
	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 1 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CONSOLIDACIÓN ACELERADA POR VACÍO CON MEMBRANA (MENARD VACUUM) EN UN PANEL DE PRUEBA REALIZADO PARA EL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM - NAIM)

INGENIERÍA DESARROLLADA POR:




1	07-06-2018	Se actualiza información	L. Ju	A. Ci
0	23-05-2018	Para información	L. Ju	A. Ci
Rev.	Fecha	Descripción	Preparó	Vo. Bo.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 2 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


CONTENIDO

1. INTRODUCCION	5
2. REFERENCIAS	8
3. UBICACIÓN DEL SITIO	9
4. DESCRIPCIÓN DEL PANEL DE PRUEBA	10
5. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO INICIAL.....	12
6. PROGRAMA DE CÁLCULO TARAO DESARROLLADO POR MENARD.....	17
6.1. GENERALIDADES DEL PROGRAMA	17
6.2. PROCESO DE CÁLCULO	18
7. RESULTADOS DEL PANEL DE PRUEBA, DEFINICIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO Y PREDICCIÓN DE ASENTAMIENTOS.....	20
8. PROTOCOLO DE APAGADO DE BOMBAS Y DISIPACIÓN CON VÁLVULA CERRADA	32
9. VERIFICACIÓN DEL CAMBIO EN LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA FORMACIÓN ARCILLOSA SUPERIOR (FAS) EN LA ZONA DE PRUEBA ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO	34
9.1. PRUEBAS REALIZADAS EN SITIO ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO POR VACÍO CON MEMBRANA (MENARD VACUUM) Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	35
10. CONCLUSIONES	74
ANEXO A. FOTOGRAFÍAS DEL PANEL DE PRUEBA.....	79
ANEXO B. RESUMEN DE LA INSTRUMENTACIÓN DEL PANEL DE PRUEBA, RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL MONITOREO PARA DEFINIR EL COMPORTAMIENTO	86
B.1 FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO Y OPERACIÓN DEL PANEL DE SISTEMA DE VACÍO CON MEMBRANA	87
B.2 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	92
B.3 MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	96
B.3.1 MONITOREO DE DEPRESIONES.....	96
<i>B.3.1.1 Antes del inicio del Vacío.....</i>	<i>96</i>
<i>B.3.1.2 Al inicio del Vacío.....</i>	<i>96</i>
<i>B.3.1.3 A los tres meses del Vacío.....</i>	<i>97</i>
<i>B.3.1.4 A los seis meses del vacío.....</i>	<i>98</i>
<i>B.3.1.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas</i>	<i>98</i>


MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 3 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.1.6	Apertura de válvulas	98
B.3.1.7	interpretación final.....	98
B.3.2	EXTRACCIÓN DE AGUA.....	101
B.3.2.1	Antes del inicio del Vacío.....	101
B.3.2.2	Al inicio del Vacío	101
B.3.2.3	A los tres meses del Vacío.....	101
B.3.2.4	A los seis meses del vacío.....	102
B.3.2.5	Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas	102
B.3.2.6	Interpretación final	102
B.3.3	PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS PUSH IN.....	106
B.3.3.1	Antes del inicio del Vacío.....	106
B.3.3.2	Al inicio del Vacío	106
B.3.3.3	A los tres meses del Vacío	107
B.3.3.4	A los seis meses del vacío.....	107
B.3.3.5	Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas	108
B.3.3.6	Apertura de válvulas	108
B.3.3.7	Interpretación Final	108
B.3.4	PLACAS DE ASENTAMIENTO.....	110
B.3.4.1	Antes del inicio del Vacío.....	110
B.3.4.2	Al inicio del Vacío	110
B.3.4.3	A los tres meses del Vacío	110
B.3.4.4	A los seis meses del Vacío	111
B.3.4.5	Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas	111
B.3.4.6	Apertura de las válvulas.....	111
B.3.4.7	Interpretación final	112
B.3.5	EXTENSÓMETROS MAGNÉTICOS	117
B.3.5.1	Antes del inicio del Vacío.....	117
B.3.5.2	Al inicio del Vacío	117
B.3.5.3	A los tres meses del Vacío	117
B.3.5.4	A los seis meses del Vacío	117
B.3.5.5	Apagado del sistema de bombas con válvula cerrada	118
B.3.5.6	Apertura de válvulas	118
B.3.5.7	Interpretación final	118
B.3.6	INCLINÓMETROS	123
B.3.6.1	Antes del inicio del Vacío.....	123
B.3.6.2	Al inicio del Vacío	123
B.3.6.3	A los tres meses del Vacío	123
B.3.6.4	A los seis meses del Vacío	123
B.3.6.5	Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas	124
B.3.6.6	Apertura de válvulas	124
B.3.6.7	Interpretación Final	124
B.3.7	POZOS DE OBSERVACIÓN Y PIEZÓMETROS CASAGRANDE	128
B.3.7.1	Antes del inicio del Vacío.....	128

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 4 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

<i>B.3.7.2 Al inicio del Vacío</i>	128
<i>B.3.7.3 A los tres meses del Vacío</i>	129
<i>B.3.7.4 A los seis meses del Vacío</i>	129
<i>B.3.7.5 Apagado de sistema de bombas con válvula cerrada</i>	129
<i>B.3.7.6 Apertura de válvulas</i>	129
<i>B.3.7.7 Interpretación Final</i>	129
B.3.8 CELDAS DE PRESIÓN	133
<i>Se nos solicitó la instalación de dos celdas de presión al Nivel de Terreno Natural, por debajo de todo relleno (plataforma de trabajo y relleno de compensación), en dos zonas diferentes del panel de prueba.</i>	
<i>B.3.8.1 Antes del inicio del Vacío</i>	133
<i>B.3.8.2 Al inicio del Vacío</i>	133
<i>B.3.8.3 A los tres meses del Vacío</i>	133
<i>B.3.8.4 A los seis meses del Vacío</i>	133
<i>B.3.8.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas</i>	133
<i>B.3.8.6 Apertura de válvulas</i>	134
<i>B.3.8.7 Interpretación final</i>	134
B.4 OBTENCIÓN DEL GRADO DE CONSOLIDACIÓN A PARTIR DE LA INSTRUMENTACIÓN	135
ANEXO D. COMPARACIÓN DEL PANEL DE CONSOLIDACIÓN POR VACÍO MENARD VACUUM CON EL PANEL DE BOMBEO AL VACÍO DREN A DREN	
146	
<i>D.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS MEMBRANA Y DREN A DREN</i>	147
<i>D.2 COMPARACIÓN GRÁFICA DE LOS SISTEMAS DE CONSOLIDACIÓN POR VACÍO CON MEMBRANA Y BOMBEO AL VACÍO DREN A DREN</i>	151

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 5 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


1. INTRODUCCION

El proyecto de 'El Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México', ahora llamado "Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM)" será el proyecto de infraestructura más importante realizado en los últimos años en el valle de México. Éste se localiza en la Zona Federal del ex Lago de Texcoco en el Estado de México. Este nuevo aeropuerto reemplazará al actual Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México el cual trabaja hoy día a su máxima capacidad.



Figura 1. "Vista aérea satelital que muestra la ubicación del predio donde se construye el NAICM a las afueras de la Ciudad de México, dentro del Valle de México en Texcoco."

El proyecto del NAIM constará de una nueva terminal que ocupará un espacio de 743,000 m² en un terreno con un total de 4,600 hectáreas. Se construirán 2 pistas de inicio (pistas 2 y 3) para mover a más de 57,000,000 de pasajeros al año, plataformas de embarque y mantenimiento, las calles de MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 6 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

rodaje y accesos. El proyecto se ampliará en un futuro cercano a la construcción de una pista más, para un total de 3 pistas, y más a largo plazo se tendrán un total de 6 pistas y un edificio terminal adicional.


Debido a que se necesita construir terraplenes superficiales para la conformación de las pistas (runways), las calles de rodaje (taxiways) y las plataformas, se esperan grandes asentamientos debido a las condiciones de suelo que existen actualmente en el terreno del ex Lago de Texcoco, de manera que es necesario tomar medidas de mitigación para reducir las deformaciones superficiales y así asegurar la estabilidad y durabilidad de estas instalaciones.

La consolidación acelerada por vacío con membrana mediante el uso del sistema MENARD VACUUM es una solución de mejoramiento de suelos optimizada para las condiciones actuales del sitio y tiene numerosas ventajas con respecto al sistema de consolidación acelerada clásico realizado con un terraplén de precarga, ya que, en comparación con este último, con el sistema MENARD VACUUM se reducen al mínimo los volúmenes de material de precarga superficial, se reducen los tiempos de instalación del sistema de consolidación, y se reducen también, los tiempos de aplicación de precarga necesarios para lograr cierto grado de consolidación del terreno; por otro lado, el riesgo de inestabilidad del terreno se ve disminuido también ya que los esfuerzos que se generan en la masa de suelo son isotrópicos y en la dirección contraria a los desplazamientos que generan fallas. Por sus condiciones, el terraplén bajo el cual se instala el sistema de vacío, puede ser una plataforma para circulación de equipos de construcción, por lo que las zonas donde se aplica la técnica MENARD VACUUM, siempre podrán formar parte de caminos de acceso, oficinas, etc., que se necesiten habilitar para construir el gran aeropuerto.

El sistema de consolidación MENARD VACUUM utiliza, como precarga para el terreno, la propia presión atmosférica existente en el sitio gracias al uso de un sistema de bombas de vacío que crean un vacío en todo el suelo, aumentando directamente el esfuerzo efectivo del suelo al disminuir la presión de poro intersticial de las arcillas impermeables. El sistema utiliza una membrana impermeable y las llamadas zanjas de estanqueidad que aíslan el suelo de la atmósfera.

Una red de Drenos Verticales Prefabricados (DVP o PVD) se utiliza para aumentar la velocidad de consolidación del suelo y otra más de drenes horizontales que se conectan a las bombas de vacío, completan el sistema.

En esta nota se describen las actividades de exploración geotécnica realizadas antes y después del tratamiento, el proceso constructivo llevado
 MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 7 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

a cabo para el panel y la aplicación del vacío, el análisis de los parámetros del suelo y el cálculo preliminar de asentamientos esperados la aplicación del sistema Vacuum. Así mismo, se describe el comportamiento del suelo según las mediciones realizadas antes, durante y después del tratamiento, para finalmente dar la interpretación de los parámetros medidos que permiten definir la eficiencia del sistema.

El proyecto de referencia se denomina: "ESTUDIO DE PRUEBA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON TECNOLOGÍA AL VACÍO CON MEMBRANA EN EL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM)"

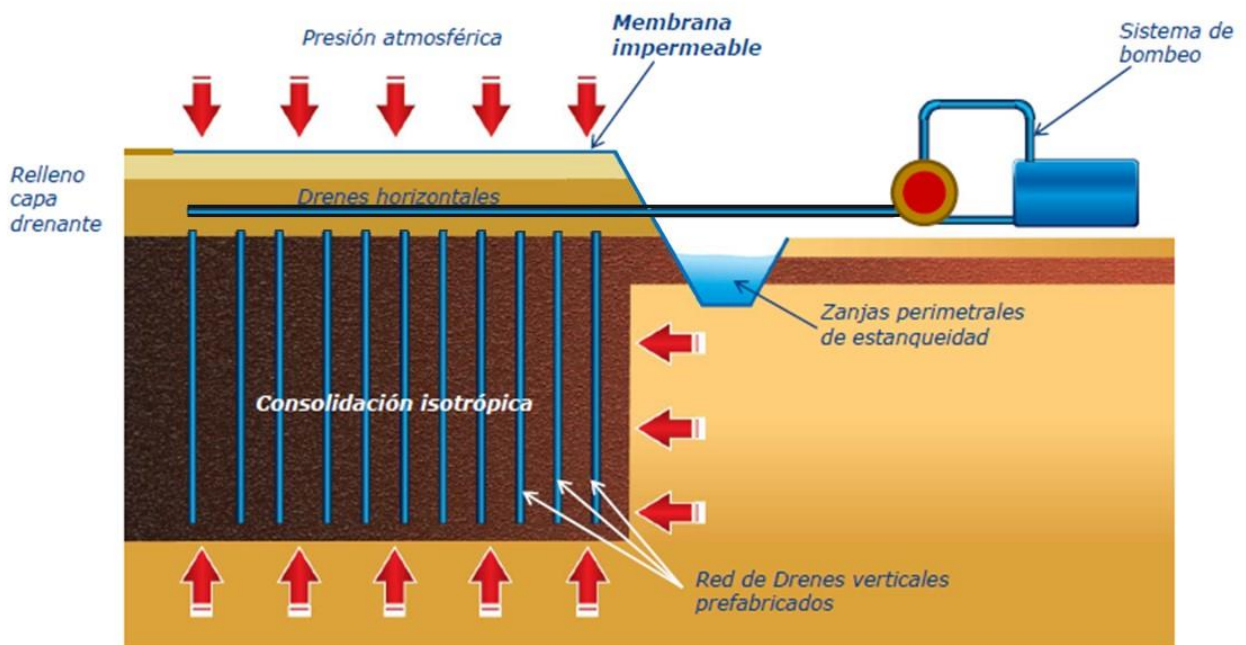




Figura 2. "Representación esquemática del sistema de consolidación por vacío con membrana - Menard Vacuum-"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 8 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

2. REFERENCIAS

- 2.1 Documentos de la Licitación pública internacional bajo la cobertura de tratados no. LO-009KDH999-E11-2017 titulada "ESTUDIO DE PRUEBA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON TECNOLOGÍA AL VACÍO CON MEMBRANA EN EL NUEVO AEROPUERTO INTERCACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM)", SCT, GACM, enero 2017.
- 2.2 "REVISIÓN Y EVALUACIÓN EN GEOTECNIA Y ESTRUCTURAS" PARA "RESOLVER LA PROBLEMÁTICA DEL TRANSPORTE AÉREO EN EL CENTRO DEL PAÍS". Convenio de Colaboración No. ASA-UNAM-13-002. NOTA TÉCNICA No. GE-2., "Propuesta de Términos de Referencia para la definición y diseño de tramos de prueba y de pruebas de carga.", Elaborada para Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)., Instituto de Ingeniería, UNAM - Geotecnia., Ciudad Universitaria, D.F., 28 de Octubre de 2013.
- 2.3 ANEXO A-3. 'NOTA TÉCNICA No. GE-2, "Solución a base de precarga con drenes verticales.", Elaborada para Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)., Instituto de Ingeniería, UNAM - Geotecnia., Ciudad Universitaria, D.F., 28 de Octubre de 2013.
- 2.4 "Fundamentos de la Mecánica de Suelos", Juárez Badillo-Rico Rodríguez, Limusa, México, D.F., 2004.
- 2.5 Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones., Gaceta Oficial del Distrito Federal., Octubre 2004.
- 2.6 Reporte Menard., MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC01., "ESTUDIO PRELIMINAR DE ASENTAMIENTOS PARA EL PANEL DE PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN ACELERADA POR VACÍO CON MEMBRANA (MENARD VACUUM) PARA EL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM), elaborado para el GACM.", rev 0., 01-09-2017
- 2.7 Reporte Menard., "MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC02., RESULTADOS OBTENIDOS A LOS 3 MESES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CONSOLIDACIÓN ACELERADA POR VACÍO CON MEMBRANA (MENARD VACUUM) EN UN PANEL DE PRUEBA REALIZADO PARA EL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM)." rev 0., 19-01-2017
- 2.8 Reporte final de la segunda campaña de exploración geotécnica.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 9 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

3. UBICACIÓN DEL SITIO

En la figura siguiente se muestra una vista aérea de una zona del predio del ex Lago de Texcoco donde se construye el Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM), justo en la ubicación del panel previsto.

El panel de prueba de consolidación acelerada por vacío con membrana se ubica en una zona estratégica al sur de la zona donde se ubicaron los paneles de prueba de técnicas de mejoramiento de suelo para las pistas (al sur de la pista 3), y a un costado del panel de prueba de bombeo dren a dren.

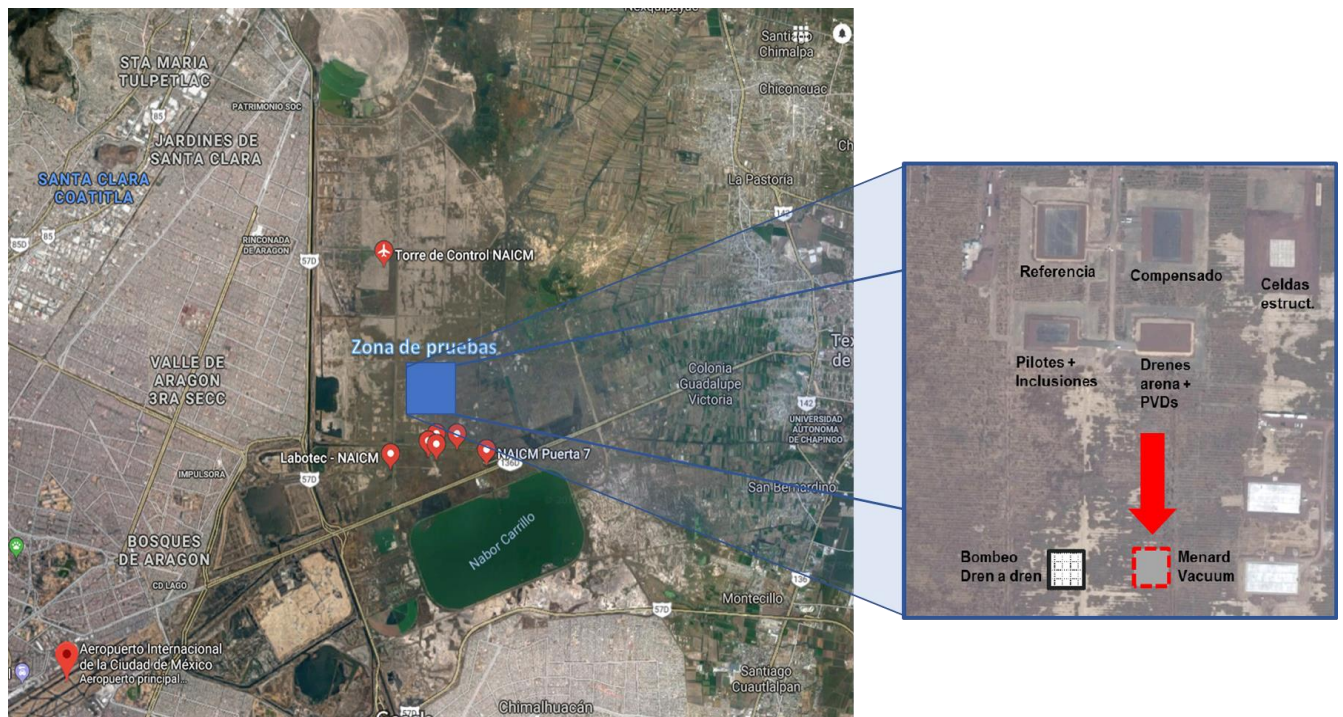



Figura 3. "Ubicación del panel de prueba de consolidación por vacío Menard Vacuum, al sur del predio en donde se construye el NACIM"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 10 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

4. DESCRIPCIÓN DEL PANEL DE PRUEBA


El panel de prueba consistió en un terraplén de tezontle de 50 x 70 m de 2.0 m de altura total final. Este terraplén se construyó en dos etapas, en cada una de las cuales se instaló 1.0 m de espesor de tezontle.

