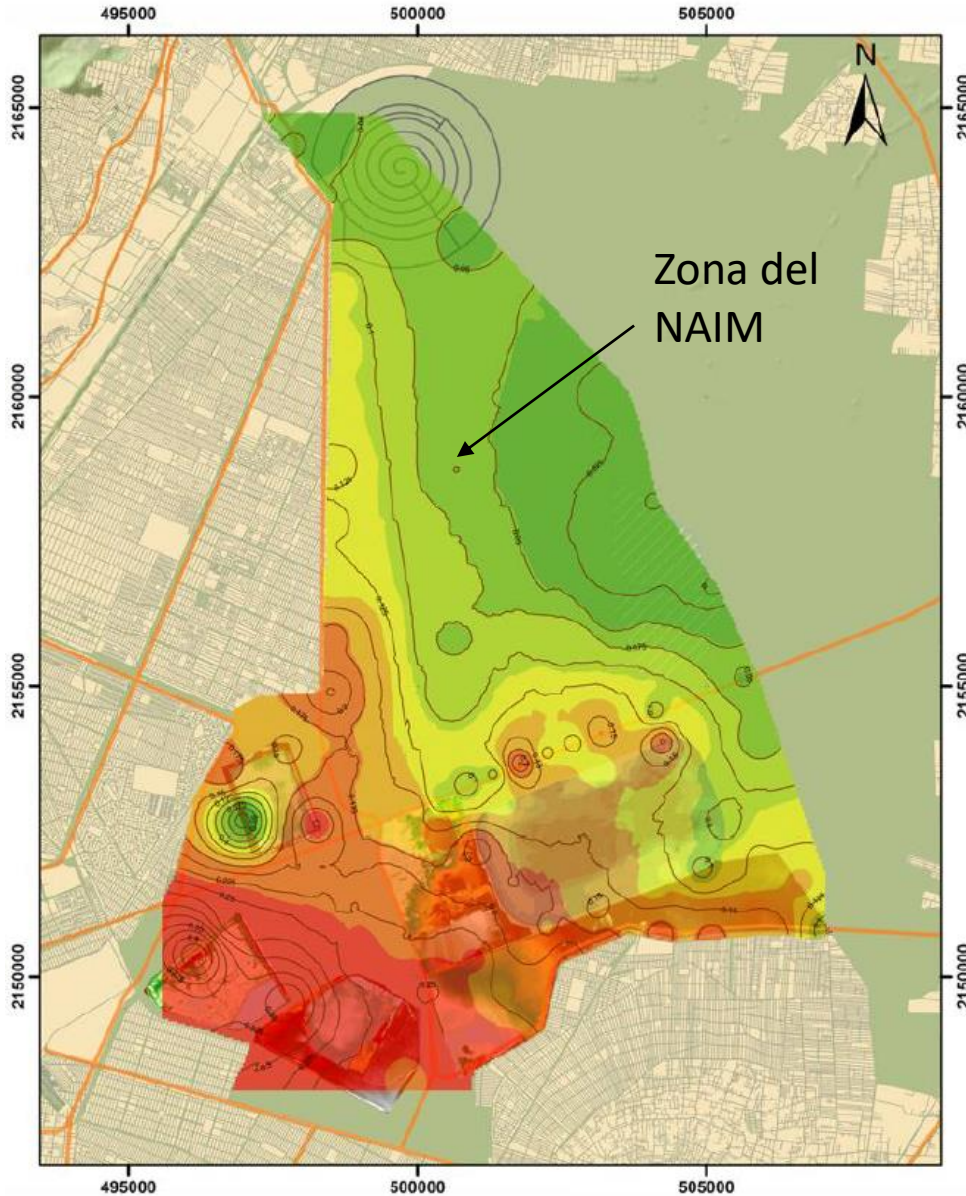
TIPO DE SONDEOS	Exploración preliminar (2013)	Tramos de Prueba (2014a)	Área del edificio terminal (2014b)	Área del edificio terminal y torre de control (2015)	Pistas, plataformas y calles de rodaje (2016)	Tramos de Prueba (2016)	SUMA
POZO A CIELO ABIERTO (PCA)		19	10		275		304
PANDA (PND)		72			363		435
PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	3		7		99		109
SONDEO MIXTO (SM, TBH, BHMA)	66			20	90	7	183
MUESTREO CONTINUO (SC)		12	1		2		15
MUESTREO SELECTIVO (SS)	14	6	3		63		86
CONO ELÉCTRICO (CPT)		11	7		13		31
CONO ELÉCTRICO CON MEDICIÓN DE PRESIÓN DE PORO (CPTu, TCPTu, CPTu_MA)			3	30	186	7	226
SONDA SUSPENDIDA (Sds)		6		6	15		27
DILATÓMETRO (DMT)			2		21		23
DILATÓMETRO SISMICO (SDMT)			1				1
VELETA (VST)					32		32
<b>SUMA =</b>	<b>83</b>	<b>126</b>	<b>34</b>	<b>56</b>	<b>1159</b>	<b>14</b>	<b>1472</b>



# DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUBSUELO



**Ensayo con sonda suspendida, TSds-08r, pista 3, sur.**

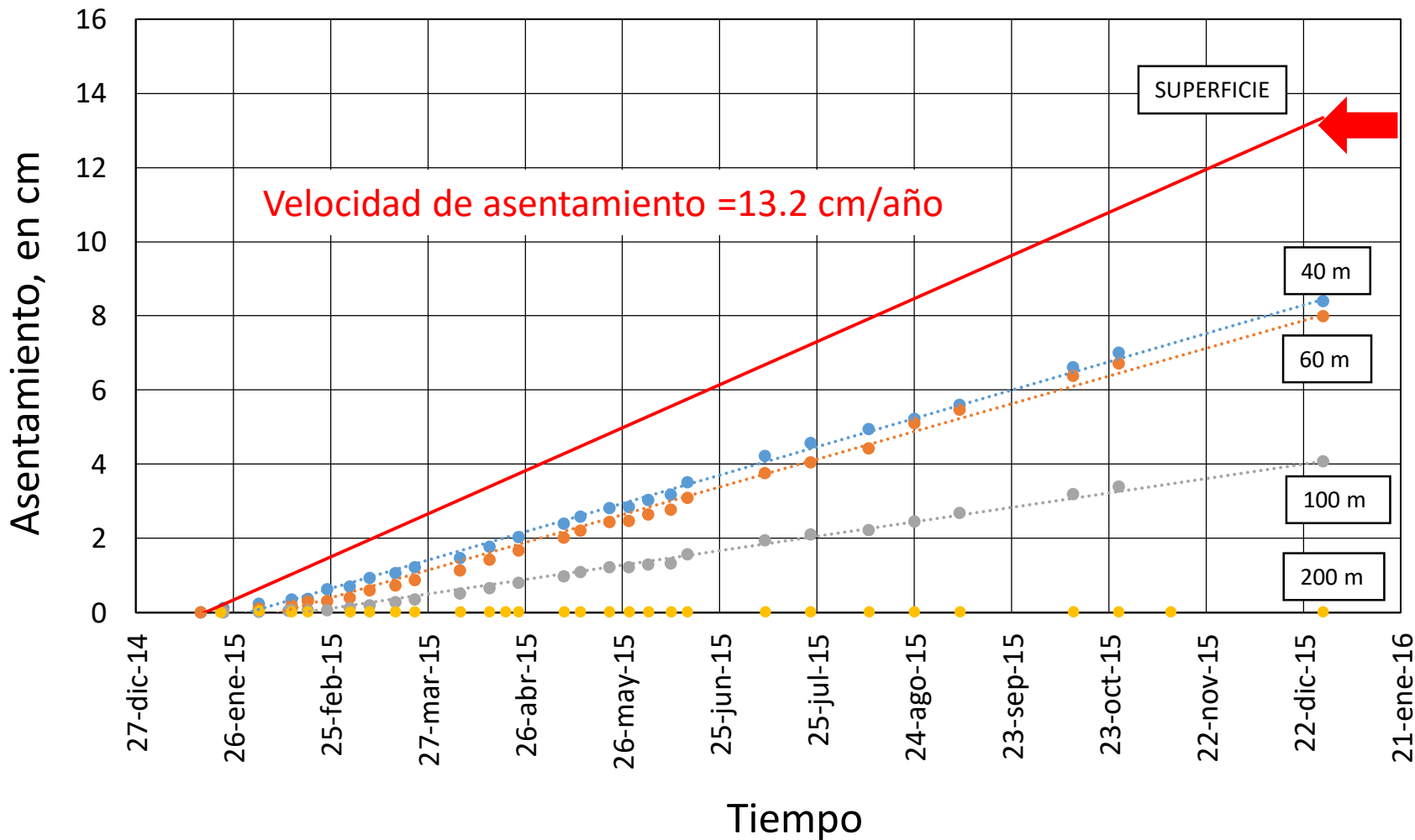


Laboratorio de Geoinformática, II-UNAM (2005)





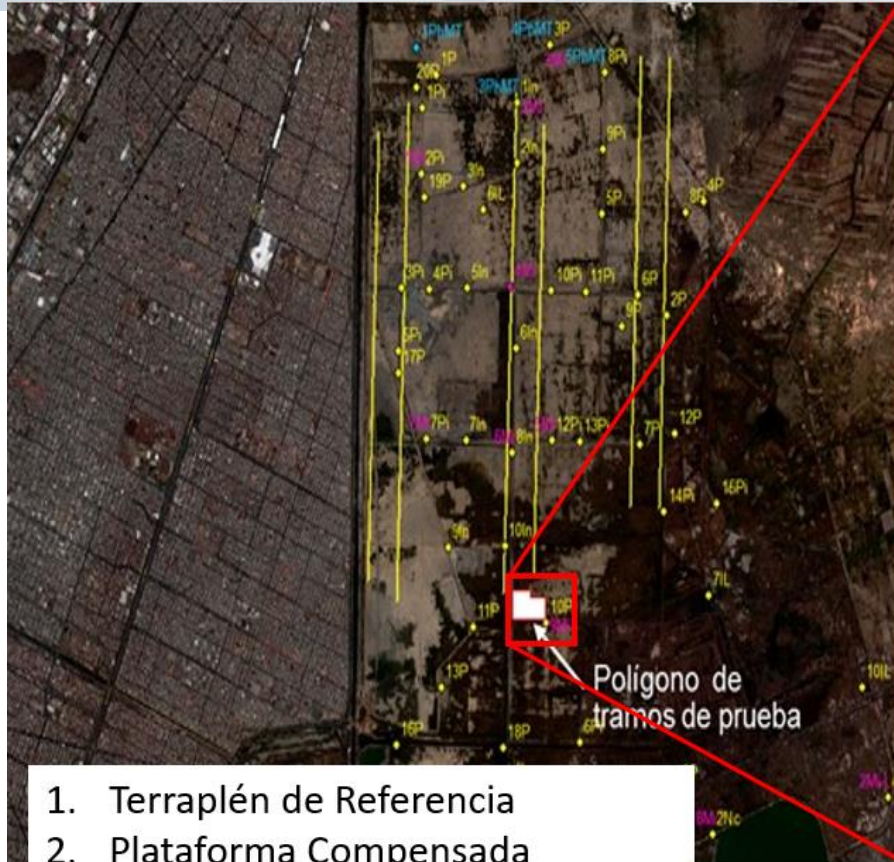
# EVOLUCIÓN DEL ASENTAMIENTO REGIONAL MEDIDO DURANTE UN AÑO EN EL NAIM



Bancos y referencia superficial ubicados en los tramos de prueba



# TRAMOS DE PRUEBA PARA OBRAS DEL LADO AIRE



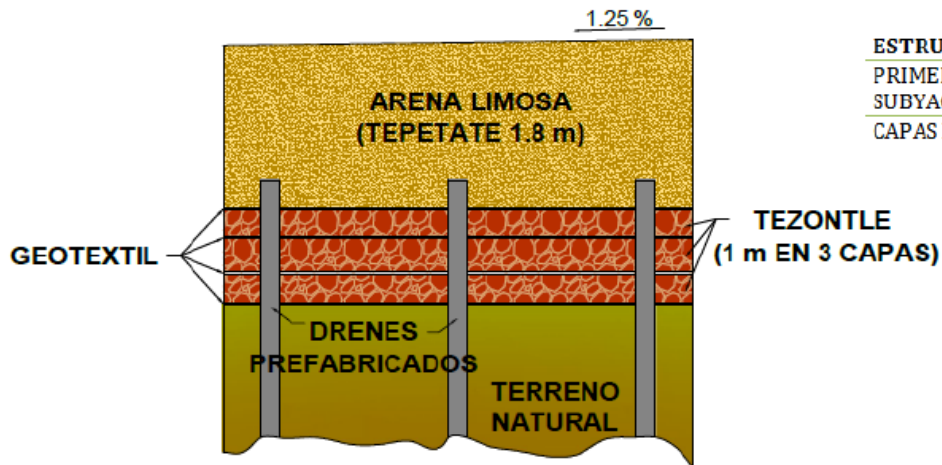
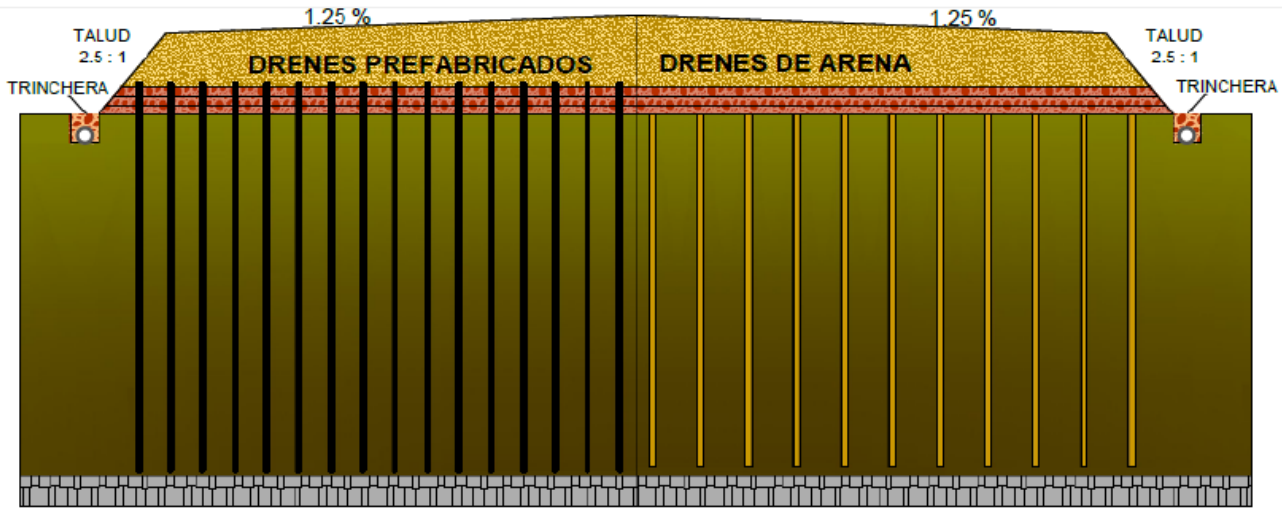
1. Terraplén de Referencia
2. Plataforma Compensada
3. Celda estructurada
4. Terraplén Piloteado
5. Terraplén con Inclusiones
6. Precarga y Drenes de arena
7. **Precarga y Drenes Prefabricados**