Para generar la precarga de vacío en el terreno arcilloso que provocó la disipación de las presiones intersticiales aumentando el esfuerzo efectivo del suelo (consolidación), se previó la instalación de una malla regular en arreglo triangular (1.2 m x 1.2 m) de Drenes Verticales Prefabricados (DVP) que atraviesan la arcilla hasta los 27.0 m de profundidad. Una serie de drenes horizontales, instalados dentro de la primera capa del terraplén, fueron los encargados de llevar las presiones negativas (depresiones) a la masa de suelo, ya que estaban conectados directamente a dos bombas de vacío que fueron instaladas en los extremos norte y sur del panel. Una zanja de estanqueidad que recorre el perímetro del panel y una membrana impermeable que se 'ancló' en esta zanja y que recubre toda la superficie, sirvieron para aislar la superficie del panel y aplicar la depresión de vacío a todo el suelo de manera uniforme. No existe conexión mecánica entre los drenes horizontales y los verticales, condición que facilita la instalación de los sistemas de drenes. Finalmente, se colocó una capa de tezontle sobre la membrana con el fin de compensar el nivel del asentamiento.

Esta última capa forma una plataforma drenada y estable capaz de permitir el flujo de maquinaria y equipos de construcción, así como el paso de personal para el monitoreo del sistema durante el periodo de tratamiento.



Figura 4. "Vista aérea de la zona del panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - La imagen fue tomada antes de la colocación del relleno de compensación final, por lo que es posible observar la membrana impermeable y la zanja de estanqueidad perimetral al panel de 50 x 70 m. El norte está a la izquierda de la foto."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 12 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

5. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO INICIAL

Se realizaron un conjunto de sondeos y pruebas de laboratorio de muestras extraídas en el sitio de construcción del panel, previo al tratamiento, con el fin de obtener una caracterización geotécnica del sitio y las propiedades mecánicas iniciales de cada una de las unidades geotécnicas del terreno.

La estratigrafía obtenida fue la típica del Valle de México. Numerosas pruebas de laboratorio fueron realizadas para obtener las propiedades mecánicas (deformación y resistencia) de los diferentes estratos de suelo. Por medio de correlaciones de los cálculos analíticos de asentamientos con la historia de cargas, deformaciones y asentamientos que se registraron con la instrumentación geotécnica durante de los 3 primeros meses de prueba, se pudo definir un modelo geotécnico, con el cual se hizo una previsión del asentamiento a los 6 meses de aplicación del vacío.

En la Tabla 1 de la página siguiente se muestra el modelo geotécnico definido para el suelo de la zona de pruebas.

En dicha tabla se muestran las propiedades iniciales de la Formación Arcillosa Superior, que es la capa en la cual se llevó a cabo el proceso de consolidación por medio de la aplicación del vacío. Es en este estrato en donde se colocó la mayor parte de la instrumentación. La costra Superficial (CS) y la Capa Dura (CD), participan poco en el asentamiento generado por la consolidación; sin embargo, la Serie Arcillosa Inferior (SAI) que se encuentra por debajo de la capa dura, tendrá una pequeña participación en el asentamiento total a largo plazo debido a la influencia de la carga del terraplén colocado en superficie.

Como puede observarse, la Serie Arcillosa Superior (SAS) se ha subdividido en 7 sub-estratos con el fin de precisar los resultados obtenidos del análisis teórico, según las muestras obtenidas en campo.

Esta Serie Arcillosa Superior está intercalada con pequeños lentes de limo, arena y arena limosa, los cuales no se incluyen en el cálculo de asentamientos por tratarse de espesores relativamente pequeños y de condiciones de consolidación también limitados.


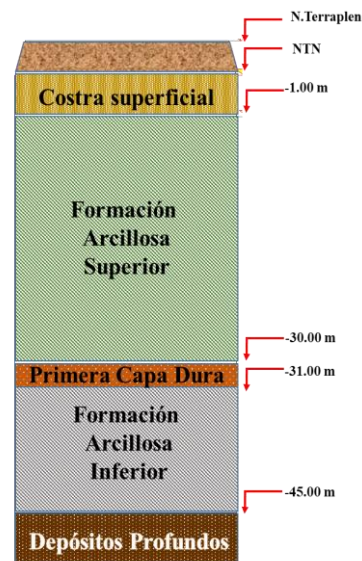

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS											MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México											Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México										Page 13 of	152

Tabla 1; "Caracterización geotécnica y propiedades"

Designación	Unid.	Prof		H m	Prof. med m	w %	γ kN/m ³	Eoed MPa	e0	CD	CC	OCR	k	Cv	Ch	
		m											máx	máx	máx	
		de	a										m/año	m ² /año	m ² /año	
Costra Superficial	CS	0	-1	1	0.5	-	14.50	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Serie Arcillosa Superior	SAS1	-1	-5	4	3	165	13.66	0.94	3.28	0.106	0.983	1.6	7.4E-03	7.0E-01	2.09	
	SAS2	-5	-8	3	6.5	300	12.66	0.15	10.54	1.027	12.756	1.2	2.0E-02	2.9E-01	0.87	
	SAS3	-8	-11	3	9.5	250	11.20	0.44	12.84	0.54	7.668	1	1.5E-02	6.8E-01	2.03	
	SAS4	-11	-16	5	13.5	230	12.16	0.41	6.22	0.122	4.575	1	6.3E-03	2.6E-01	0.77	
	SAS5	-16	-20	4	18	200	12.25	1.54	8.65	0.981	5.686	1	2.4E-03	3.8E-01	1.13	
	SAS6	-20	-27	7	23.5	225	12.17	1.44	7.74	0.549	4.357	1.3	5.6E-03	8.1E-01	2.44	
	SAS7	-27	-30	3	28.5	230	12.00	1.23	8.45	0.437	5.841	1.3	3.4E-03	4.2E-01	1.26	
Primera Capa Dura	C.D	-30	-32	2	31	-	19.00	30	-	-	-	-	-	-	-	

Las profundidades son siempre referidas al Nivel de Terreno Natural (N.T.N.). El Nivel de Aguas Freáticas (N.A.F.) se ubica entre 0.8 m y 1.2 m de profundidad, dependiendo de la época del año.



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 14 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Con el fin de corroborar la influencia de estas intercalaciones de material granular en la aplicabilidad del sistema de vacío, se llevaron a cabo pruebas para el cálculo del coeficiente de permeabilidad, kh . El intervalo de valores obtenidos, (10^{-9} m/s < kh < 10^{-7} m/s) corresponde a materiales poco permeables, por lo cual se comprobó que estos lentes de arena no representaban un problema de 'fugas de vacío' que impidieran alcanzar las depresiones necesarias en la masa de suelo del tramo de prueba.


Resulta importante resaltar que se tuvo una variabilidad importante en los resultados de laboratorio de algunos parámetros que participan en el cálculo de los asentamientos, (ver anexo) como son:

- Coeficiente de consolidación vertical, C_v → Permeabilidad, k_v
- Relación de vacíos inicial, e_0
- Índice de compresibilidad, C_c
- Índice de descarga, C_D

Como se ha mencionado, con la estricta medición de los asentamientos, depresiones reales bajo la membrana y 'calas' o muestras de pesos volumétricos del terraplén para conocer los pesos de éste, durante el proceso constructivo y los primeros tres meses de tratamiento, se han inferido las propiedades que mejor se ajustan a los asentamientos, de modo que se ha podido definir el modelo geotécnico presentado. Con este modelo se estimaron los asentamientos que ocurrirían en la superficie para el final de la prueba, tras 6 meses de aplicación del vacío uniforme bajo la membrana. También se extrapolaron los resultados a los 10 meses. (Ver referencia 2.7)

En los anexos de este documento se muestran las gráficas de valores obtenidos para los parámetros antes descritos y los resultados gráficos del monitoreo de la zona de tratamiento, así mismo se presenta la comparación de las características del suelo antes y después del tratamiento.


Otro punto importante a resaltar es que, a partir de las curvas de consolidación y compresibilidad obtenidas en laboratorio que corresponden a la campaña inicial, se han encontrado valores de presiones de consolidación que son superiores al estado natural de esfuerzos efectivos del suelo, lo que da un indicio de que el terreno se encontraba pre-consolidado. La relación entre la carga de preconsolidación y los esfuerzos efectivos actuales, mejor conocido como OCR por sus siglas en inglés (Over Consolidated Ratio), nos permite tener un panorama general de la historia de cargas del suelo. Obsérvese los valores $OCR > 1$ de la tabla. Con base en estos, se puede inferir que el suelo de las sub-capas SAS1, SAS2 superficiales ya había sido precargado de alguna manera. Por otro lado, las sub-capas SAS6 y SAS7, que están en la frontera con la Capa Dura, podrían

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 15 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

tener una influencia del abatimiento de las presiones de poro que sufre la Serie Arcillosa Inferior debidos al bombeo profundo del Valle de México.

En la figura siguiente se muestran los estados de esfuerzo totales, presiones hidrostáticas, presiones de poro reales medidas en los piezómetros, esfuerzos efectivos y cargas de pre-consolidación, según los resultados de laboratorio de la campaña inicial.

También se muestran curvas de carga $\Delta\sigma$ producidas por la sobrecarga superficial (instalación de los 2.0 m de terraplén de tezontle, con 13.7 kN/m³ y la carga debida al vacío estimada en un promedio, ya para toda la prueba, en 60 kPa).

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 16 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

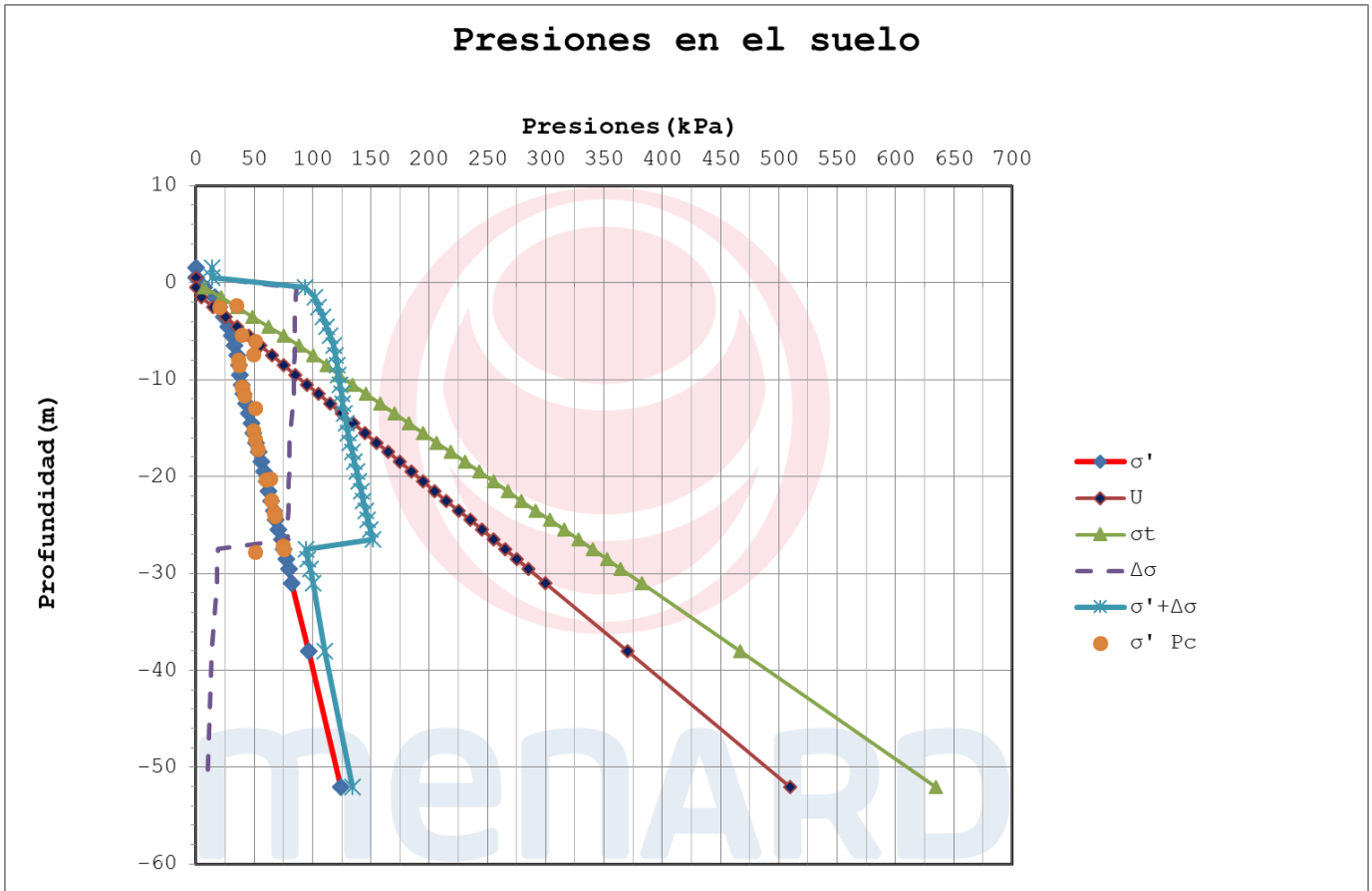



Figura 5. "Diagramas de esfuerzos en el suelo"

σ_t - Esfuerzos totales
 U - Presiones de poro
 σ' - Esfuerzos efectivos

$\Delta\sigma$ - Incremento de esfuerzos debido al vacío y la sobrecarga superficial
 σ'_{Pc} - Esfuerzos de pre-consolidación

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 17 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

6. PROGRAMA DE CÁLCULO TARAO DESARROLLADO POR MENARD

6.1. GENERALIDADES DEL PROGRAMA


El programa TARAO ha sido desarrollado por el grupo MENARD desde finales de la década de los 90's. El programa surge de la necesidad de estimar los asentamientos y grados de consolidación que ocurren en terrenos cohesivos compresibles que son tratados con mallas de drenes prefabricados y a los cuales se les impone una precarga mediante la instalación de un terraplén hecho de material pesado.

El programa ha evolucionado desde entonces y, hoy día, a partir de las propiedades del suelo, una estratigrafía definida, y el mejoramiento de suelo con drenes, el programa TARAO es capaz de predecir los asentamientos verticales así como el grado de consolidación U(%) de materiales arcillosos estratificados, tal como ocurren en el tiempo y en distintas fases constructivas definidas por la colocación de cargas superficiales mediante la instalación de terraplenes de precarga y/o directamente aplicación de cargas de VACÍO.

El programa toma en cuenta:

1. Las fases del proceso de instalación / desinstalación de los terraplenes de precarga (ramas virgen y de descarga -swelling- en las curvas de compresibilidad) y/o vacío.
2. Tiempos o duración de las cargas por fase
3. Los esfuerzos de pre-consolidación del terreno
4. La pérdida de carga vertical que ocurre cuando los asentamientos provocan la sumersión del terraplén bajo el N.A.F.
5. Consolidación secundaria (opcional)
6. Incremento de la resistencia al cortante del suelo (opcional)
7. Factores de calibración para ajustar modelos a la realidad.

El programa también es capaz de hacer el cálculo de asentamientos objetivos (target) y crear archivos de texto compatibles para programas comerciales de cálculo de estabilidad de taludes (Talren)

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 18 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

6.2. PROCESO DE CÁLCULO

El programa TARAo calcula iterativamente los asentamientos ocurridos en cada fase de proceso constructivo, i , y para cada estrato o sub-estrato definido siguiendo los siguientes pasos generales:

- A. Cálculo del incremento de esfuerzo aplicado $\Delta\sigma_i$
- B. Cálculo del incremento de asentamiento Δh_i del estrato considerado
- C. Determinación de la relación de vacíos nueva, e_i
- D. Determinación del esfuerzo efectivo final, σ'_i

El cálculo de los grados de consolidación se hace a partir de la definición siguiente: $(1-U) = (1-U_v) \times (1-U_r)$, tomando en cuenta la consolidación radial debida a la malla de drenes verticales instalado en el sitio más la consolidación vertical, como un problema tridimensional (Carrillo, 1942)

La definición de la Consolidación radial se obtiene mediante la formulación ya conocida:

$$U_r = 1 - e^{\left(\frac{-8C_r t}{D^2 F(n)}\right)}$$

Donde,

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot \ln(n) - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} + (R_s - 1) \cdot \ln\left(\frac{d_s}{d_m}\right) + \pi \cdot z \cdot (L - z) \cdot \frac{k_h}{q_w}$$


$$n = D/d$$

D = diámetro de 'drenaje', que es calculado a partir de un arreglo de drenes cuadrada o triangular,

d_s = diámetro de la zona remoldeada.


d_m = diámetro equivalente del mandril de instalación del dren.

C_r = Coeficiente de consolidación radial

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 19 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Para el cálculo y la predicción de los asentamientos con TARAo en esta ocasión se tomó en cuenta:

- a) Los coeficientes de consolidación vertical, C_v , y los valores de C_c , y e_0 obtenidos de las curvas de compresibilidad de laboratorio que mejor se ajustaron a los resultados medidos de los primeros tres meses de asentamientos modelo geotécnico),
- b) Coeficientes consolidación radiales, C_r , equivalentes a 3 veces los coeficientes de consolidación vertical, C_v . Es decir, $C_r = 3 C_v$
- c) El efecto del remoldeo de la arcilla circundante al dren debida al paso del mandril de instalación, el cual resultó ser relativamente pequeño: $d_s/d_m = 2.5$


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 20 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

7. RESULTADOS DEL PANEL DE PRUEBA, DEFINICIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO Y PREDICCIÓN DE ASENTAMIENTOS

En la figura siguiente se muestra la historia de asentamientos registrados durante la prueba en la placa central. Se muestran las mediciones antes durante y después de la aplicación del vacío. Se puede observar una etapa especial en donde el vacío generado bajo la membrana se mantuvo aún después del apagado de las bombas.




Figura 6. "Resultados de asentamientos de la placa de asentamiento central (PA05) en el panel de prueba de consolidación por vacío con membrana MENARD VACUUM"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 21 of	152


La tabla siguiente muestra las fases relevantes de la prueba que son utilizadas en el cálculo de asentamientos, las cargas superficiales aplicadas a través del terraplén y a las cargas aplicadas por las bombas de vacío, que corresponden a lo que se hizo durante la ejecución de la prueba.

Tabla 2; "Descripción fases de carga, construcción del terraplén y aplicación de carga de vacío en el panel de prueba."

Fase No.	Evento		Fecha inicio (DD/MM/AA)	Fecha fin (DD/MM/AA)	Tiempo de fase / Duración total (días)	Carga por relleno superficial	Depresión medida bajo la membrana (kPa)
1a	Colocación de plataforma de trabajo para instrumentación	50 cm de tezontle ($\gamma=13.70 \text{ kN/m}^3$ medido en cala)	04/07/2017	18/07/2017			
1b	Colocación de plataforma de trabajo para drenes e instalación de Drenes Verticales Prefabricados (DVP) en malla triangular de 1.20 x 1.20 m hasta 27 m de profundidad. Instalación de sistema de vacío con membrana (Menard Vacuum)	50 cm de tezontle ($\gamma=13.70 \text{ kN/m}^3$ medido en cala)	18/07/2017	07/09/2017	65 / 65	H = 1.0 m 13.70 kPa	-
2	Inicio de aplicación vacío (encendido de bombas)	78 kPa medidos en bomba	07/09/2017	01/10/2017	25 / 90	H = 1.0 m 13.70 kPa	-70
3	Instalación de relleno de compensación de arena de Tezontle (Continúa aplicación de vacío)	30 cm de arena de tezontle ($\gamma=19.00 \text{ kN/m}^3$ medido en cala)	02/10/2017	05/10/2017	4 / 94	H = 1.0 m + 0.30 m 14.92 kPa	-68


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 22 of	152

Fase No.	Evento		Fecha inicio (DD/MM/AA)	Fecha fin (DD/MM/AA)	Tiempo de fase / Duración total (días)	Carga por relleno superficial	Depresión medida bajo la membrana (kPa)
4	Instalación de relleno de compensación de grava de Tezontle (Continúa aplicación de vacío)	70 cm de arena de tezontle ($\gamma=11.00 \text{ kN/m}^3$ medido en cala)	06/10/2017	31/10/2017	25 / 119	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	-67
5	Continúa aplicación de vacío	Se cumplen 12 semanas de aplicación ininterrumpida de vacío (2.76 meses)	01/11/2017	30/11/2017	30 / 149	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	-65
Se alcanzan 2.10 m de asentamiento en 3.0 meses de aplicación ininterrumpida del vacío (67 kPa aprox.)							
6	Continúa aplicación de vacío	Hasta 6 meses de aplicación ininterrumpida de vacío	01/12/2017	07/03/2018	97 / 246	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	-62.9 (promedio)
7	Se apaga el sistema de vacío y se mantienen las válvulas cerradas	Se monitorea el comportamiento del sistema durante dos semanas	07/03/2018	22/03/2018	15 / 261	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	De -62.9 a -35

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 23 of	152

Se alcanzan 2.90 m de asentamiento en 6.0 meses de aplicación ininterrumpida del vacío (63 kPa promedio)

8	Apertura de las válvulas	Se monitorea el comportamiento del sistema al momento de la apertura de válvulas	22/03/2018	22/03/2018	1 / 262	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	De -35 a 0
9	Monitoreo después del tratamiento	Se monitorea la recuperación piezométrica y el rebote elástico del suelo después de la sobrecarga	22/03/2018	09/05/2018	47 / 309	H = 1.0 m + 0.30 m + 0.70 m 13.55 kPa	0

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 24 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


Con base en las fases de construcción, cargas aplicadas, asentamientos generados y el modelo geotécnico calibrado, se realizó el cálculo de asentamientos con el programa TARAO, el cual se muestra a continuación:

LOAD PARAMETERS		Initial fill thickness above GWT :		Initial fill thickness below GWT :		Fill parameters :		Density (KN/m³):	Cohesion (KPa):	Friction angle (°):
			2.00		0.00			13.70	0	30
Parameter	unit		Step1	Step2	Step3	Step4	Step5	Step6	Step7	Step8
Fill density	KN/m ³	γ_t	13.70	13.70	14.92	13.55	13.55	13.55	13.55	
Fill height above GWT (incl. exist. fill, begining of step, no settlement considered)	m		1.00	1.00	1.15	1.50	2.00	2.00	2.00	
Maintain elevation (yes=1, no = 0) ?			0	0	0	0	0	0	0	
Fill height above GWT (incl. exist. fill, end of step)	m	H_t	0.82	0.23	0.28	0.08	0.02	-1.23	-1.19	
Fill thickness below GWT (incl. settl, end of step)			0.18	0.77	0.87	1.42	1.98	3.23	3.19	
Fill settlement (end step)	m	W_t	0.18	0.77	0.87	1.42	1.98	3.23	3.19	
Fill width and length	mxm	(Lxl)	50x70	50x70	50x70	50x70	50x70	50x70	50x70	
Vacuum pressure	KPa	V	0	70	68	67	65	60	0	
Coefficient of Vacuum		α_v	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Duration of loading	days		65	25	4	25	30	96	30	
Time at beginning of step	days		0	65	90	94	119	149	245	
Date at beginning of step			04/07/2017	07/09/2017	02/10/2017	06/10/2017	31/10/2017	30/11/2017	06/03/2018	
Fill elevation from GWT (begining step)	m		1.00	1.00	1.15	1.50	2.00	2.00	2.00	
Fill elevation from GWT (end step)	m		0.82	0.23	0.28	0.08	0.02	-1.23	-1.19	

INITIAL SOIL PARAMETERS			CS	SAS1	SAS2	SAS3	SAS4	SAS5	SAS6	SAS7
Layer	unit		1	2	3	4	5	6	7	8
Thickness	m	H	1.00	4.00	3.00	3.00	5.00	4.00	7.00	3.00
Void ratio		e_o	0.01	3.28	10.54	12.84	6.22	8.65	7.74	8.45
Primary consolidation		C_c	0.01	0.98	12.76	7.67	4.58	5.69	4.36	5.84
Secondary consolidation		$C_{\alpha e}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Density	KN/m ³	γ_s	25.0	13.7	11.4	11.2	12.2	12.3	12.2	12.0
Cohesion	KPa	C								
Cohesion increase		$\Delta C_v / \Delta \sigma'$								
Internal friction angle	°	ϕ								
Effective stress	KPa	σ'_o	7.50	22.32	31.79	35.73	42.93	52.83	64.93	75.52
Influence factor of surcharge	%	I	100	95	93	91	84	76	72	68
Calibration coefficient		β	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 7. "Carátula de salida del programa TARAO, desarrollado por MENARD."

En la figura siguiente se muestra la gráfica de asentamientos previstos de acuerdo con el ajuste del modelo geotécnico estimado por medio de la instrumentación.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 25 of	152

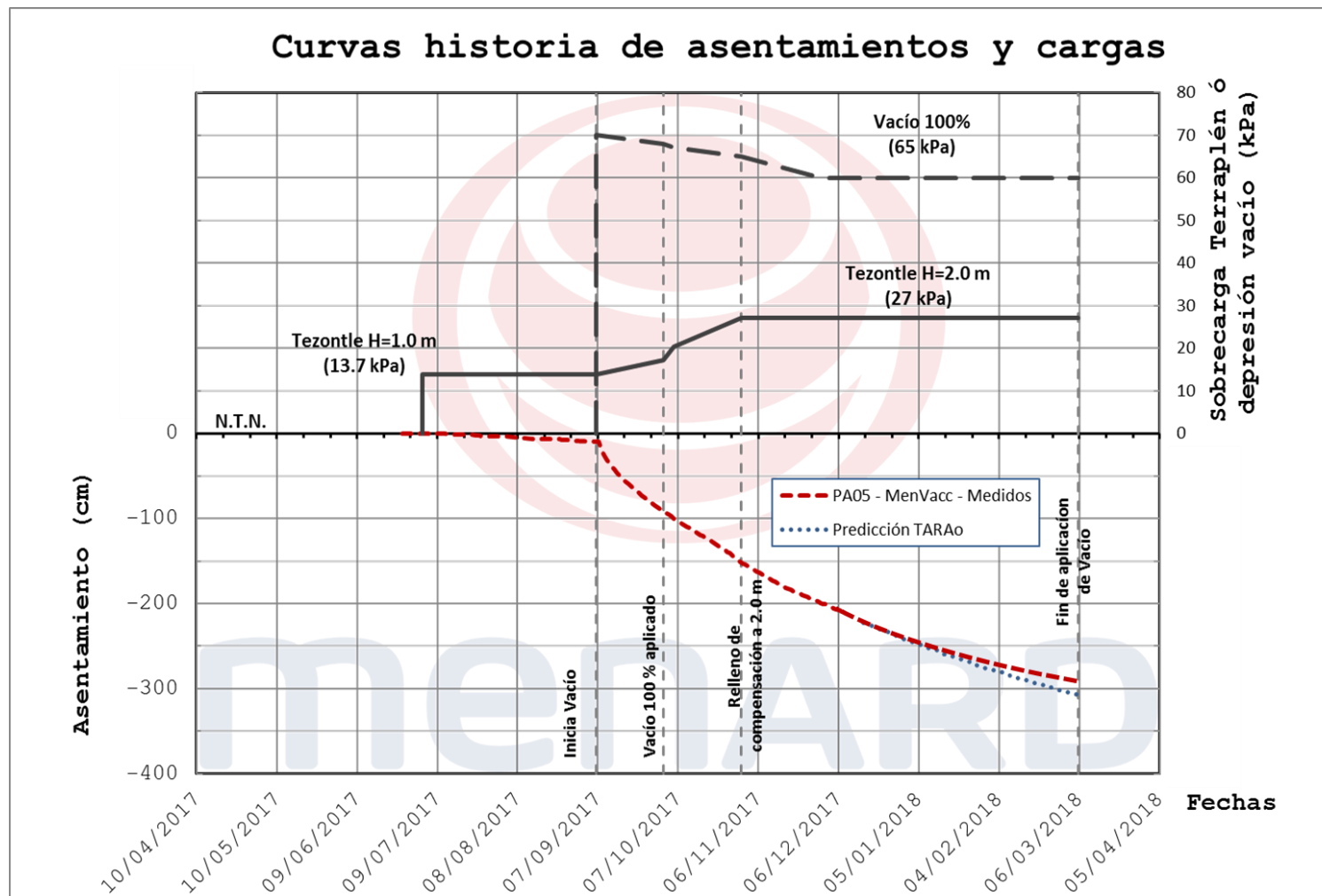



Figura 8. "Curvas del historial de asentamientos medidos en placa central (PA05) y calculados como predicción con el programa TARAO. Se muestran las fases de construcción de terraplén y las cargas de vacío aplicadas"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 26 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Con base en la información disponible y el modelo geotécnico adoptado, el asentamiento estimado al centro del panel de prueba a los 6 meses de aplicación del vacío fue de alrededor de 3.0 m. Este valor de asentamiento estimado fue condicionado a que la carga de vacío se mantuviera en al menos 60 kPa en los seis meses que duraran las bombas de vacío encendidas.

Como referencia, el asentamiento real registrado al centro del panel fue de 2.946 m, durante el tiempo que el vacío actuó en el panel, con cargas de vacío medidas mayores a los 60 kPa (promedio 62.9 kPa).

Teniendo el modelo geotécnico definido, también fue posible extrapolar los asentamientos máximos esperados y los grados de consolidación asociados a los tiempos de aplicación de cargas si la presión de vacío continuara aplicándose dos años y medio más.

En la tabla siguiente se muestran los cálculos de asentamientos para diferentes tiempos de aplicación de las cargas de vacío, así como los grados de consolidación y las cargas de pre-consolidación asociadas que se logran en el terreno.

Como puede observarse en los resultados mostrados al finalizar la prueba, el suelo se precarga con el peso de un terraplén ligero de 27 kPa, y una proporción de la presión atmosférica de hasta 70 kPa, por lo que se pudo preparar al terreno, en tan solo 6 meses, para soportar cargas de **55 kPa**.

Si se estima que una estructura de pavimento descargue al terreno alrededor de 35 kPa, con la aplicación del vacío con la técnica de membrana se pueden tener precargas de más del 50 % de las cargas de servicio, por lo que se asegura la estabilidad del terraplén a largo plazo y asentamientos residuales mínimos y provocados por el asentamiento regional.



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 27 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla 3; "Asentamientos, grados de consolidación y precarga generada en el terreno en diferentes etapas de la prueba de consolidación acelerada por vacío con membrana (Menard-Vacuum)."

Etapa	Tiempo	Carga de vacío aplicada promedio (kPa)	Asentamiento (cm)	U (%)	Precarga generada (kPa)
A	Inicio de aplicación vacío (encendido de bombas)	70	10	-	-
B	12 semanas	68	201	31%	29
C	3 meses (mitad de la prueba)	67	210	33%	31
D	6 meses (fin de la prueba)	60	290	46%	55
E	10 meses (extrapolación)	60	426	66%	66.6
F	1 año (extrapolación)	60	462	73%	70.8
G	2 años (extrapolación)	60	562	89%	80.4
H	3 años (extrapolación)	60	590	93%	82.8

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta es que la carga de vacío se distribuye de manera isotrópica y uniforme con la profundidad. Esto genera que no solo la precarga en el terreno ocurra de manera superficial (como sucedería en el caso de la técnica de precarga clásica con un terraplén en donde las presiones disminuyen con bulbos de influencia a profundidad) sino que la presión de precarga se distribuya de manera constante a los estratos profundos. Esto también procura la estabilidad del terreno evitando fallas o rupturas.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 28 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

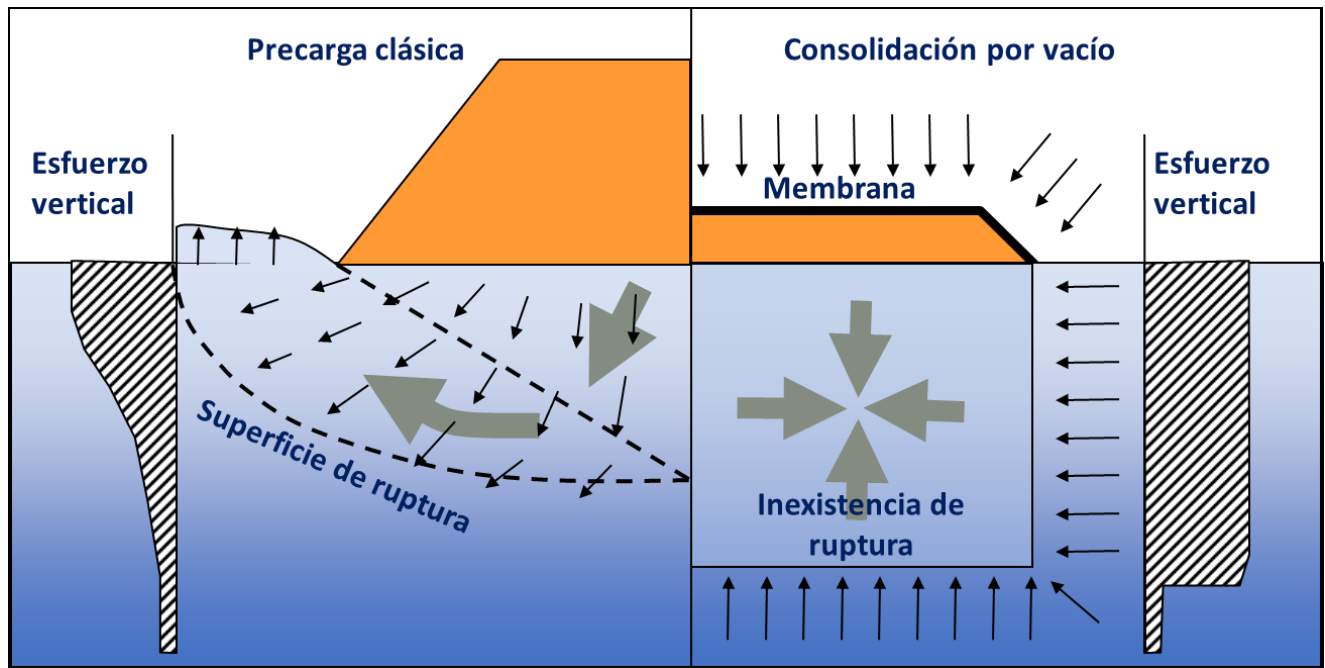



Figura 9. "Comparación de distribución de esfuerzos verticales y cortantes en las técnicas de 'precarga clásica' utilizando un terraplén de precarga, y Consolidación por Vacío."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 29 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

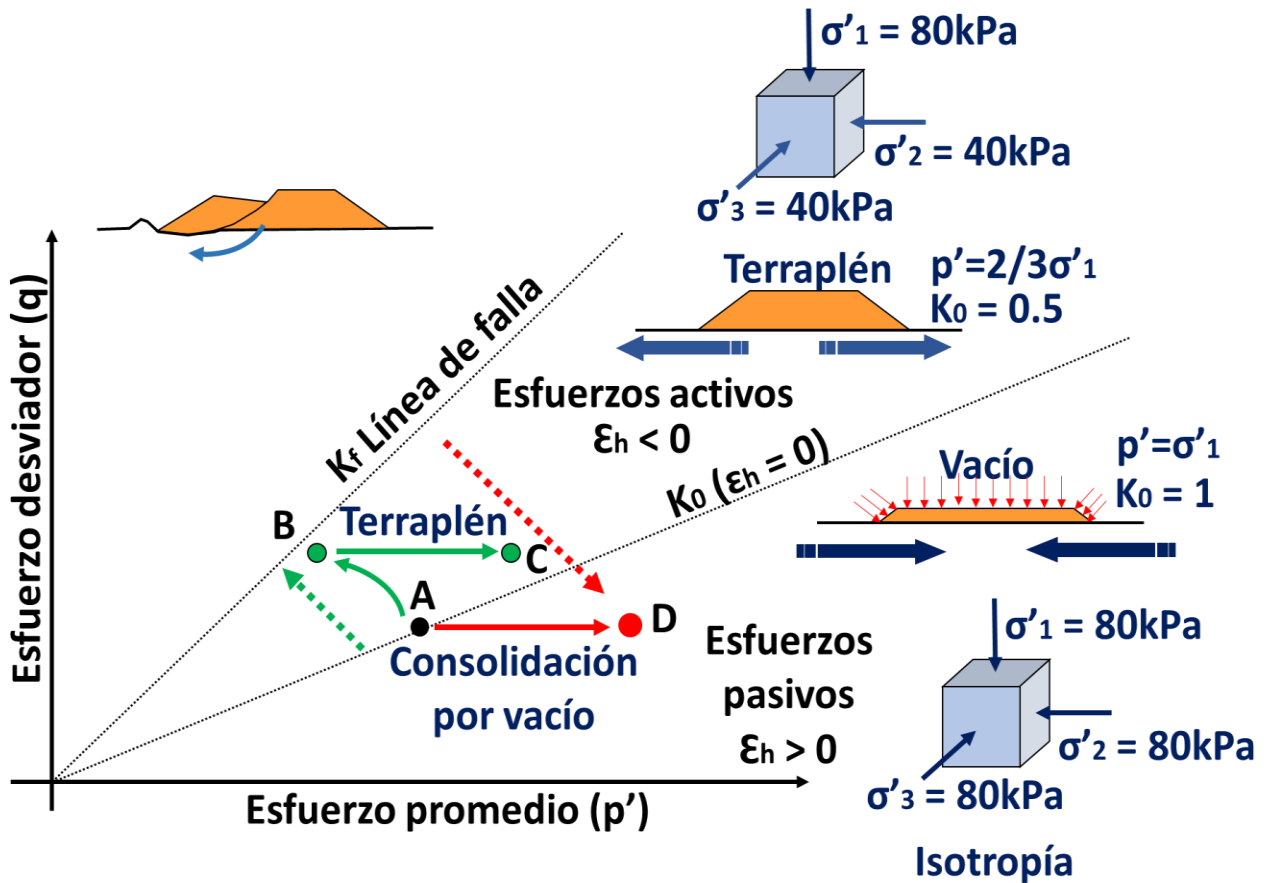



Figura 10. "Figura 2. Visualización de los estados de esfuerzos inducidos por los sistemas de precarga tradicional con sobrecarga de terraplén y precarga inducida con un sistema de vacío. La precarga inducida con vacío realiza un recorrido más simple dentro de la gráfica de esfuerzos, lo cual se traduce en la eficiencia de la generación de la consolidación y la reducción de riesgos de fallas o inestabilidad."


Una forma de verificar estos valores de precarga y de grados de consolidación es con la historia de mediciones piezométricas realizadas en el panel de prueba: la disminución de la relación de vacíos y de la presión intersticial debida al efecto del vacío, genera el aumento del esfuerzo efectivo del suelo. En los anexos siguientes se analizan estos cambios de valores piezométricos en todas las etapas de la prueba y se muestra un cálculo aproximado del grado de consolidación obtenido al final de la prueba.