8. Losa reticulada postensada A
9. Losa reticulada postensada B
10. PVD + Precarga + Vacío dren a dren
11. PVD + Precarga + Vacío con membrana

**Soluciones potenciales de mejoramiento del subsuelo**



# TRAMOS DE PRUEBA PARA OBRAS DEL LADO AIRE

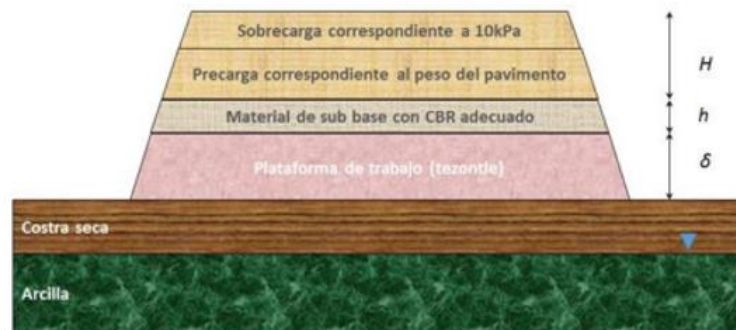
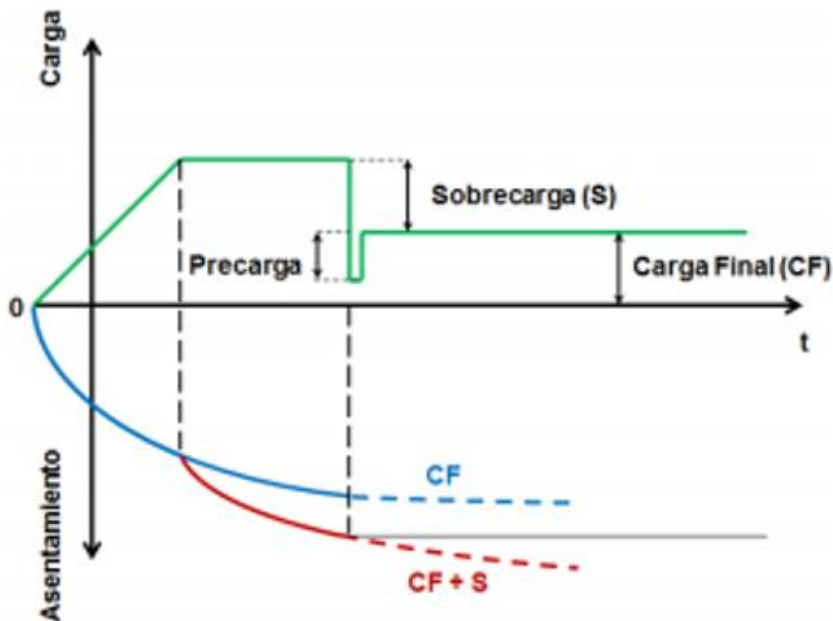


ESTRUCTURA	INICIO	TÉRMINO
PRIMERA CAPA DE SUBYACENTE	28-10-14	30-10-14
CAPAS DE TEZONTLE	23-09-14	22-10-14

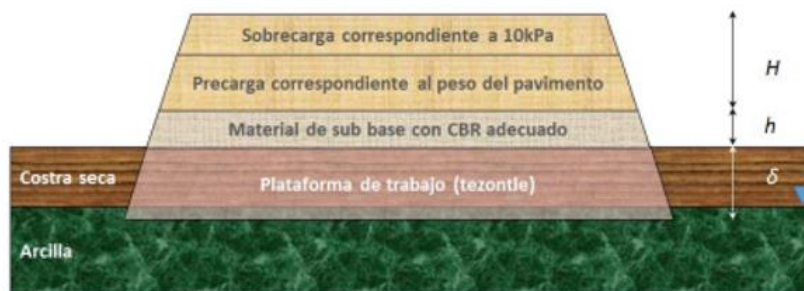
**Dre Drestventes capes fabricadga (PVD)**



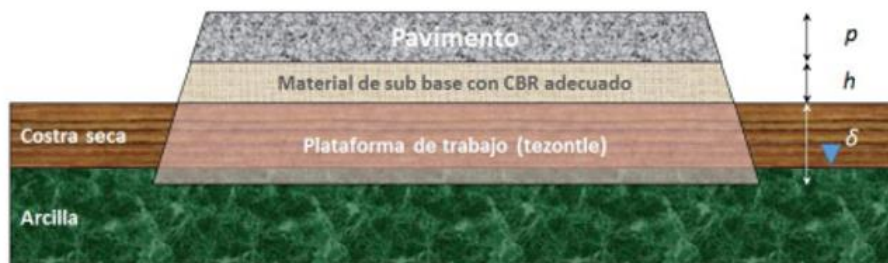
# PROCESO DE PRECARGA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y RODAJES



$$H_F = h + H$$



$$H_P = h + p$$



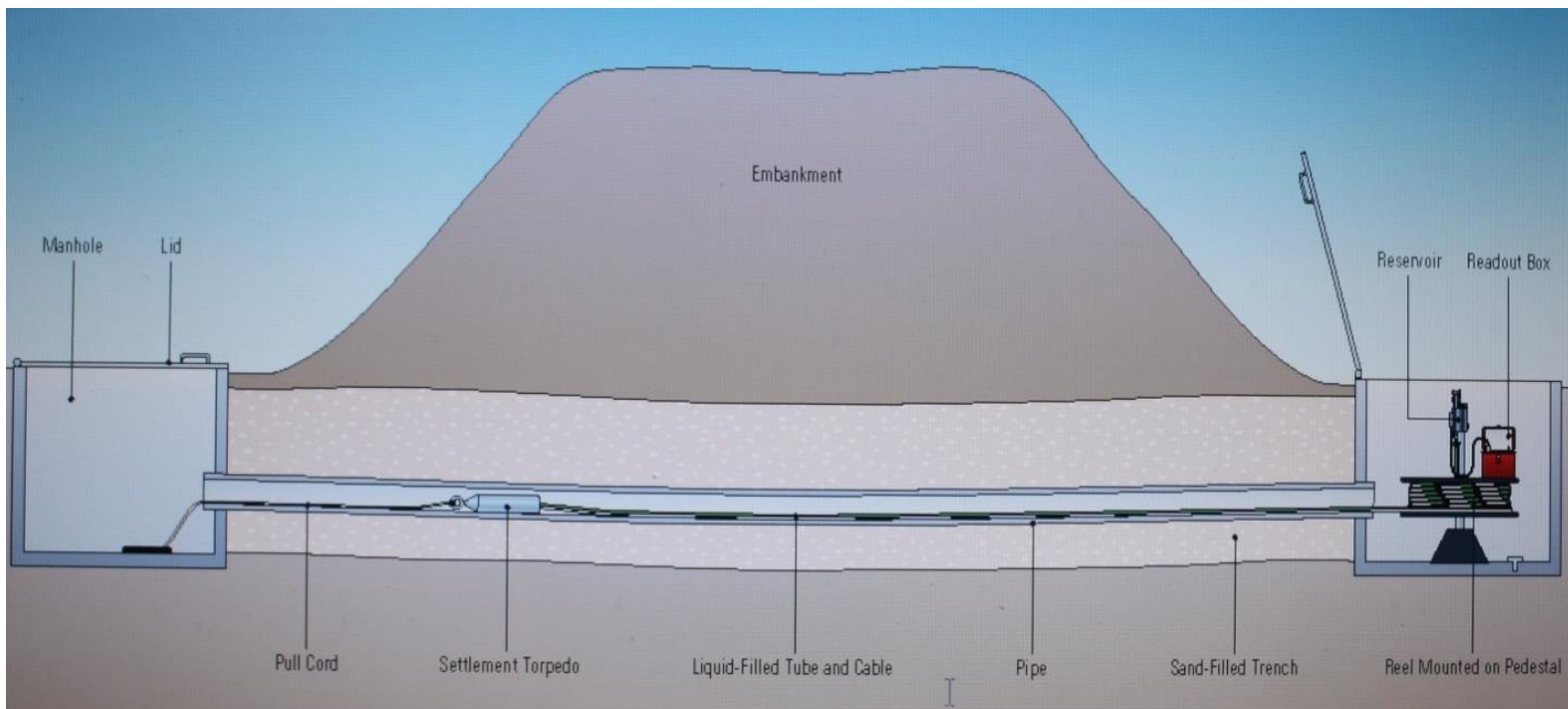
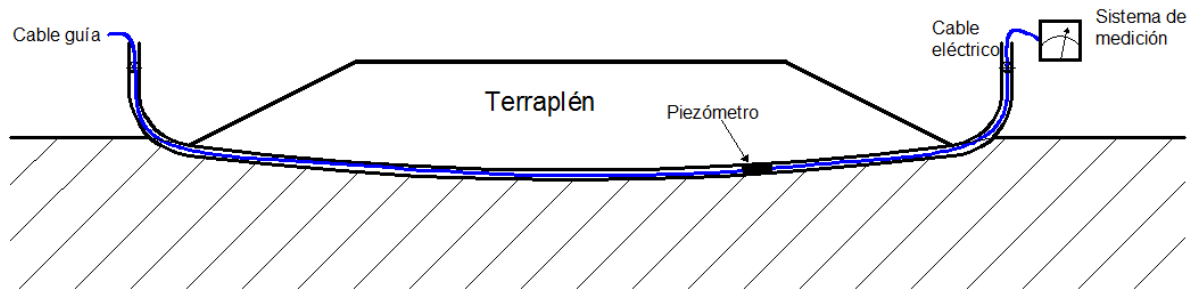