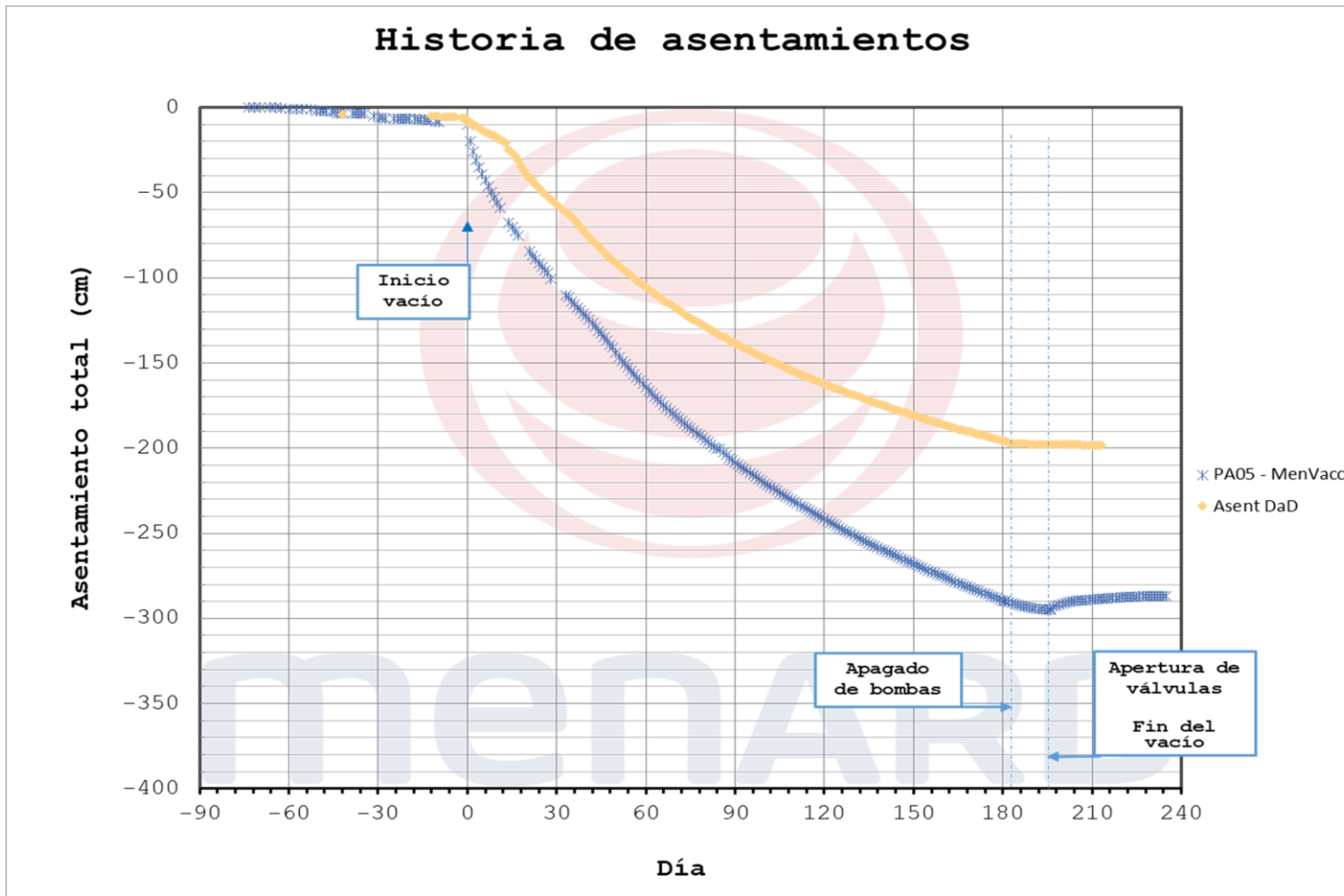
	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 30 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Por otro lado, la campaña geotécnica realizada una vez terminada la prueba de vacío con membrana reveló, a través de los resultados obtenidos de sondeos y las pruebas de laboratorio realizadas a muestras inalteradas de suelos, el mejoramiento que ha ocurrido en los diferentes estratos tratados: disminución de relaciones de vacíos, aumento de cargas de pre-consolidación, aumento en la resistencia al esfuerzo cortante, etc.

Un punto a resaltar es que generar el verdadero efecto de vacío en el terreno se logra colocando una membrana que lo aisle de la atmósfera (junto con las zanjas de estanqueidad). La colocación de bombas de vacío conectadas a drenes verticales no genera necesariamente una depresión regular en el terreno y no se generan eficientemente presiones de consolidación en el terreno. En la figura siguiente se muestra una comparativa de las curvas de asentamientos generadas entre la prueba de consolidación de vacío con membrana (Menard-Vacuum) y otra realizada con un sistema dren-a-dren, en donde se extrae el agua por bombeo generando abatimiento del nivel de agua: Si el drenaje generado en la arcilla para ambas pruebas es prácticamente el mismo (misma malla de drenes verticales prefabricados y misma profundidad) la diferencia en magnitudes de asentamientos no se puede explicar de otra manera que por la diferencia en magnitudes de carga de consolidación aplicadas. En el anexo D se realiza el cálculo retroactivo en donde se muestra que para el panel de prueba dren a dren, la carga efectiva aplicada por el bombeo es de solamente 27 kPa.

Una de las formas con la cual se demuestra la estanquidad e impermeabilidad del sistema con membrana, que conduce a la verdadera aplicación de un vacío al suelo, fue el protocolo realizado tras el apagado de las bombas de vacío: este protocolo consistió en apagar las bombas de vacío, mantener cerradas las válvulas de las tuberías durante dos semanas, y verificar qué sucedía con el vacío bajo la membrana (dentro del sistema). El resultado fue que el vacío se mantuvo dentro del sistema y que los asentamientos superficiales continuaron aumentando, lo cual es una señal inequívoca de que el fenómeno de consolidación de los suelos siguió ocurriendo. A continuación, se describe el protocolo mencionado.


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 31 of	152



La diferencia de asentamientos entre las dos técnicas se debe a la diferencia de magnitudes de carga de consolidación aplicadas al terreno.

Para el caso de consolidación con membrana (MenVacc) la presión de consolidación aplicada al terreno es de más de **60 kPa** efectivos (medidos bajo la membrana), en comparación con aproximadamente **27 kPa** que aplicó el sistema 'Dren a dren' (DaD).

Figura 11. "Comparación de asentamientos obtenidos en las pruebas de consolidación acelerada por vacío con membrana 'Menard Vacuum' y de bombeo 'Dren a Dren'."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 32 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

8. PROTOCOLO DE APAGADO DE BOMBAS Y DISIPACIÓN CON VÁLVULA CERRADA


Este procedimiento consistió en cerrar las válvulas que conectan los drenes horizontales con las bombas de vacío justo antes de apagar estas últimas, con el objetivo de verificar la impermeabilidad del sistema, mantener el vacío en el suelo y bajo la membrana, seguir consolidando el suelo sin la utilización de las bombas (sin energía eléctrica), y observar cómo sucede la disipación del vacío a lo largo del tiempo.

La metodología fue la siguiente:

1. Toma de lecturas de la instrumentación antes del apagado del sistema.
2. Verificar que se tienen cerradas las válvulas que conectan los drenes horizontales con las bombas de vacío.
3. Apagar las bombas de vacío.
4. Toma de lectura de la instrumentación al momento del apagado total del sistema, pero manteniendo, aún, la carga de vacío bajo en el suelo y bajo la membrana (sistema impermeable).
5. Realizar el monitoreo constante de los vacuómetros y observar la disminución gradual de la depresión y la carga de vacío durante 2 semanas.
6. Observar el comportamiento de las presiones intersticiales por medio de los piezómetros eléctricos Push In, y de las placas de asentamiento durante la disminución gradual de la depresión y expulsión gradual del vacío.
7. Tras 2 semanas de monitoreo, abrir las válvulas

Siguiendo esta metodología, se logró observar que la impermeabilidad del sistema permite mantener la carga de vacío bajo la membrana durante cierto tiempo aún sin operación de bombas y sin consumo de energía eléctrica.


Los vacuómetros registraron valores iniciales de 60 kPa, y tras 2 semanas, el valor último registrado antes de la apertura de las válvulas fue de 35 kPa.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 33 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

En estas dos semanas el asentamiento aumentó 5.3 cm en la zona central del panel, lo cual demuestra que la consolidación continuó ocurriendo.

Tras la apertura de las válvulas, fue notoria la entrada súbita de aire al sistema misma que condujo a tener, casi de inmediato, las mediciones de depresión en los vacuómetros a cero.

El asentamiento bajo esta condición de carga cero dejó de ocurrir en el panel y, entonces comenzó un 'rebote' de deformación, que condujo a que el centro del panel sufriera una expansión elástica de hasta 8.6 cm. Esto último demuestra que la carga de vacío es, efectivamente, una carga aplicada sobre el suelo que, al dejar de actuar, permite la expansión elástica del mismo.


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 34 de	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

9. VERIFICACIÓN DEL CAMBIO EN LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA FORMACIÓN ARCILLOSA SUPERIOR (FAS) EN LA ZONA DE PRUEBA ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO

Como se mencionó anteriormente, para esta prueba se realizaron dos campañas de exploración geotécnica, una antes y otra después del tratamiento, con el fin de conocer las condiciones y características iniciales del suelo y comparar después con el mejoramiento obtenido después de la aplicación de la consolidación acelerada por vacío con membrana.

Se realizaron entonces, sondeos in situ y se obtuvieron muestras inalteradas de suelo a diferentes profundidades para ensayarlas en laboratorio. Las muestras extraídas antes y después del tratamiento se obtuvieron de los mismos estratos para que la comparación fuese válida.

Como se mostrará en los incisos siguientes, al realizar los ensayos correspondientes a la segunda campaña de exploración (posterior a la realización de la prueba) y determinar los parámetros de resistencia y deformabilidad de cada sub-estrato y compararlos a lo que se tenía antes del tratamiento, es evidente que existe un cambio en cada uno de estos parámetros, los cuales demuestran que después del tratamiento existe menor deformabilidad global y mayor resistencia al esfuerzo cortante.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 35 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


9.1. PRUEBAS REALIZADAS EN SITIO ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO POR VACÍO CON MEMBRANA (MENARD VACUUM) Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Las propiedades mecánicas que se midieron directamente en el sitio, antes y después de la aplicación del vacío fueron:

- **Resistencia por punta** - a partir de sondeos tipo CPTu
- **Resistencia por fuste** - a partir de sondeos tipo CPTu
- **Presión de poro** - a partir de sondeos tipo CPTu
- **Resistencia al esfuerzo cortante no consolidada no drenada** - a partir de pruebas de veleta
- **Resistencia a la penetración estándar** - a partir del número de golpes de sondeos tipo SPT

Los sondeos de la segunda campaña se realizaron, tan cerca como fue posible, de los correspondientes a los sondeos preliminares, con el fin de hacer válidas las comparaciones.

En la figura siguiente se muestran las ubicaciones de las pruebas realizadas dentro del panel.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 36 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

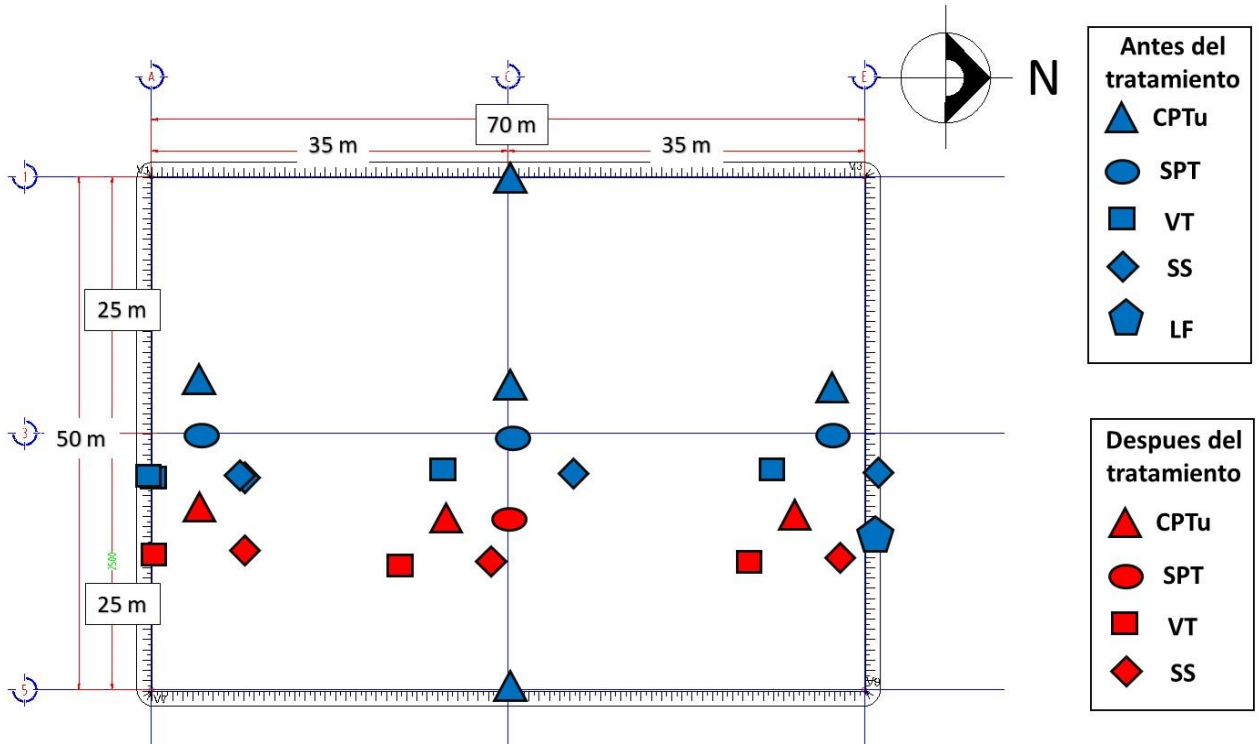



Figura 9.1. "Ubicación de los sondes y pruebas realizados antes y después del tratamiento de consolidación por vacío con membrana - MENARD Vacuum-."

Las figuras siguientes muestran la comparación, antes y después del tratamiento, de las resistencias por punta, resistencias de fuste y presiones de poro registradas en los sondes tipo CPTu, en las diferentes zonas del panel, para la Formación Arcillosa Superior (FAS). Obsérvese que es consistente la ganancia de resistencia por punta, el no cambio de la resistencia por fuste y la mayor presión de poro registrada en los ensayos después del tratamiento.

Estos resultados muestran evidencia de un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo debido a la precarga aplicada con el sistema Menard Vacuum.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 37 de 152	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

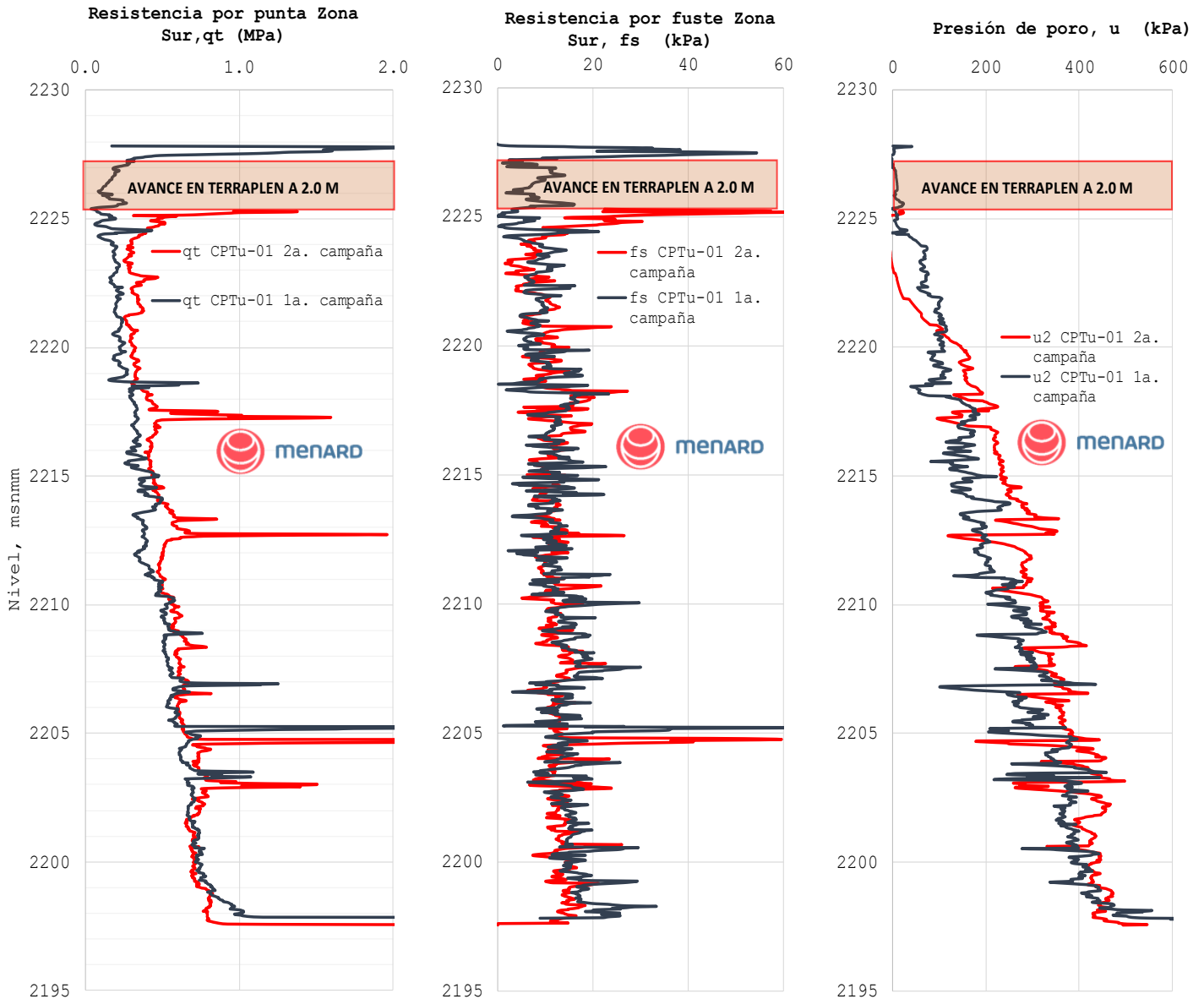



Figura 9.2. "Comparación de la resistencia por punta, la resistencia por fuste y las presiones de poro del suelo antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum. Mediciones realizadas en la zona Sur de Panel."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 38 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

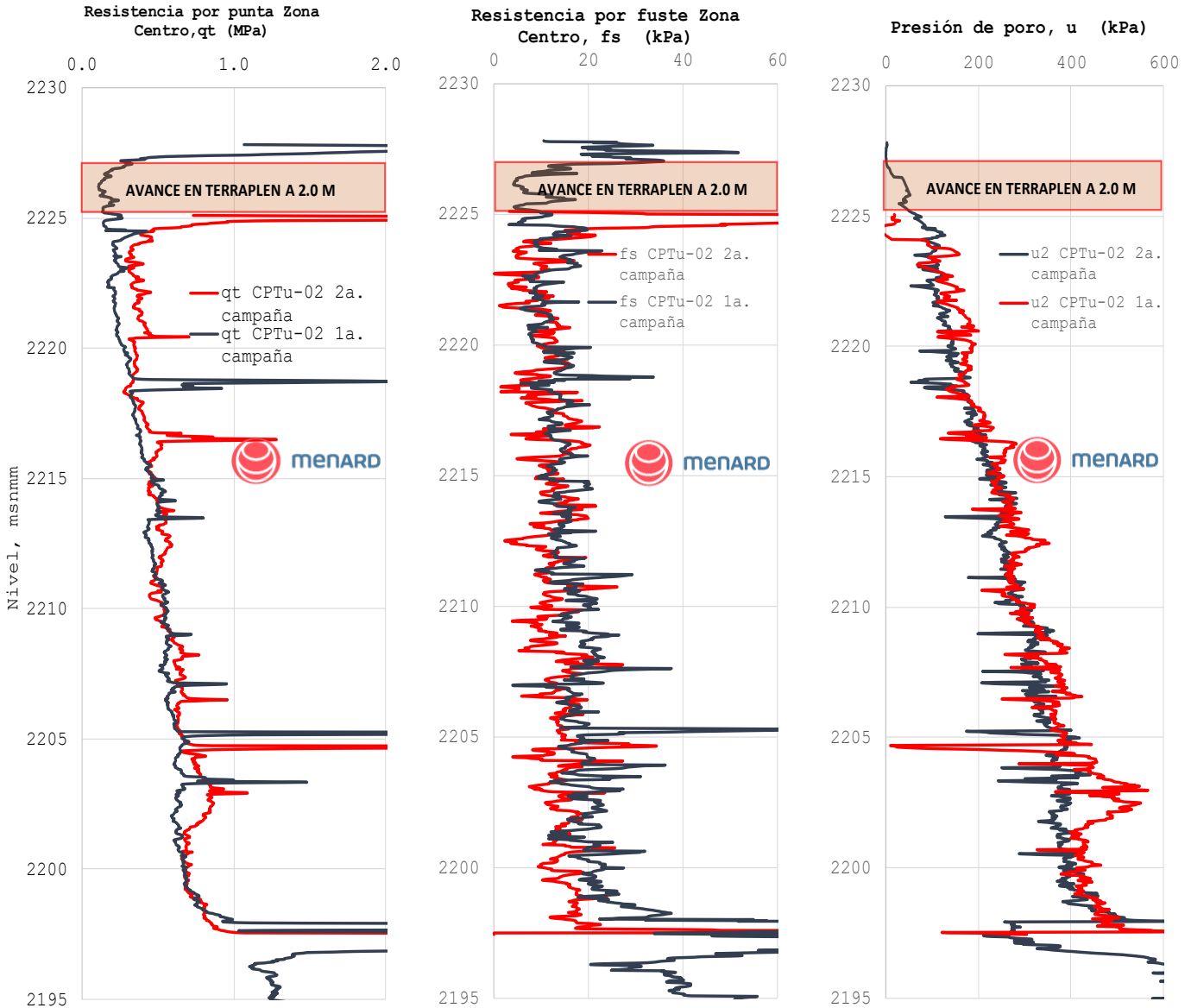



Figura 9.3. "Comparación de la resistencia por punta, la resistencia por fuste y las presiones de poro del suelo antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum. Mediciones realizadas en la zona centro de Panel."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 39 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

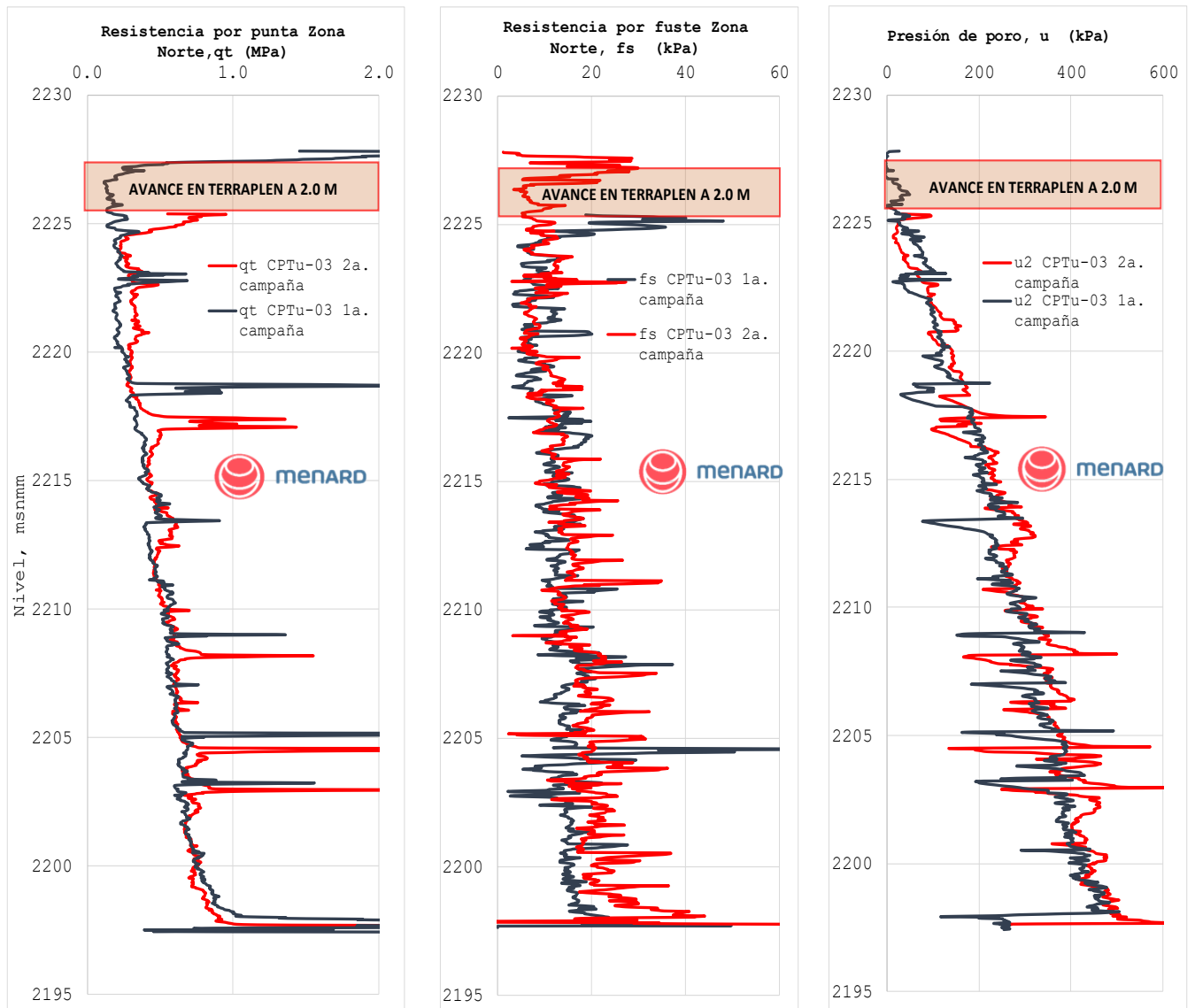



Figura 9.3. "Comparación de la resistencia por punta, la resistencia por fuste y las presiones de poro del suelo antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum. Mediciones realizadas en la zona Norte de Panel."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 40 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


El las figuras anteriores se comparan curvas ajustando el nivel de terreno natural (mismo que cambió después del asentamiento generado con el tratamiento). El crecimiento de la resistencia por punta llega ser de hasta un 200% mayor respecto a la resistencia inicial en profundidades someras. La presión de poro, en cambio, es prácticamente la misma.

En la tabla siguiente se muestra el incremento a la resistencia por punta de cada unidad estratigráfica, tanto antes como después del tratamiento.

Tabla 9.1. "Incremento promedio de la resistencia por punta de cada unidad estratigráfica después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum"

Unidad estratigráfica	Profundidad (m)		Espesor antes del tratamiento (m)	Espesor después del tratamiento (m)	Resistencia qt antes del tratamiento (Mpa)	Resistencia qt después del tratamiento (Mpa)	Δ qt (Mpa)	% de cambio
	De	A						
SAS-01	0	2	2	1.75	0.1	0.3	0.2	200%
SAS-02	2	8	6	5.32	0.2	0.4	0.2	100%
SAS-03	8	12	4	3.5	0.3	0.5	0.2	67%
SAS-04	12	20	8	7.35	0.5	0.6	0.1	20%
SAS-05	20	27	7	6.41	0.7	0.75	0.05	7%

Por otra parte, se pueden observar aumentos en las resistencias no consolidadas no drenadas a partir de las pruebas de veleta

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 41 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

realizadas antes y después del tratamiento, en las profundidades equivalentes al mismo estrato.

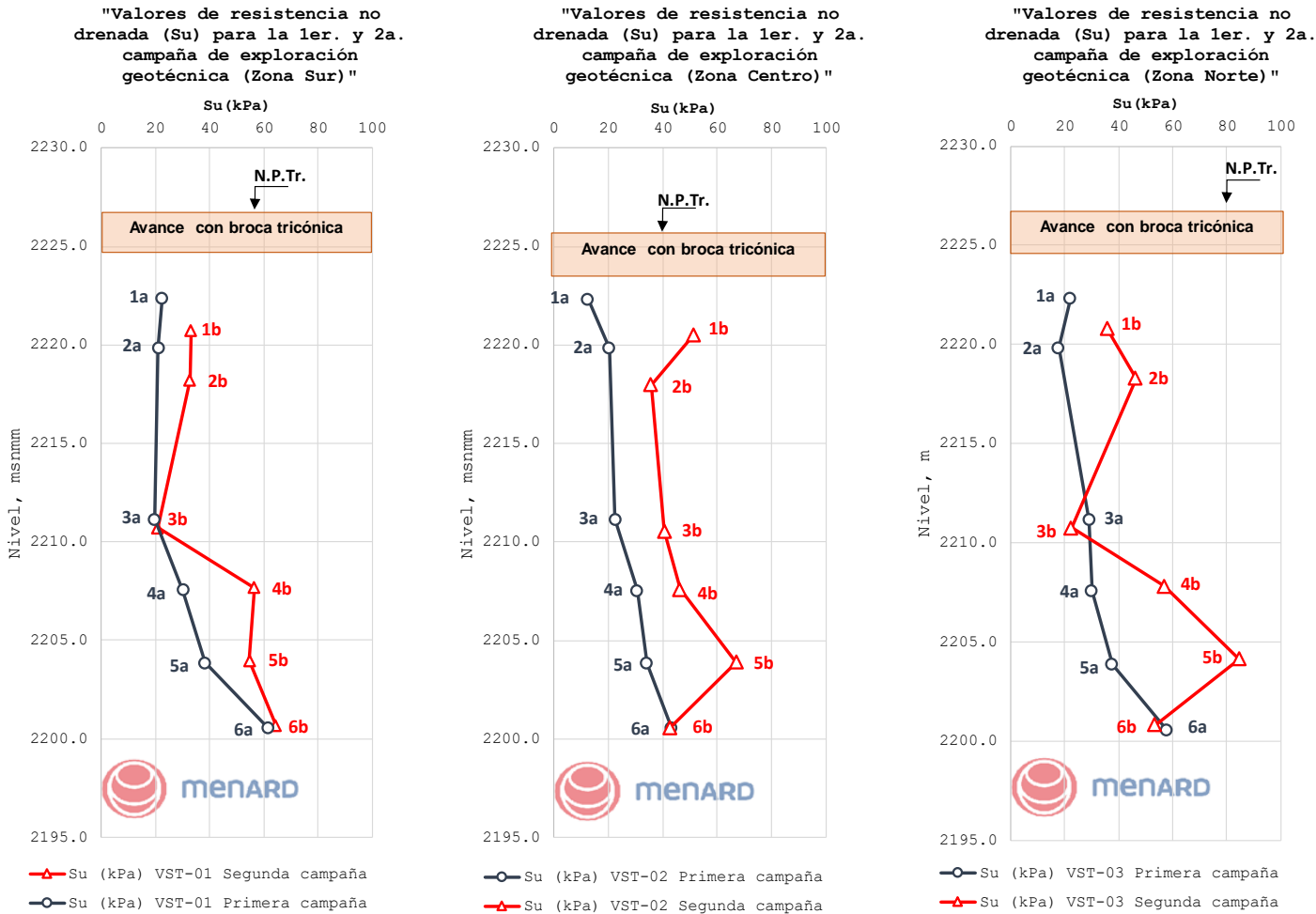



Figura 9.4. "Comparación de la resistencia no consolidada no drenada del suelo, antes y después del tratamiento, obtenidas con la prueba de veleta, para el panel de prueba de precarga con vacío con membrana -MENARD Vacuum-, en la zona Sur, Central y Norte del Panel."

También en este caso, las curvas muestran el evidente mejoramiento ocurrido tras la prueba, y puede observarse que la resistencia al

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 42 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

esfuerzo cortante (no consolidado no drenado), incrementa hasta tres veces.

Es curioso observar que las pruebas 3a y 3b (antes y después del mejoramiento) de las zonas Norte y Sur, no presentan cambios de resistencia. Esto se explica debido a que la resistencia mostrada en las gráficas corresponde a la medición efectuada en un lente de arena, por lo que no es representativo de la arcilla tratada.

Otro punto interesante es que, en la zona más profunda, al nivel del desplante de los Drenos Verticales Prefabricados, no hay aumentos en la resistencia. Esto es indicativo de que, efectivamente, el límite del tratamiento de consolidación por vacío con membrana es justamente el pie del DVP.

Las tablas siguientes contienen las profundidades a las cuales se realizaron las pruebas de veleta, tanto preliminares como posteriores, y los resultados obtenidos.



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 43 de	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla 9.2. "Comparación de resistencias al cortante no drenadas obtenidas en las pruebas de veleta antes y después del tratamiento por vacío con membrana - MENARD Vacuum -"

Zona Sur							
Ensayo	Profundidad antes del tratamiento	Su	Profundidad después del tratamiento	Su	ΔSu (kg/cm ²)	ΔSu (ton/m ²)	% incremento
	(m)	kPa	(m)	kPa			
1	5.5	22.3	4.6	33.1	0.1	1.1	48%
2	8.0	20.9	7.1	32.6	0.1	1.2	56%
3	16.7	19.5	14.7	20.7	0.0	0.1	6%
4	20.3	30.0	17.7	56.4	0.3	2.6	88%
5	24.0	38.2	21.4	54.6	0.2	1.6	43%
6	27.3	61.2	24.7	64.3	0.0	0.3	5%

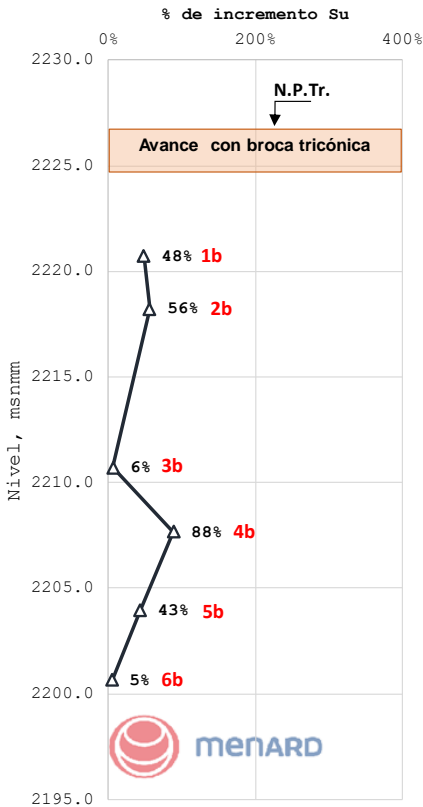
Zona Central							
Ensayo	Profundidad antes del tratamiento	Su	Profundidad después del tratamiento	Su	ΔSu (kg/cm ²)	ΔSu (ton/m ²)	% incremento
	(m)	kPa	(m)	kPa			
1	5.5	12.5	4.5	51.3	0.4	3.9	311%
2	8.0	20.3	7.0	35.7	0.2	1.5	76%
3	16.7	22.6	14.4	40.6	0.2	1.8	80%
4	20.3	30.6	17.4	46.4	0.2	1.6	52%
5	24.0	34.3	21.1	67.1	0.3	3.3	96%
6	27.3	43.3	24.4	42.8	0.0	0.0	0%

Zona Norte							
Ensayo	Profundidad antes del tratamiento	Su	Profundidad después del tratamiento	Su	ΔSu (kg/cm ²)	ΔSu (ton/m ²)	% incremento
	(m)	kPa	(m)	kPa			
1	5.50	22.2	4.60	35.9	0.137	1.368	62%
2	8.00	17.9	7.10	46.4	0.285	2.850	159%
3	16.70	29.2	14.64	22.6	-0.067	-0.666	0%
4	20.30	30.1	17.58	57.0	0.269	2.689	89%
5	24.00	37.6	21.28	84.8	0.472	4.718	125%
6	27.30	58.0	24.58	53.6	-0.044	-0.436	0%

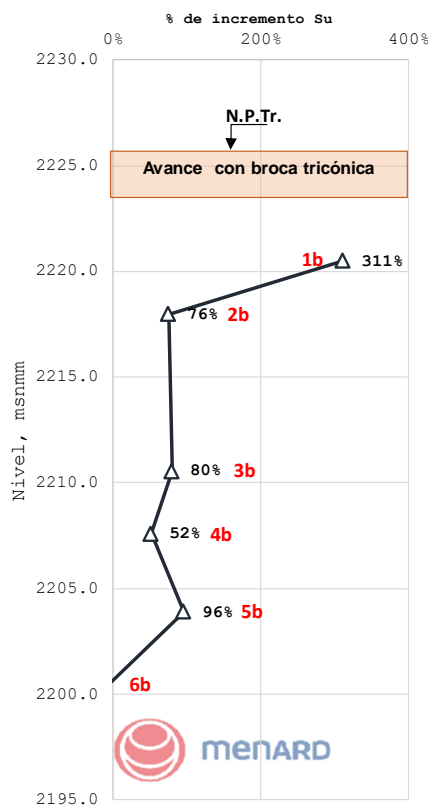
	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 44 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

La magnitud del incremento a la resistencia al cortante no consolidada no drenada depende de las propiedades mecánicas de cada sub-estrato, por lo que el porcentaje de aumento de la resistencia es variable en las diferentes profundidades; sin embargo, la tendencia incremental se mantiene. En la figura siguiente se observa el porcentaje de incremento de resistencia obtenido después del tratamiento en cada zona y en cada profundidad.

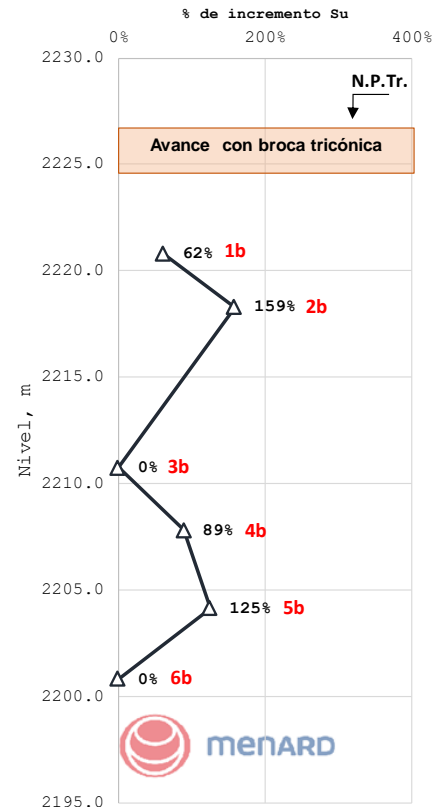
"Porcentaje de incremento de la resistencia no drenada (Su) después de aplicar el mejoramiento (Zona Sur) "



"Porcentaje de incremento de la resistencia no drenada (Su) después de aplicar el mejoramiento (Zona Centro) "



"Porcentaje de incremento de la resistencia no drenada (Su) después de aplicar el mejoramiento (Zona Norte) "




▲ % de cambio en resistencia máxima no drenada

▲ % de cambio en resistencia máxima no drenada

▲ % de cambio en resistencia máxima no drenada

Figura 9.5. "Porcentajes de aumento de resistencia no consolidada no drenada obtenidos de las pruebas de veleta realizadas en campañas de exploración antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 45 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Es interesante notar nuevamente que no existe aumento en la resistencia al cortante no drenada al nivel del desplante de los DVP, lo que confirma los límites de mejoramiento del sistema.