- Bancos de nivel profundo
- Referencias superficiales en el terreno
- Referencias superficiales en los pavimentos
- Bancos de referencia bajo el terraplén
- Extensómetros magnéticos profundos
- Estaciones piezométricas
- Inclinómetros
- Celdas de presión
- Sensor en manguera horizontal para definir el perfil de asentamientos



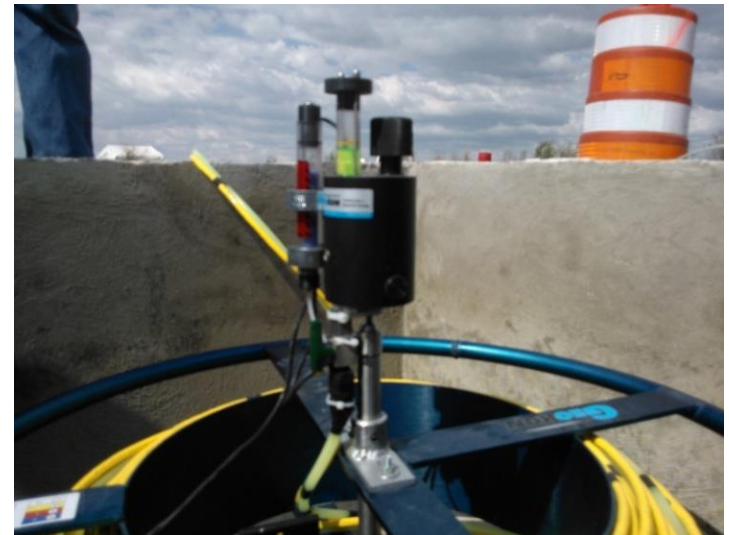


# SENSOR DE PRESIÓN EN MANGUERA HORIZONTAL PARA DEFINIR EL PERFIL DE ASENTAMIENTOS





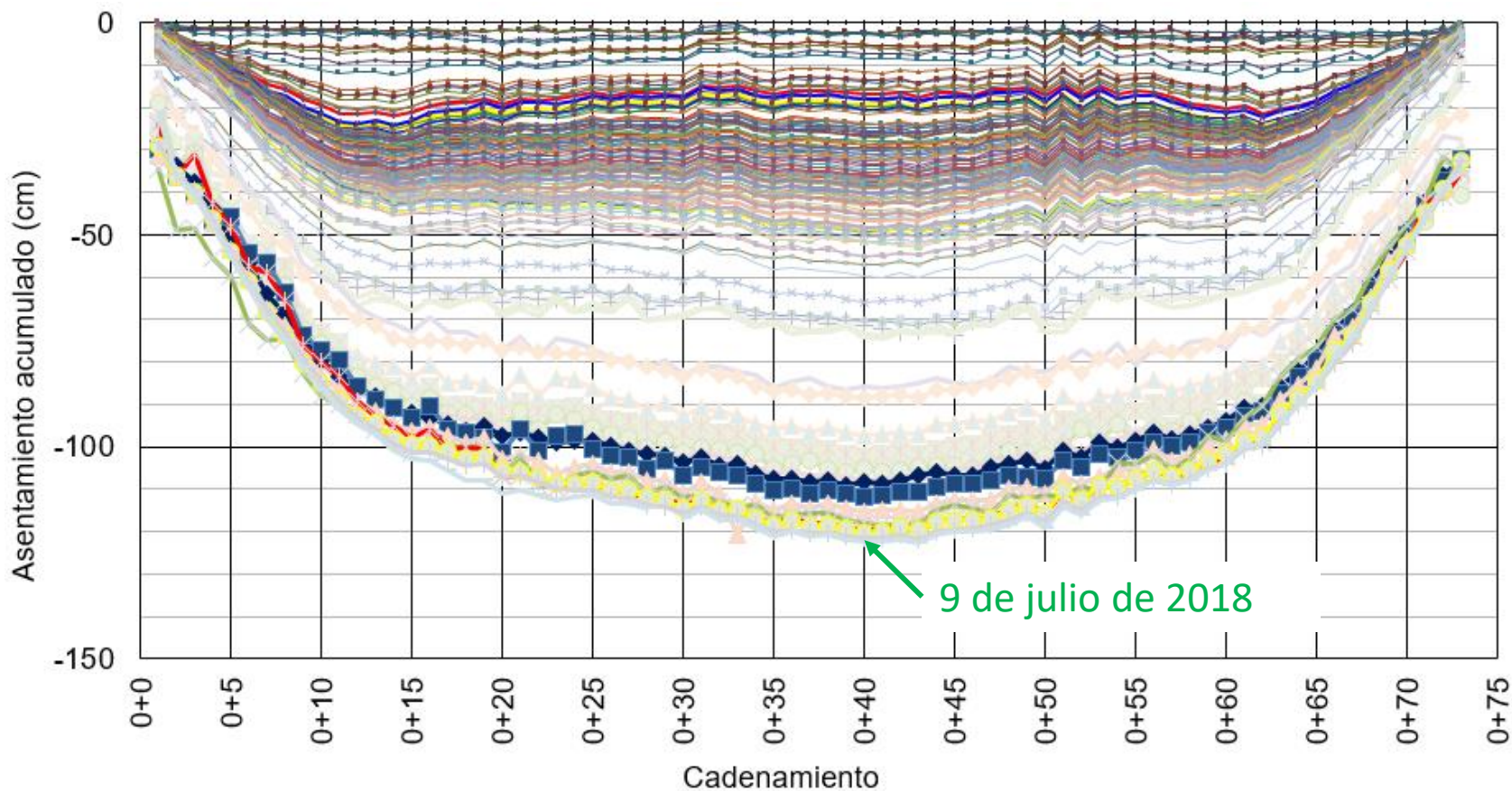
# SENSOR DE PRESIÓN EN MANGUERA HORIZONTAL PARA DEFINIR EL PERFIL DE ASENTAMIENTOS