Los trabajos de la segunda campaña también incluyeron la realización de ensayos de consolidación realizados a muestras inalteradas extraídas a diferentes profundidades, con el fin de verificar el mejoramiento del suelo tras el tratamiento Menard Vacuum.

A continuación, se muestra el modelo geotécnico final y determinado a partir de los resultados de laboratorio, así como el diagrama de esfuerzos después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum.


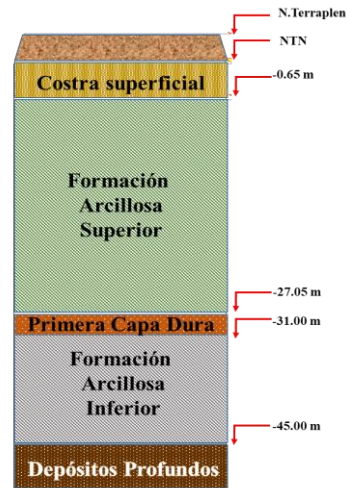

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 46 of	152

Tabla 9.3. Modelo Geotécnico del suelo después del tratamiento.

Designación	Unid.	Prof m		H m	Prof. med m	w %	γ kN/m ³	E _{oed} MPa	e ₀	C _D	C _C	OCR	k m/año	C _v m ² /año	C _h m ² /año	
		de	a													
Costra Superficial	CS	0	-0.65	0.65	0.325	-	15.00	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Serie Arcillosa Superior	SAS1	-0.65	-4.15	3.5	2.4	97	13.70	1.26	2.5	0.105	0.983	4.87	1.4E-03	0.110 - 0.171	0.330 - 0.513	
	SAS2	-4.15	-6.65	2.5	5.4	237	12.70	0.76	6.74	1.03	12.75	2.65	2.0E-03	0.105 - 0.152	0.315 - 0.456	
	SAS3	-6.65	-9.15	2.5	7.9	234	11.90	0.80	8.83	0.5	7.7	2.07	5.0E-03	0.351 - 0.399	1.053 - 1.197	
	SAS4	-9.15	-13.75	4.6	11.45	215	12.30	0.60	5.23	0.125	4.575	2.51	1.9E-03	0.102 - 0.115	0.306 - 0.345	
	SAS5	-13.75	-17.45	3.7	15.6	178	12.30	1.70	7.8	0.981	5.673	1.93	6.5E-04	0.106 - 0.111	0.318 - 0.333	
	SAS6	-17.45	-24.25	6.8	20.85	193	13.90	2.51	3.89	0.544	4.36	1.87	2.1E-03	0.498 - 0.515	1.494 - 1.545	
	SAS7	-24.25	-27.05	2.8	25.65	215	12.00	1.45	8.04	0.438	5.842	1.41	1.8E-03	0.212 - 0.267	0.636 - 0.801	
Primera Capa Dura	C.D	-30	-32	2	26.05	-	19.00	30.00	-	-	-	-	-	-	-	



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 47 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

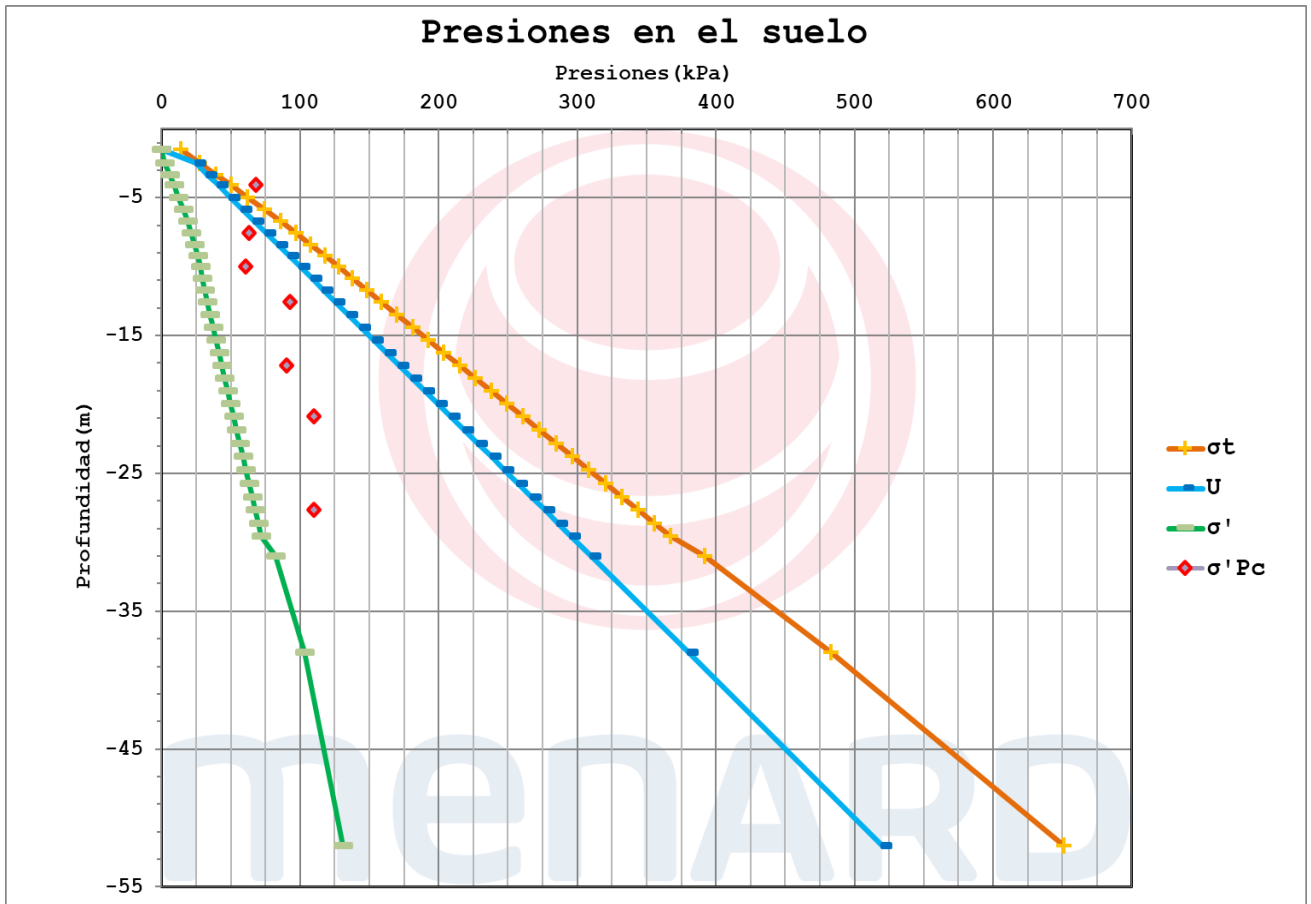




Figura 9.6. "Diagrama de esfuerzos después del tratamiento. Se observan las cargas de preconsolidación que se generan a partir del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 48 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Otro parámetro que presenta cambios es el coeficiente de consolidación vertical, el cual ha disminuido después de realizar la consolidación acelerada por vacío con membrana. Esto es hecho lógico, ya que la disminución de la relación de vacíos provoca la reducción de la permeabilidad del suelo.

En las siguientes figuras se muestra la comparación y variación de los coeficientes de consolidación vertical del suelo a diferentes profundidades antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum.

También se muestra la variación y disminución de la relación de vacíos del suelo a diferentes profundidades antes y después del tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 49 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

Variación del coeficiente de consolidación en función de la profundidad, antes y después de la prueba de vacío (Zona Norte)

Variación del coeficiente de consolidación en función de la profundidad, antes y después de la prueba de vacío. (Zona Centro)

Variación del coeficiente de consolidación en función de la profundidad, antes y después de la prueba de vacío. (Zona Sur)

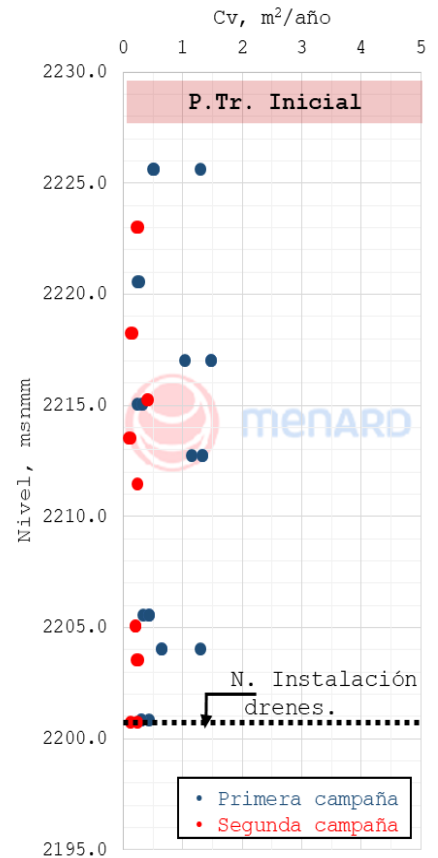
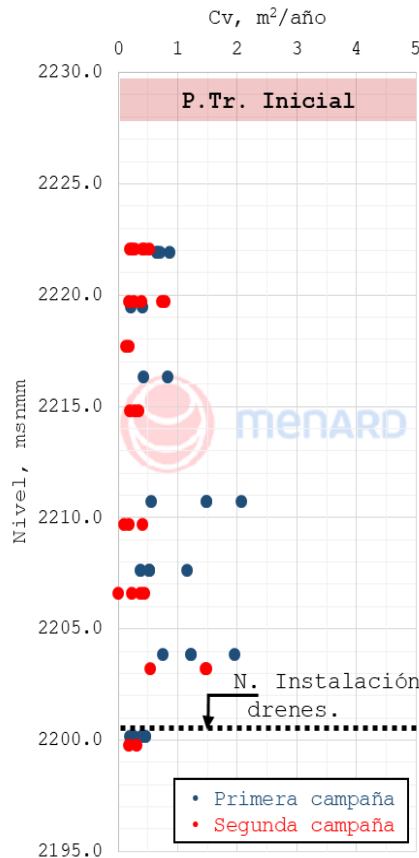
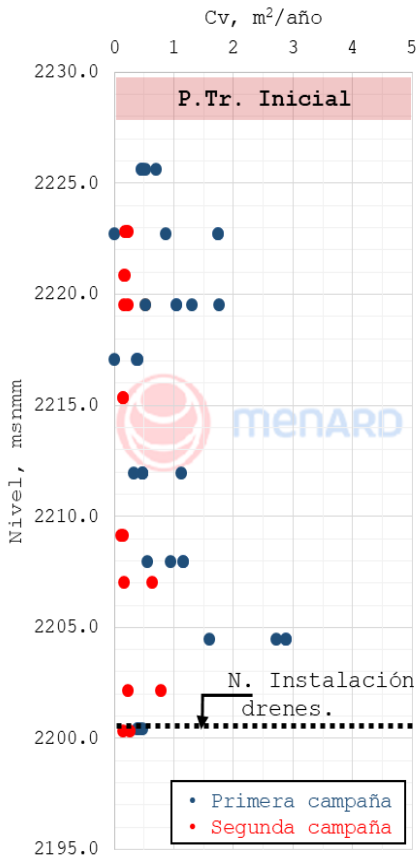



Figura 9.7. "Coeficientes de consolidación vertical obtenidos de las pruebas de laboratorio antes y después del tratamiento. Muestras de la FAS"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 50 de	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

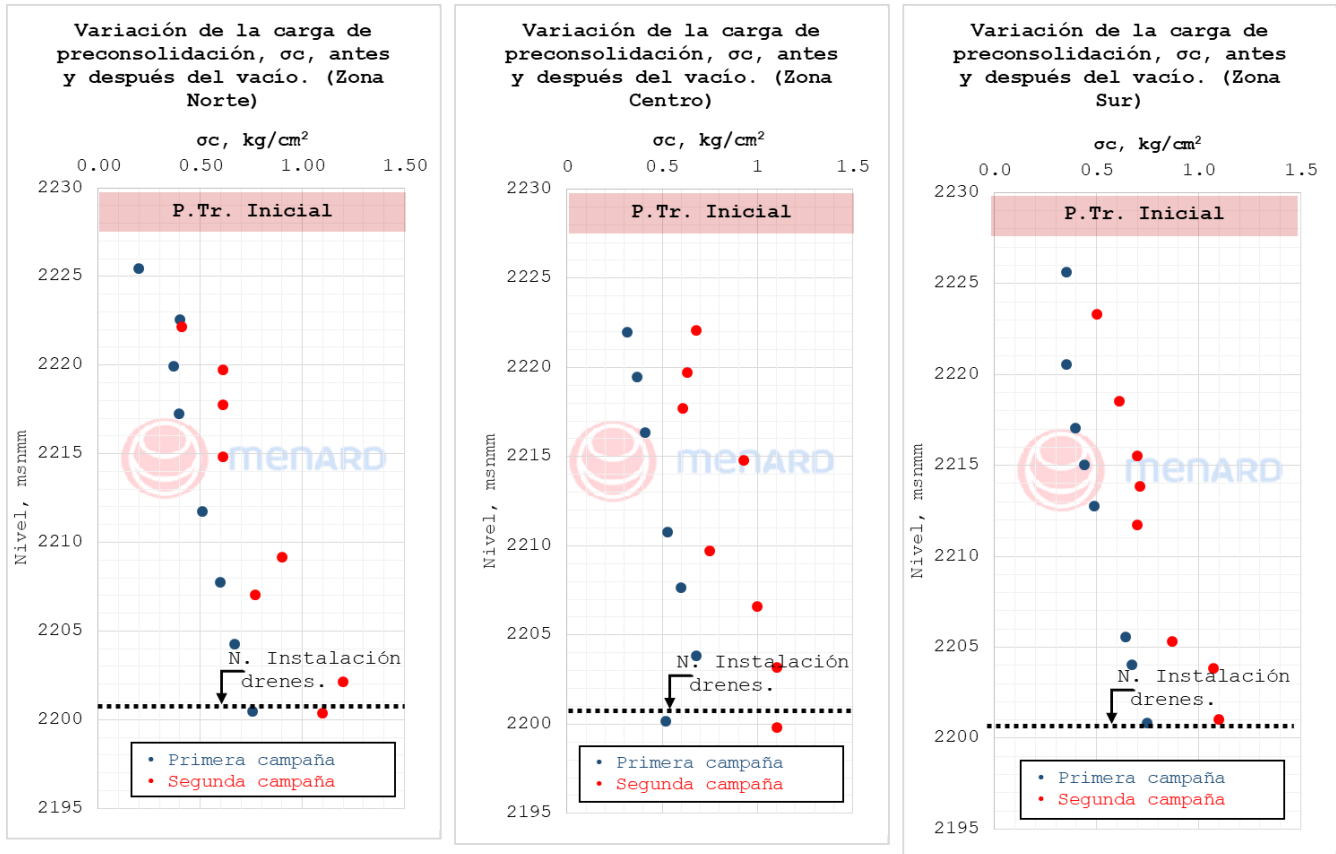



Figura 9.8. "Relación de vacíos obtenidos de las pruebas de laboratorio antes y después del tratamiento. Muestras de la FAS"

De la misma manera que en los casos anteriores, debido a que el proceso de consolidación se produce por la disipación de la presión de poro provocada por la salida del agua del esqueleto de la arcilla, y que este proceso conlleva a la disminución de la relación de vacíos (e), es posible comprobar que existe una diferencia entre el contenido de agua inicial, antes del tratamiento, y el contenido de agua de la arcilla obtenido en muestras extraídas después de realizar el tratamiento de vacío.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 51 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

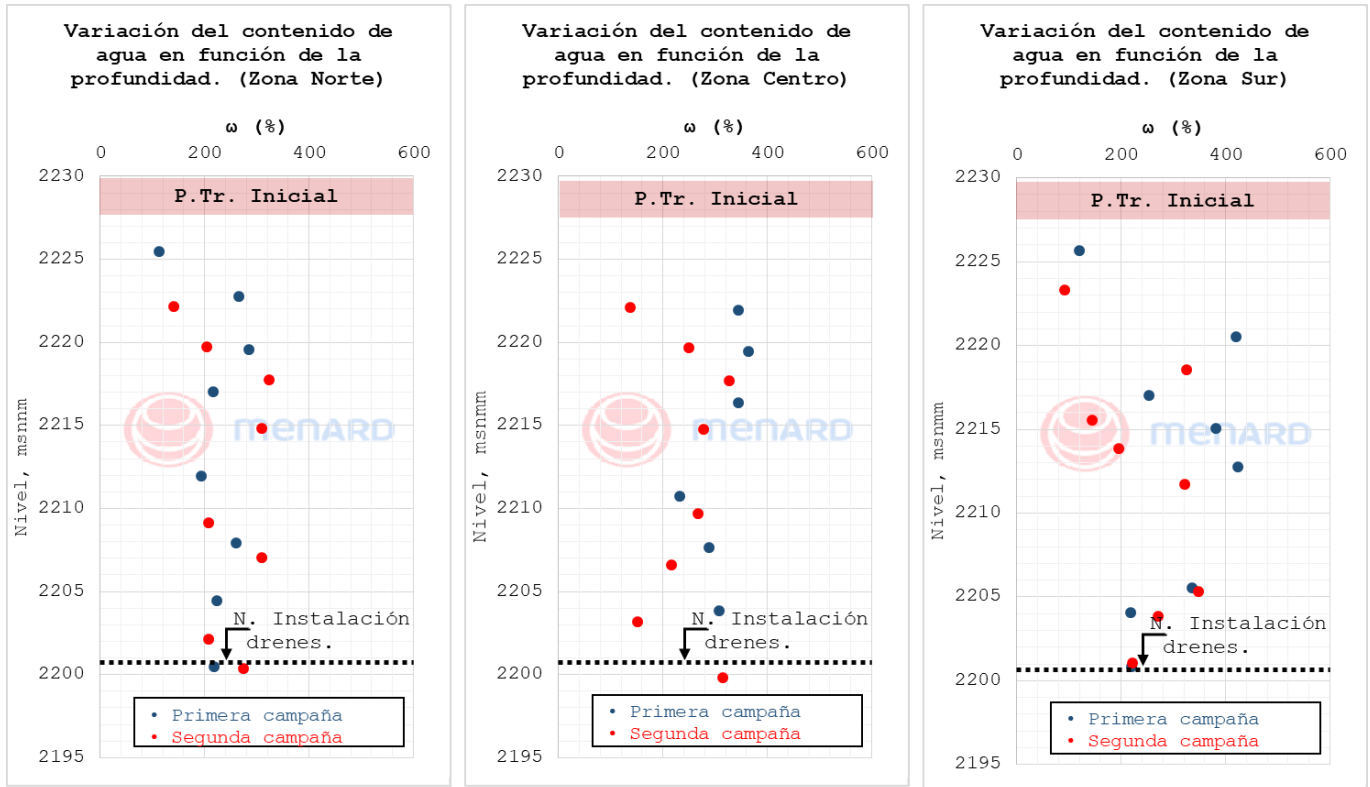



Figura 9.9. "Contenidos de agua obtenidos de las pruebas de laboratorio antes y después del tratamiento. Muestras de la FAS"

Una manera fácil de observar el mejoramiento que se ha obtenido en el suelo arcilloso es sobreponiendo las gráficas de compresibilidad obtenidas en pruebas de consolidación de muestras tomadas a diferentes profundidades, antes y después del tratamiento. En las figuras siguientes se muestran algunas de las curvas comparables en donde se observa la evidente disminución de la relación de vacíos inicial, e_0 , así como el aumento en las cargas de pre-consolidación, σ_c .

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 52 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Sondeo selectivo SS-01

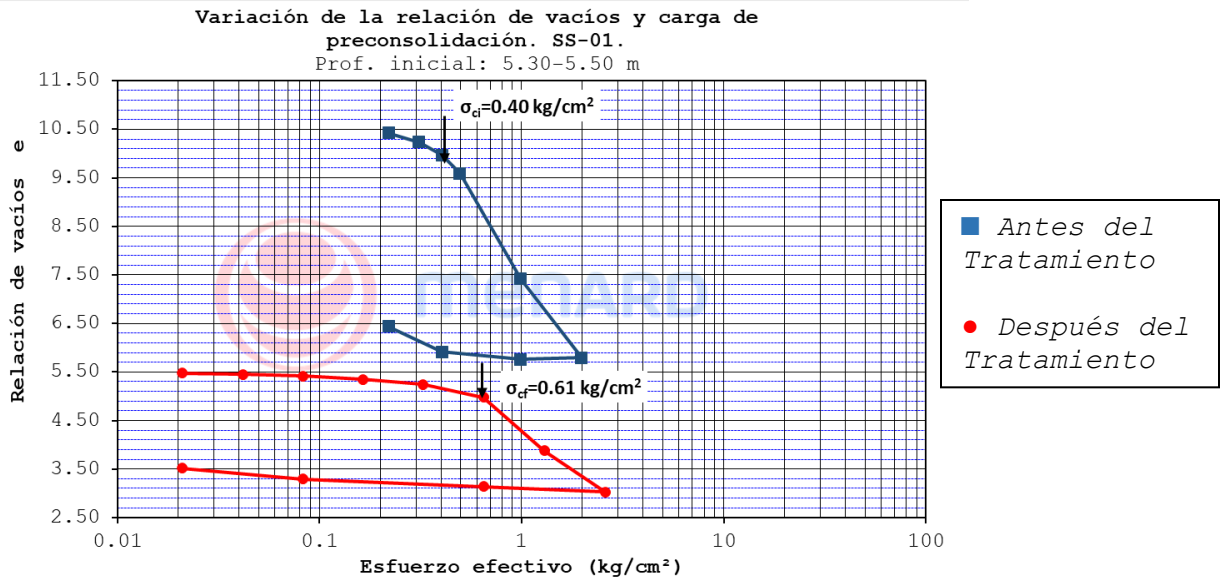


Figura 9.10. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-02"

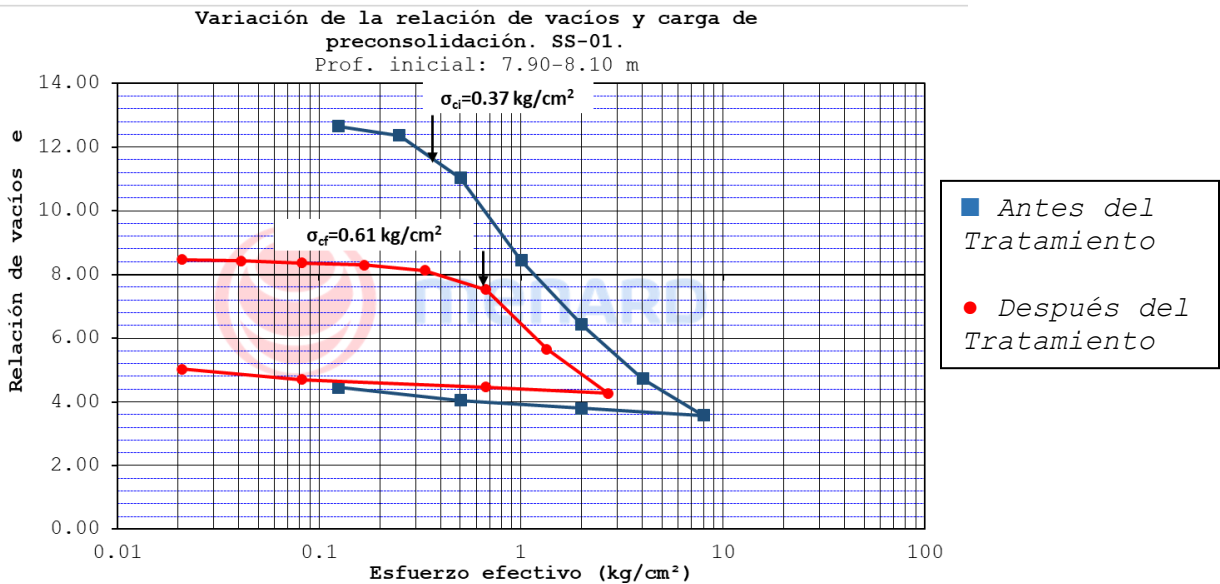



Figura 9.11. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-03"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México		Pag. 53 de
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

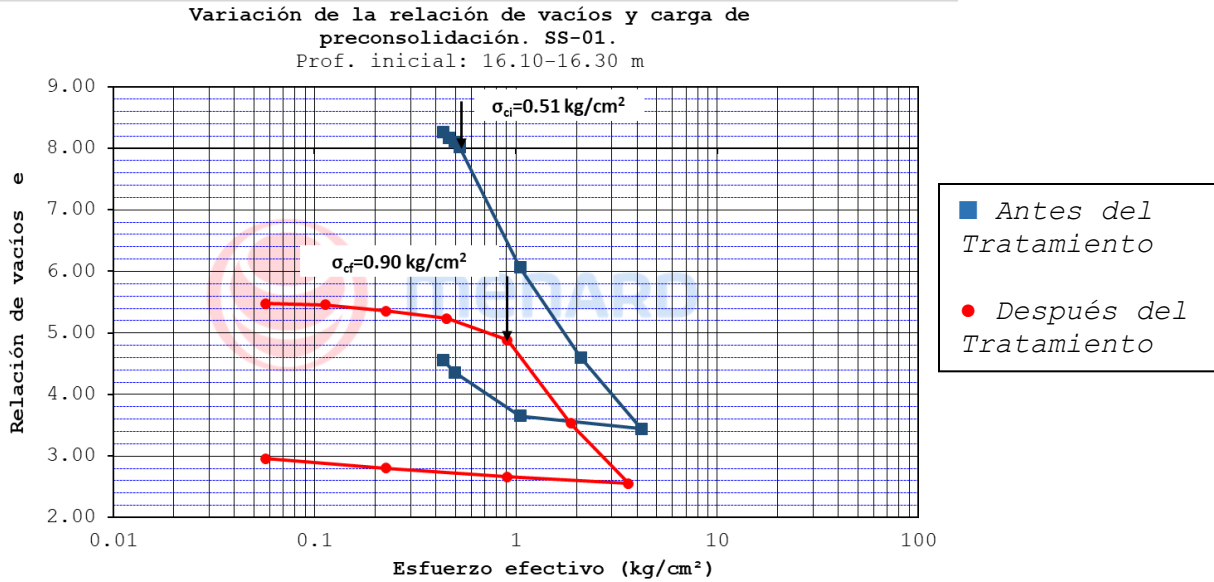


Figura 9.12. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-05"

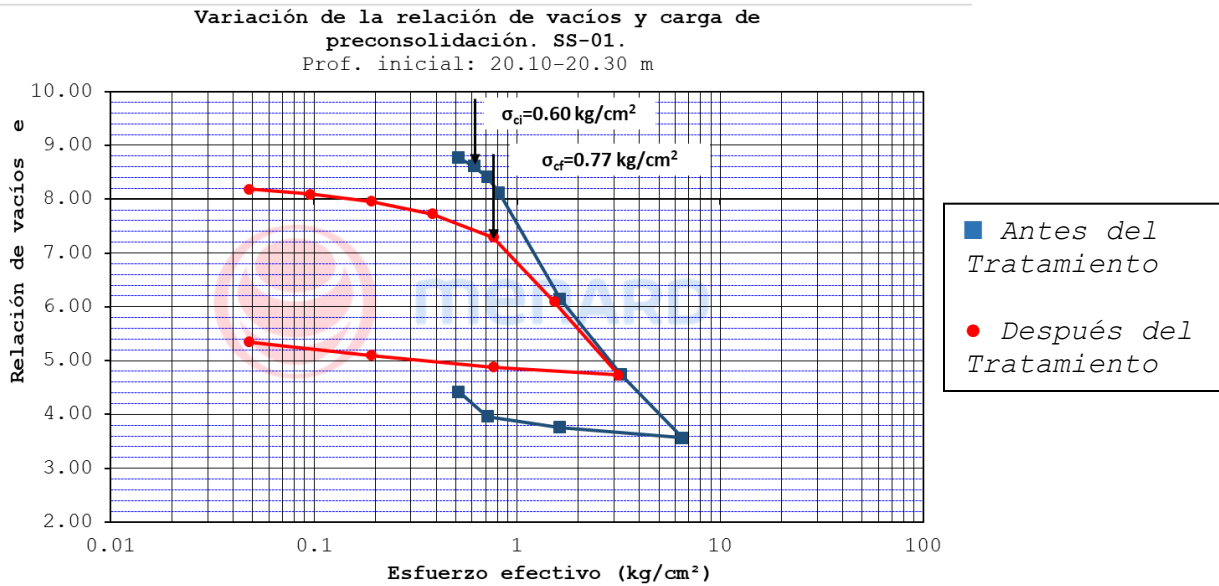



Figura 9.13. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-06"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 54 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

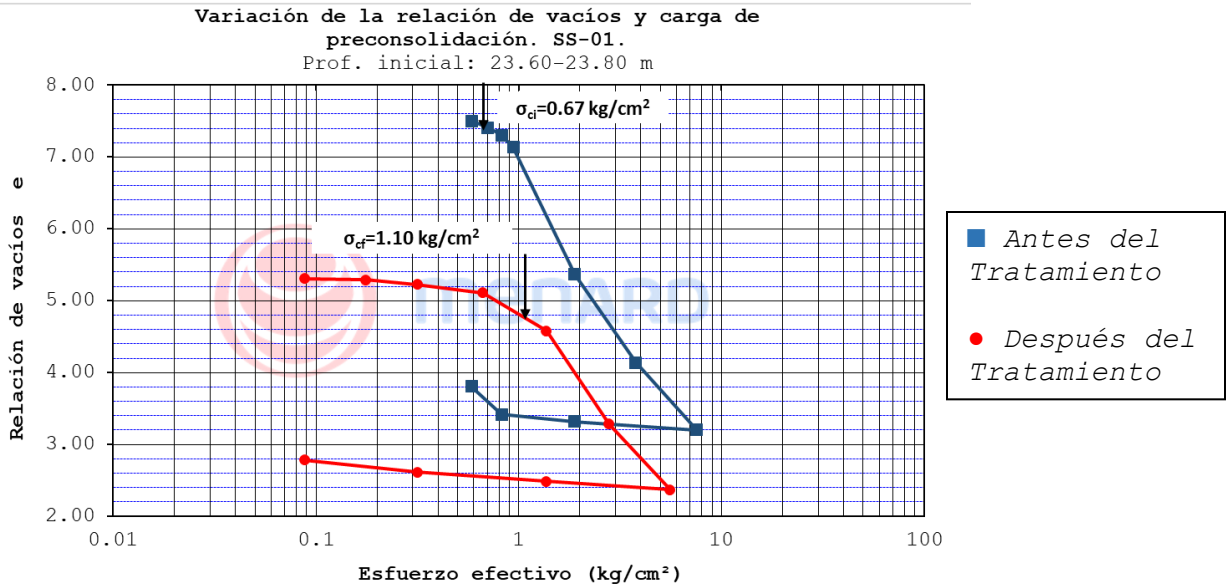


Figura 9.14. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-07"

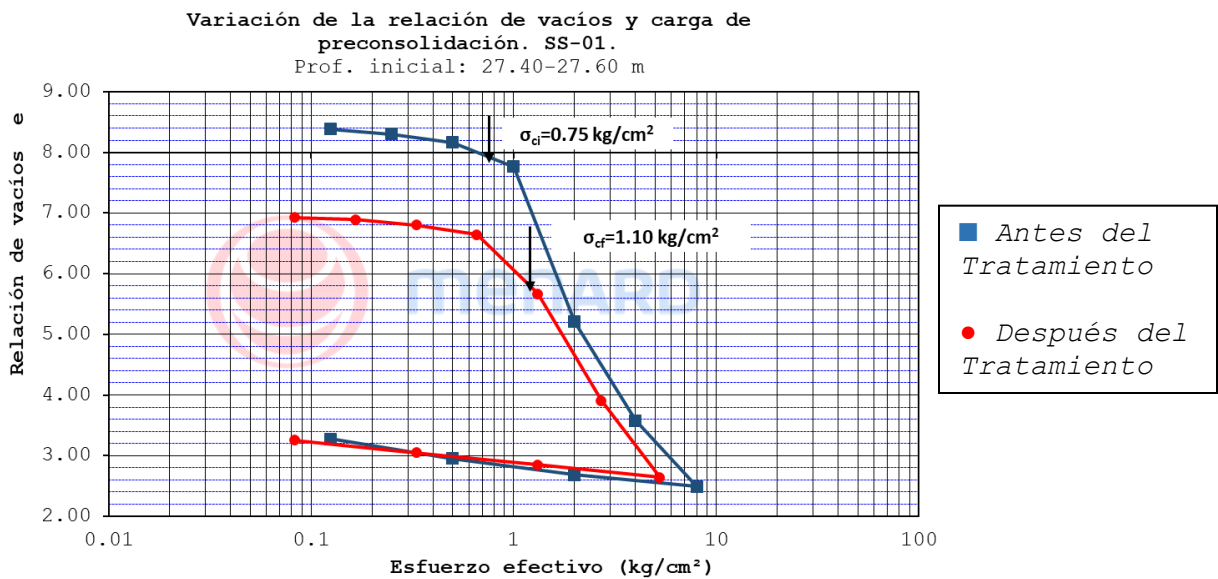



Figura 9.15. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-01 M-08"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 55 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Sondeo selectivo SS-02

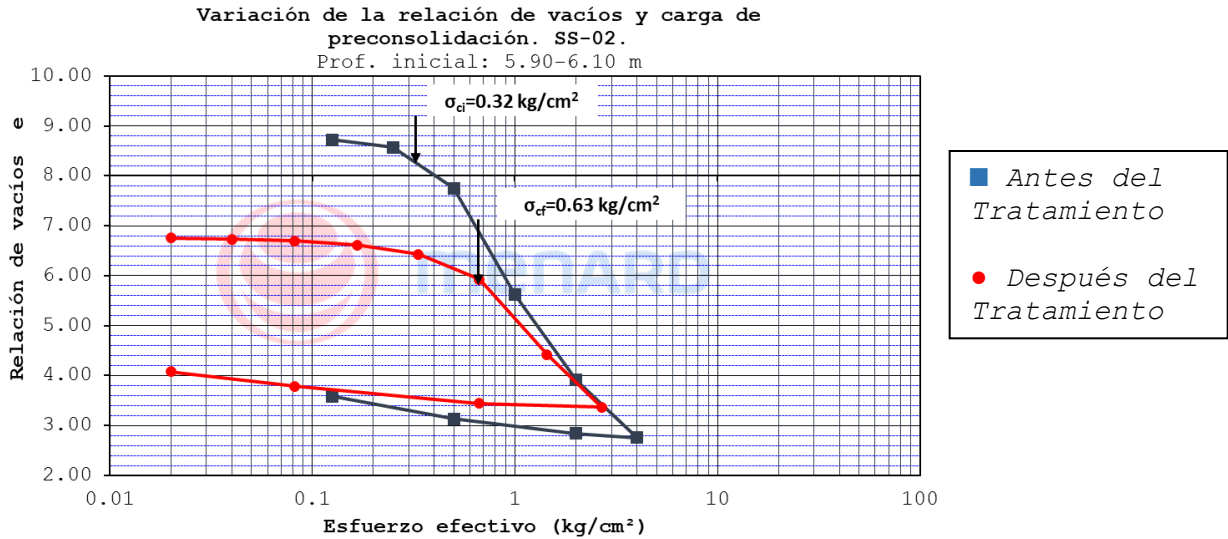


Figura 9.16. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-01"

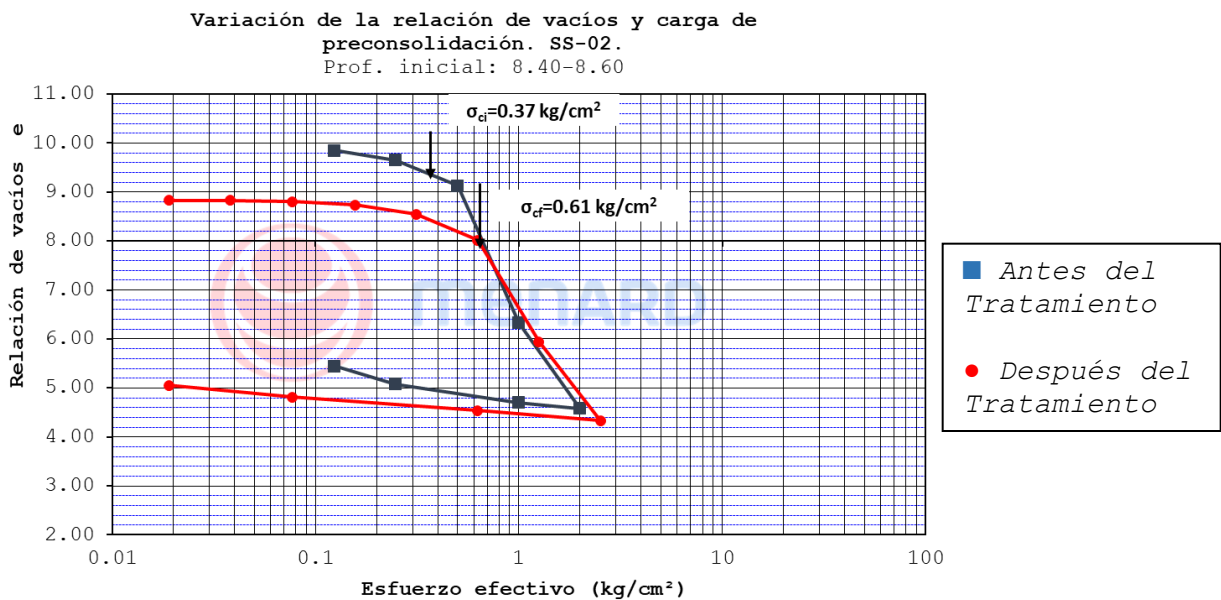



Figura 9.17. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-02"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 56 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Variación de la relación de vacíos y carga de preconsolidación. SS-02.
Prof. inicial: 11.50-11.70 m