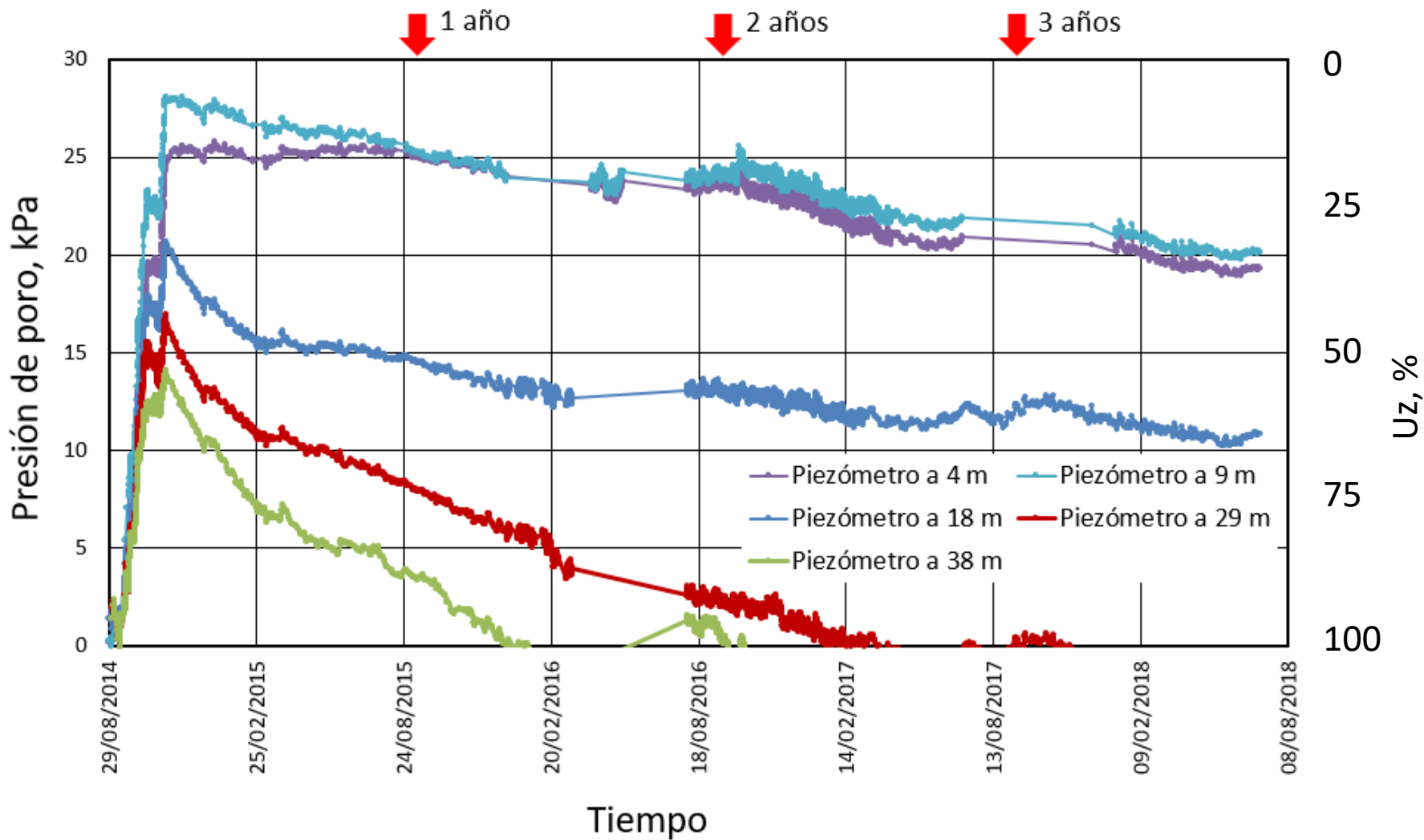


# PERFIL DE ASENTAMIENTOS MEDIDOS EN EL TERRAPLÉN DE REFERENCIA, $H_o = 2.1$ m



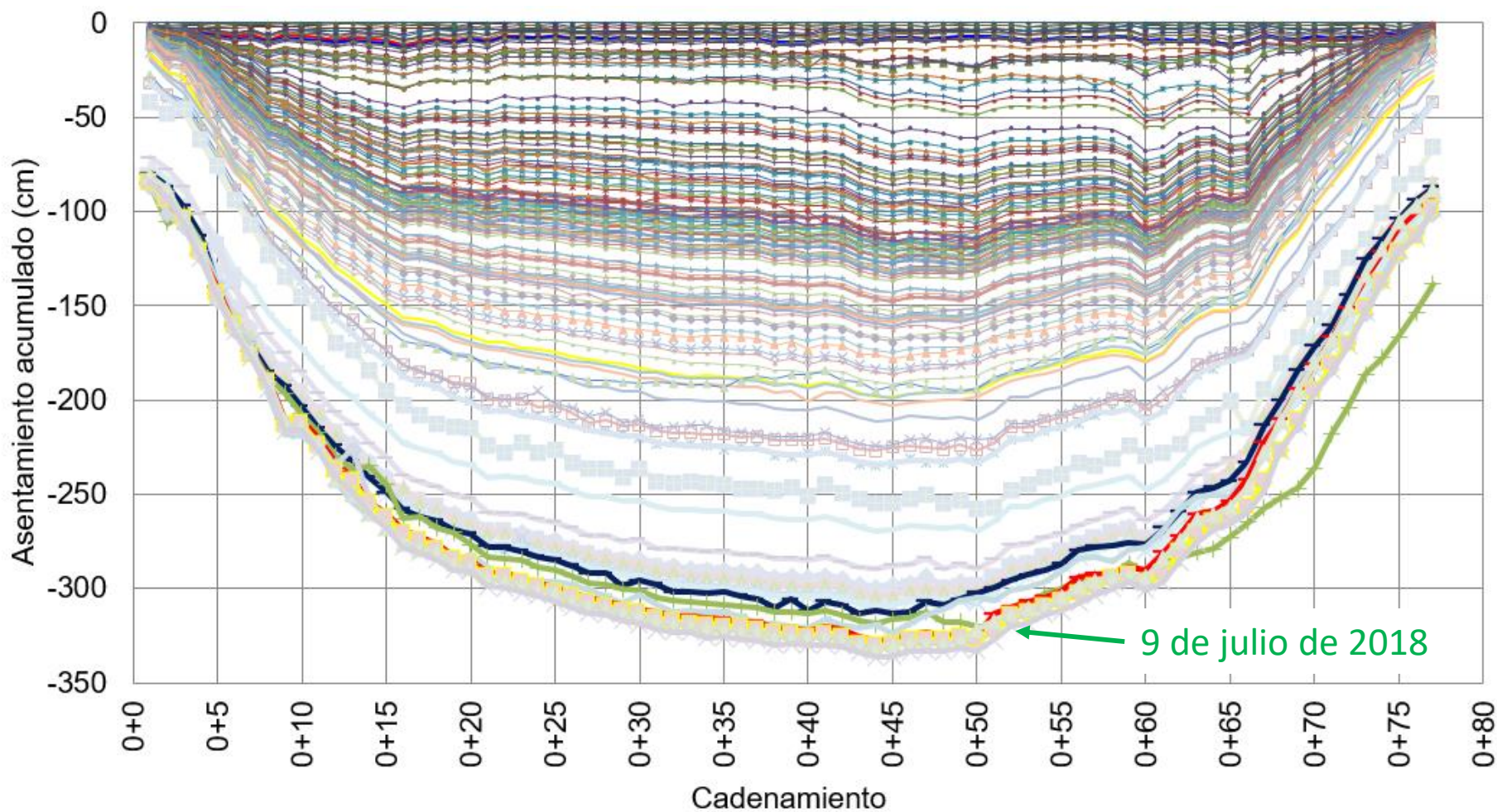


# EXCESO DE PRESIÓN DE PORO EN TERRAPLÉN DE REFERENCIA





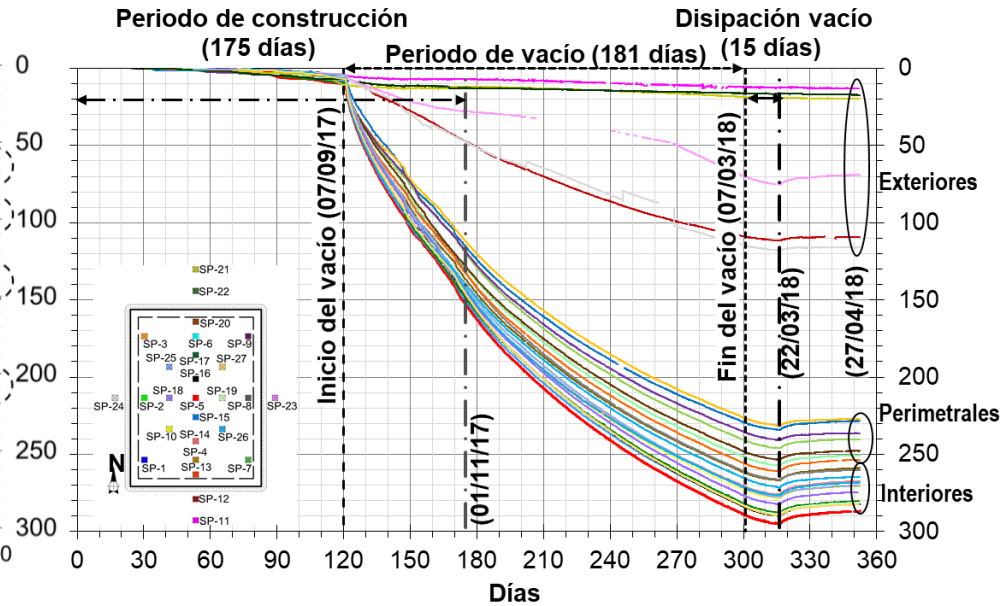
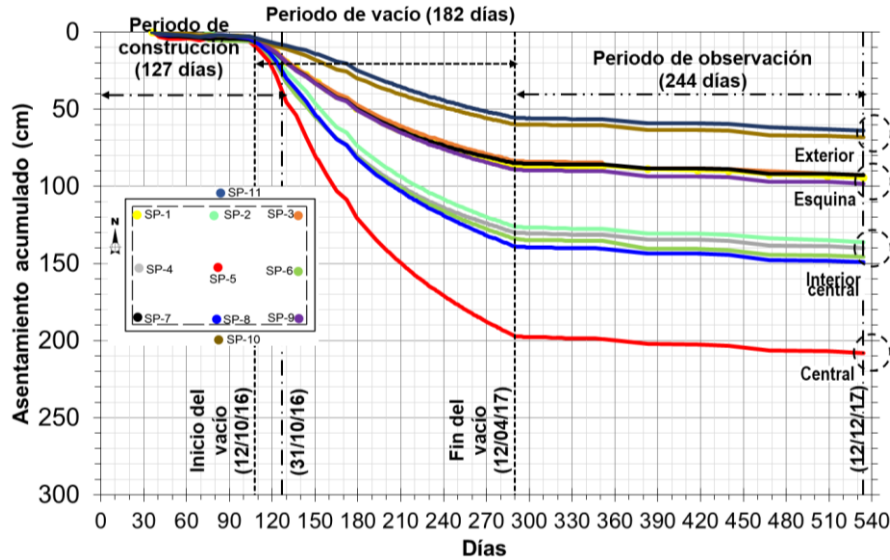
# PERFIL DE ASENTAMIENTOS MEDIDOS EN EL TERRAPLÉN CON DRENES VERTICALES, $H_o = 3.1$ m





## Dren a dren

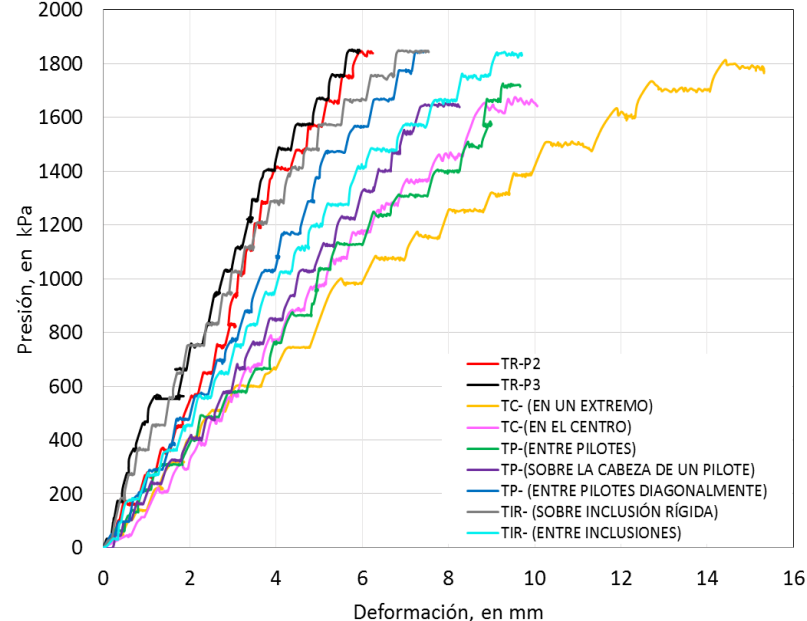
## Membrana hermética





MICRÓMETRO

CURVAS PRESIÓN-DEFORMACIÓN CON LA PLACA DE 52 cm

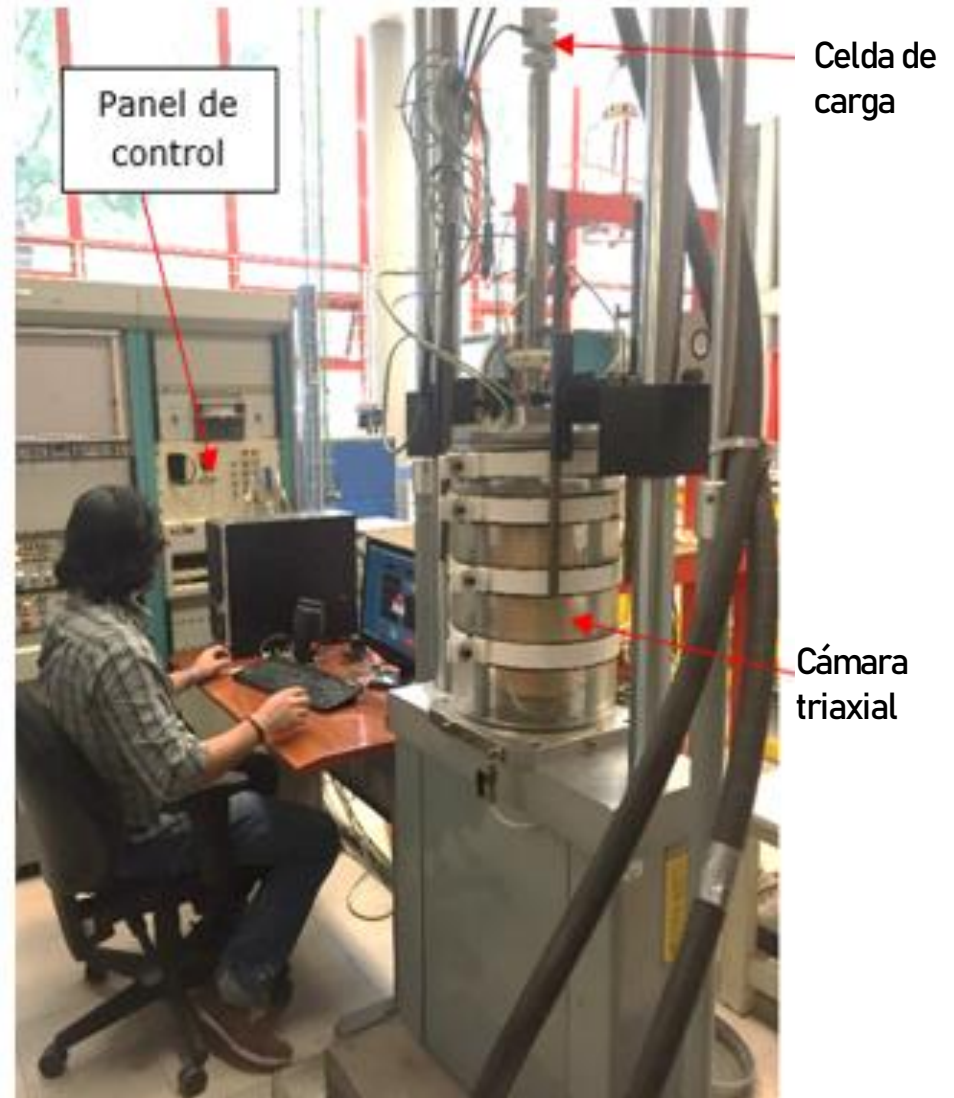
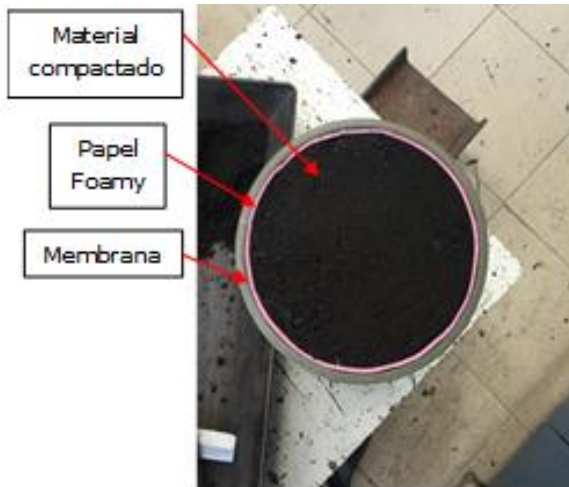


Diámetro de placa (m)	Presión nominal máxima aplicada (kPa)
0.76	800
0.52	1700
0.30	5000

**Presión del tren delantero de nariz del Airbus A380: 1,850 kPa**



# RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN TEZONTLES REPRESENTATIVOS



Ensayo triaxial con muestra de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura



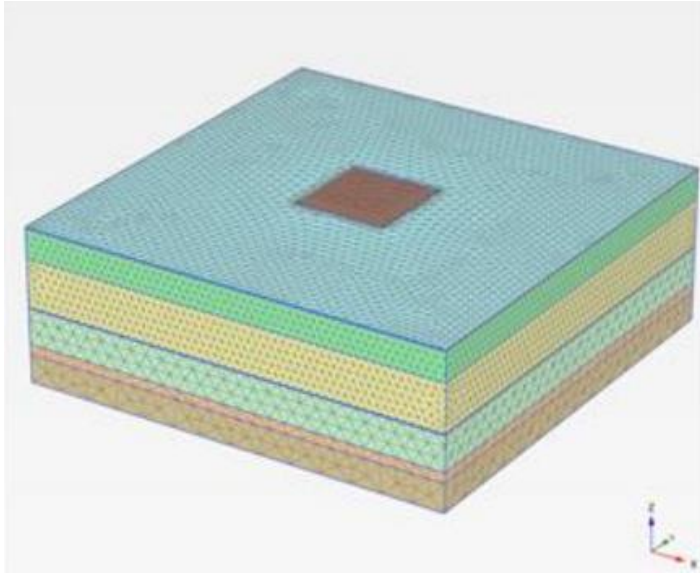
# ENSAYES PARA DETERMINAR EL MÓDULO RESILIENTE EN MUESTRAS DE SUELO ARCILLOSO



Ensayes triaxiales con muestras de 3.6 cm de diámetro y 8.5 cm de altura

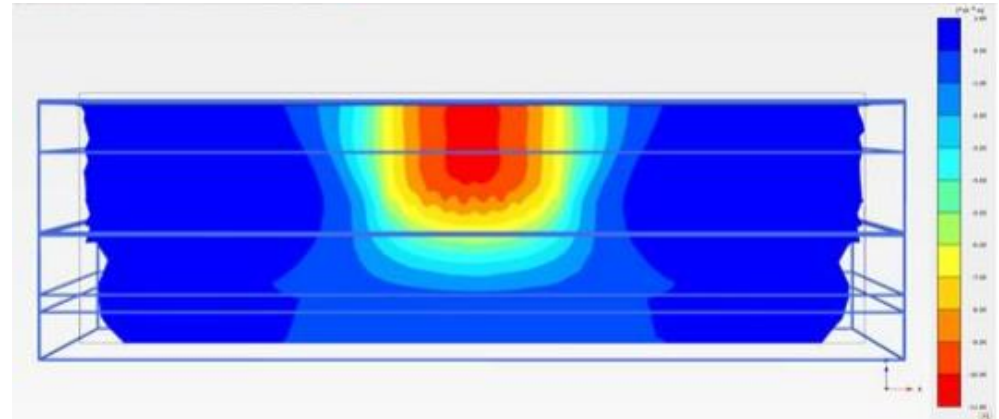
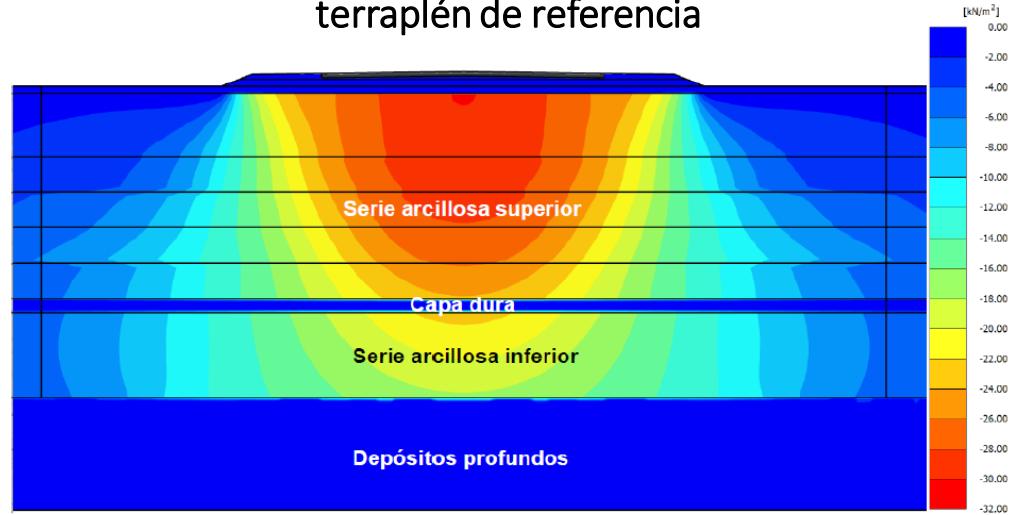


## Malla de elementos usados en modelado



## Deformaciones en terraplenes

## Exceso de presión de poro luego de la construcción, terraplén de referencia

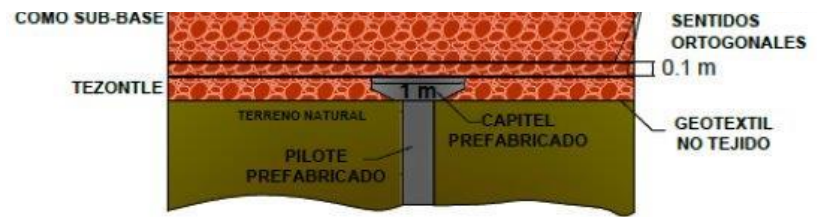
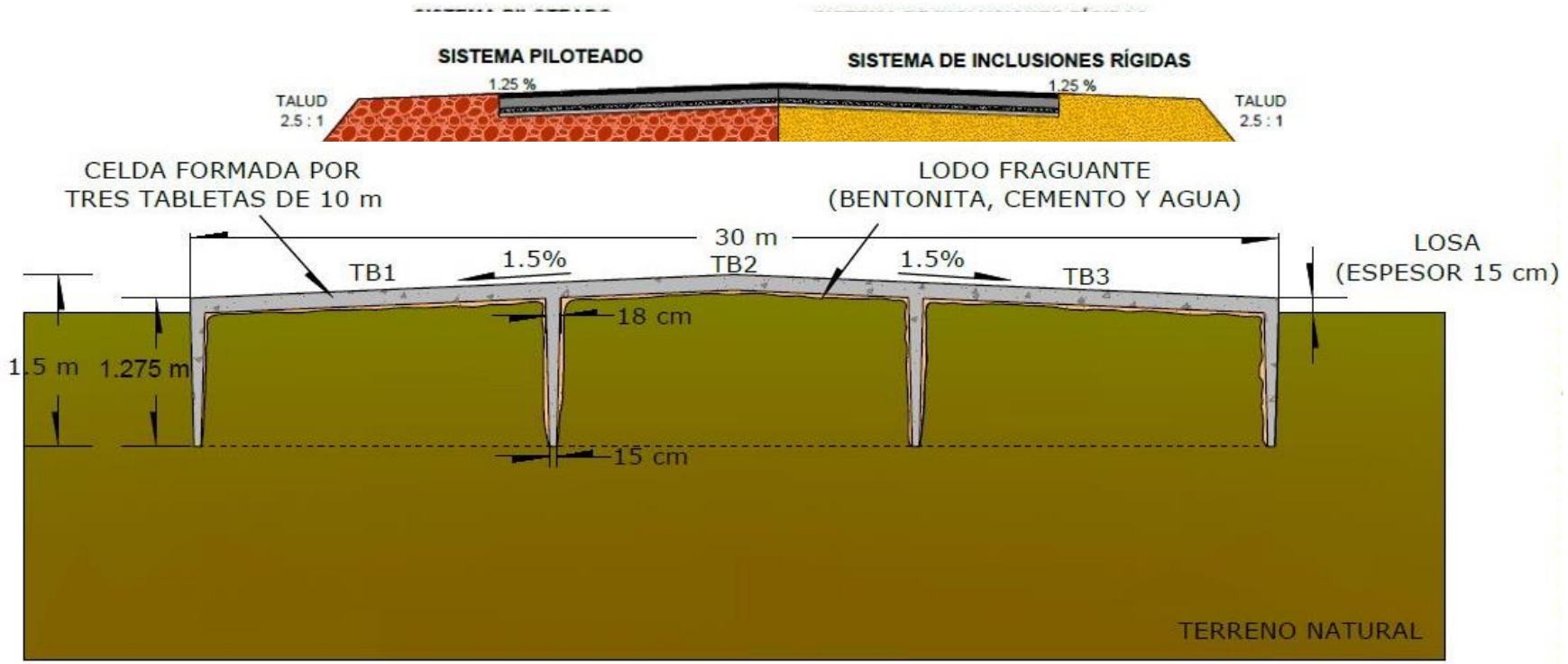






- Desde el estudio de **2002**, se **concluyó que la construcción de un aeropuerto en el lecho del ex Lago de Texcoco era viable**, a pesar de las difíciles condiciones del subsuelo. Demandaría el empleo de técnicas de construcción para adecuarse a tales condiciones del terreno.
- **La ingeniería civil mexicana está aportando sus conocimientos y mejores experiencias para afrontar el reto ingenieril** que representa construir un aeropuerto de clase mundial, en un sitio con grandes desafíos geotécnicos.
- Los tramos de prueba han permitido corroborar las previsiones teóricas, y también ajustar sus soluciones analíticas y numéricas, así como adelantar las dificultades prácticas para su construcción.
- **Es indispensable que las decisiones sobre los procedimientos constructivos transiten por consideraciones estrictamente técnicas.** Los profesionales del diseño, asesoría, supervisión, construcción, gestión y administración tenemos la **responsabilidad compartida** ante la sociedad mexicana, de construir un aeropuerto a la altura de nuestra gran ciudad.

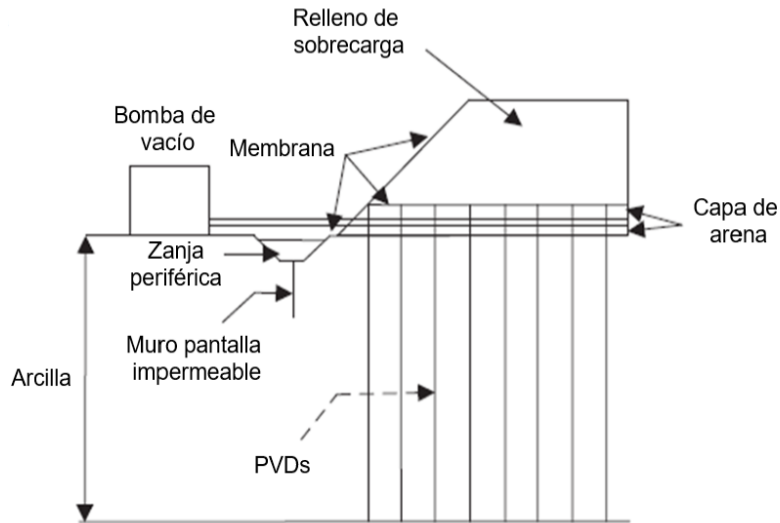




**HIDRAULICA**

CAPA DE SUB-BASE	22-10-14	30-10-14
CAPA DE TEZONTLE	02-09-14	12-09-14

5 m)



Terraplén de prueba



Conexión de dren vertical  
y tubería horizontal



Dren tipo estrella



# COMPARACIÓN GENERAL CUALITATIVA DE LAS DIFERENTES OPCIONES DE LOS TRAMOS DE PRUEBA

Método	Sección compensada	Precarga simple	Precarga con drenes prefabricados	Precarga con drenes de arena	Inclusiones rígidas	Terraplén piloteado	Celdas estructuradas	Solución postensada
Aplicabilidad a lo largo de las pistas	*	*	**	***	**	**	*	**
Economía construcción	**	***	**	**	**	**	**	**
Economía mantenimiento	**	***	**	**	**	**	**	**
Brevidad del plazo de ejecución	**	*	**	**	***	***	**	**
Experiencia en México	***	**	**	**	**	**	*	*
Sencillez para la ejecución	**	***	**	*	**	**	*	**
Respeto medio ambiente	**	*	*	*	**	**	**	**

Mérito: \* bajo; \*\* mediano; \*\*\* alto