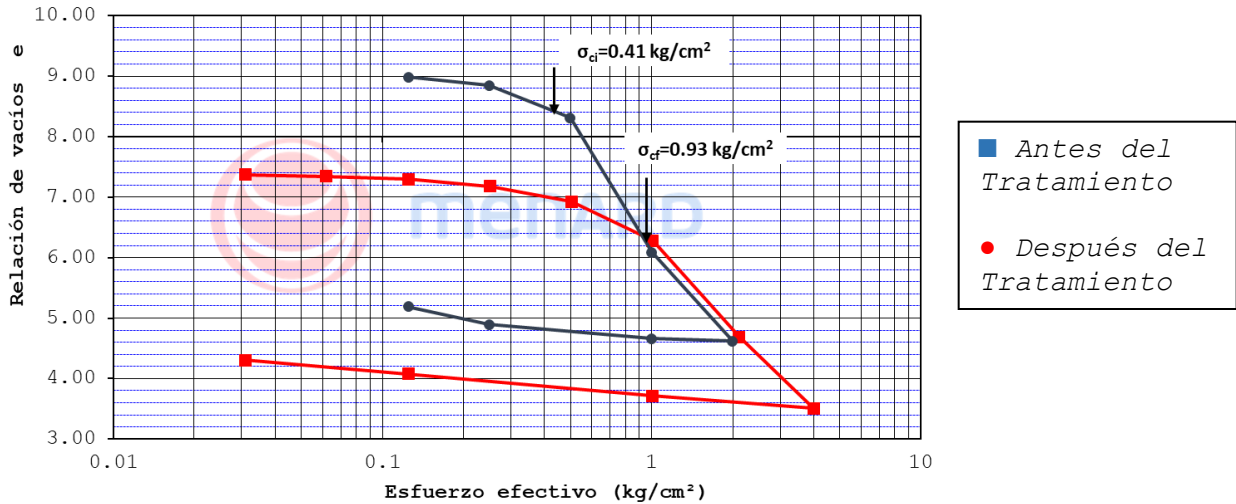


Figura 9.18. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-03"

Variación de la relación de vacíos y carga de preconsolidación. SS-02.
Prof. inicial: 17.10-17.30 m

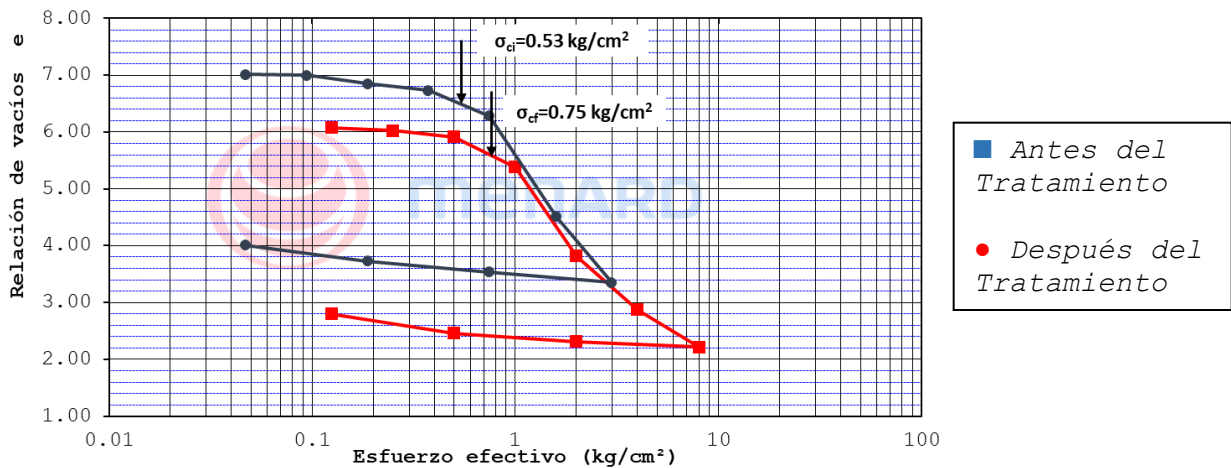



Figura 9.19. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-04"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 57 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

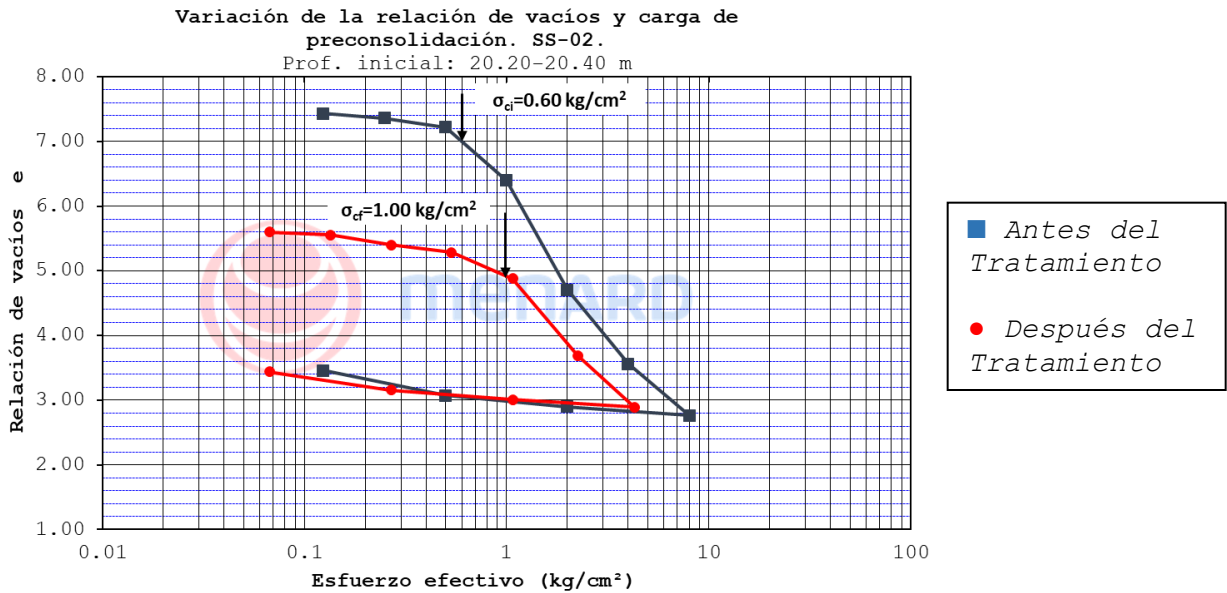


Figura 9.20. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-05"

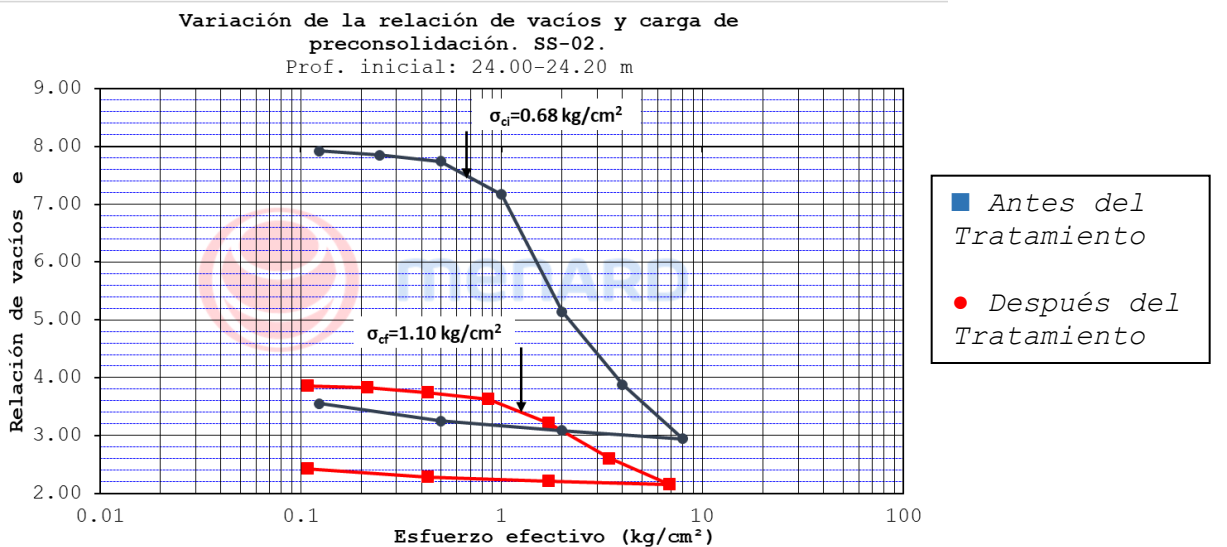



Figura 9.21. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-06"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 58 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

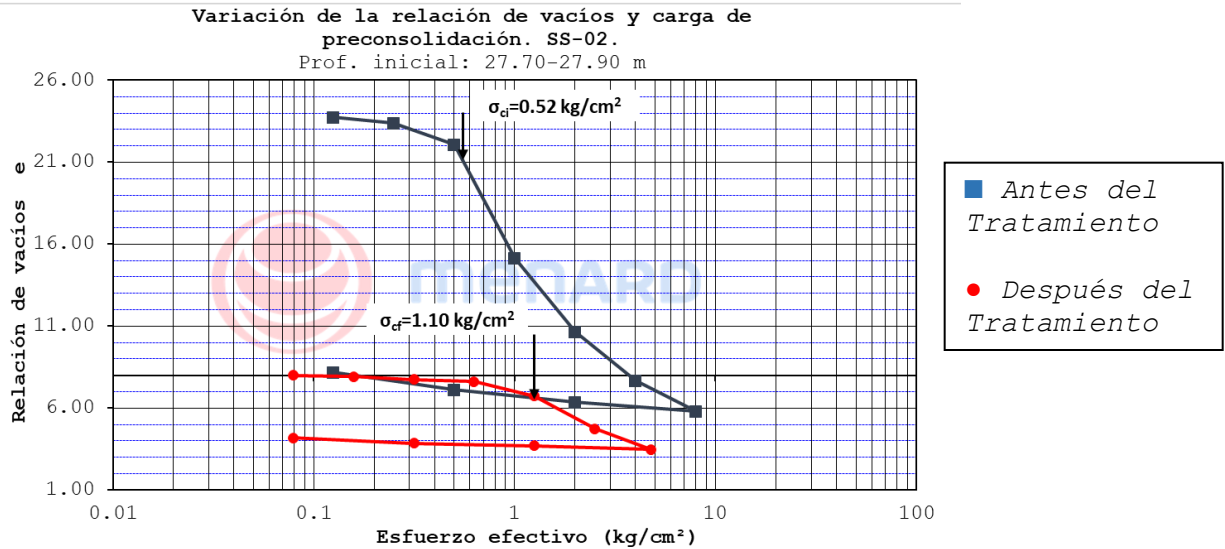


Figura 9.22. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-02 M-07"

Sondeo selectivo SS-03

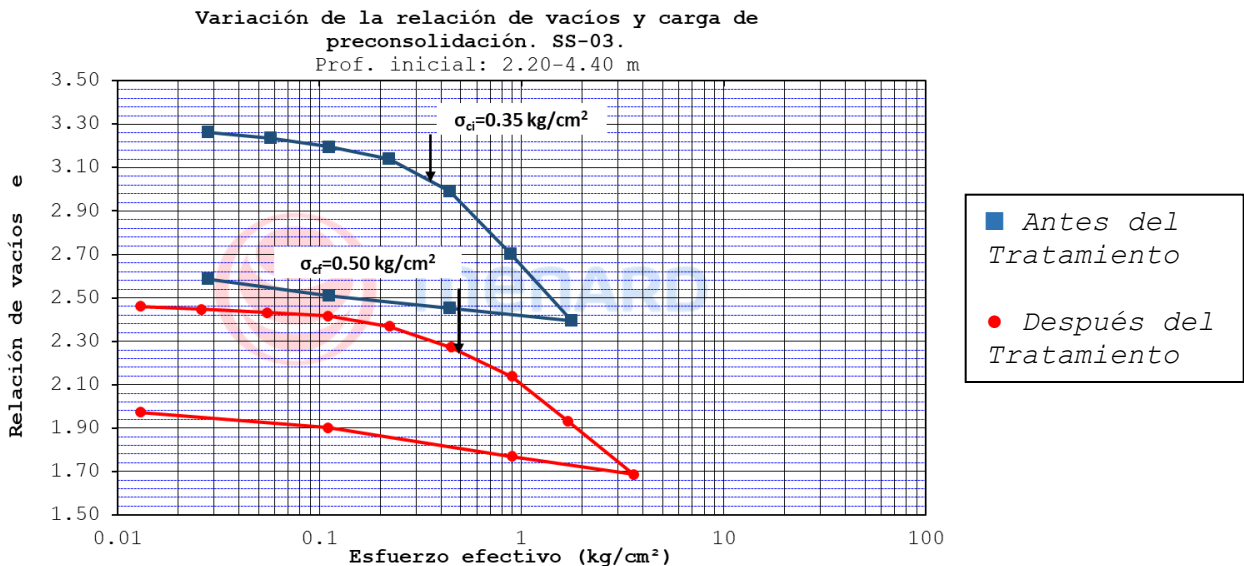



Figura 9.23. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-03 M-01"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 59 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

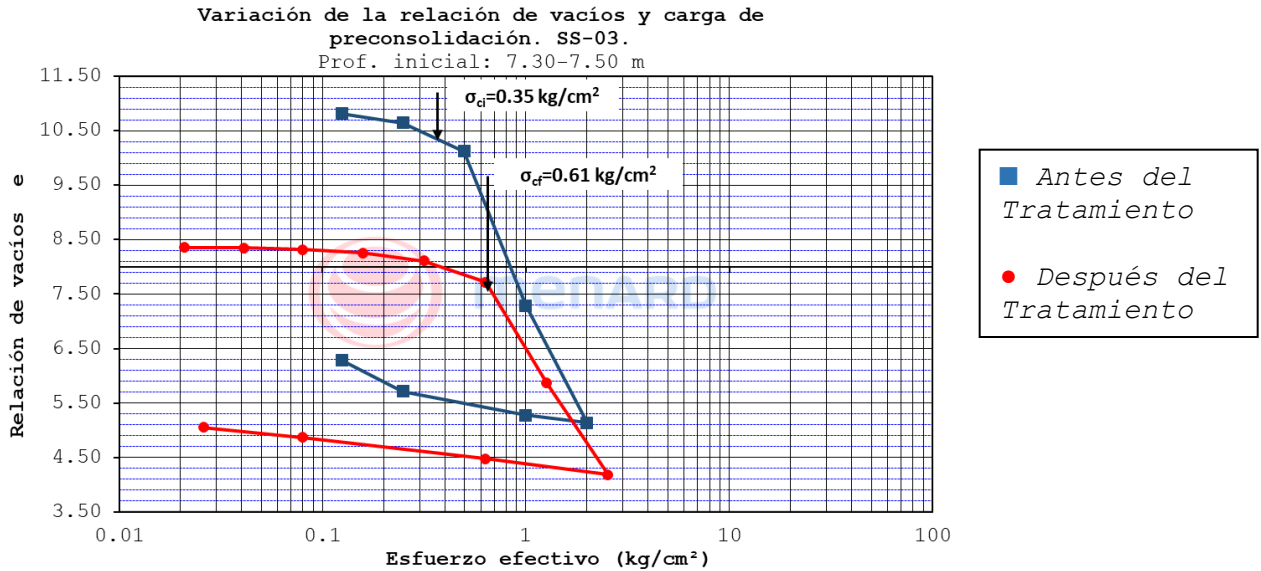


Figura 9.24. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-03 M-02"

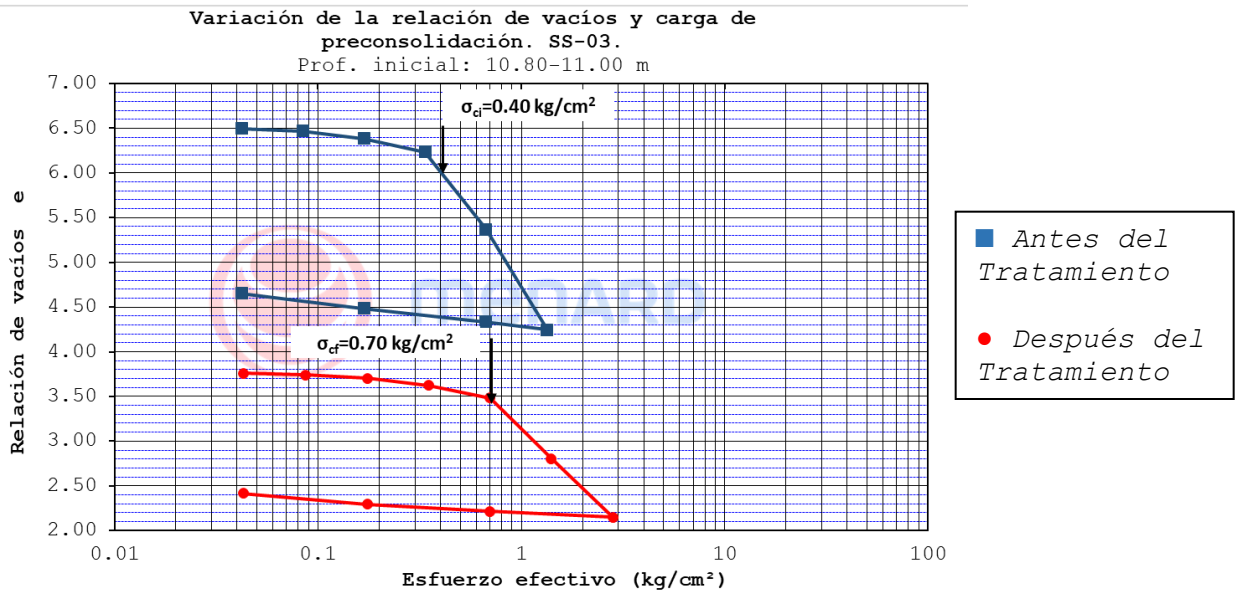



Figura 9.25. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-03 M-03"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 60 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

Variación de la relación de vacíos y carga de preconsolidación. SS-03.
 Prof. inicial: 12.80-13.00 m

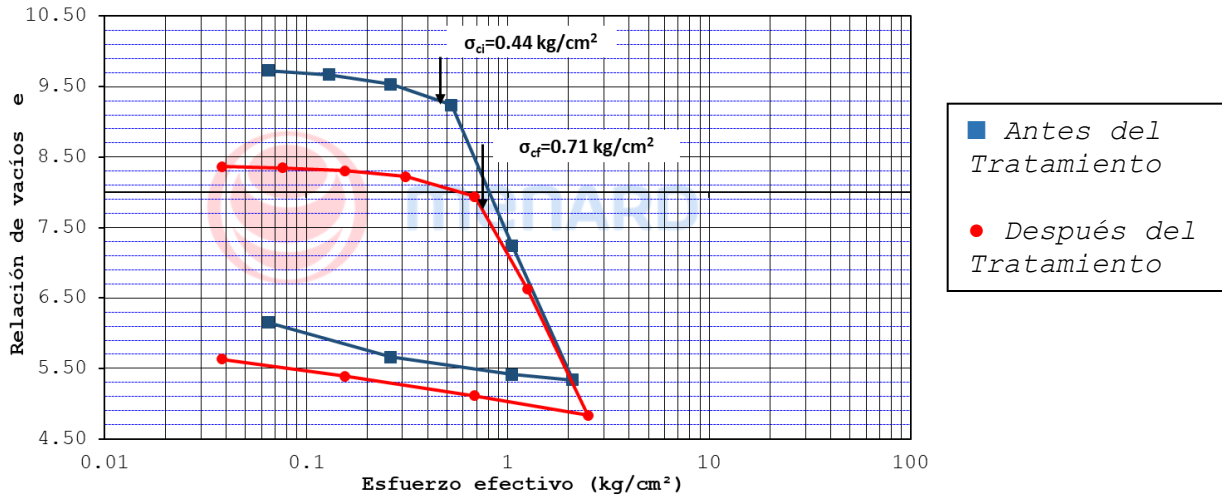


Figura 9.26. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-03 M-04"

Variación de la relación de vacíos y carga de preconsolidación. SS-03.
 Prof. inicial: 15.10-15.30 m

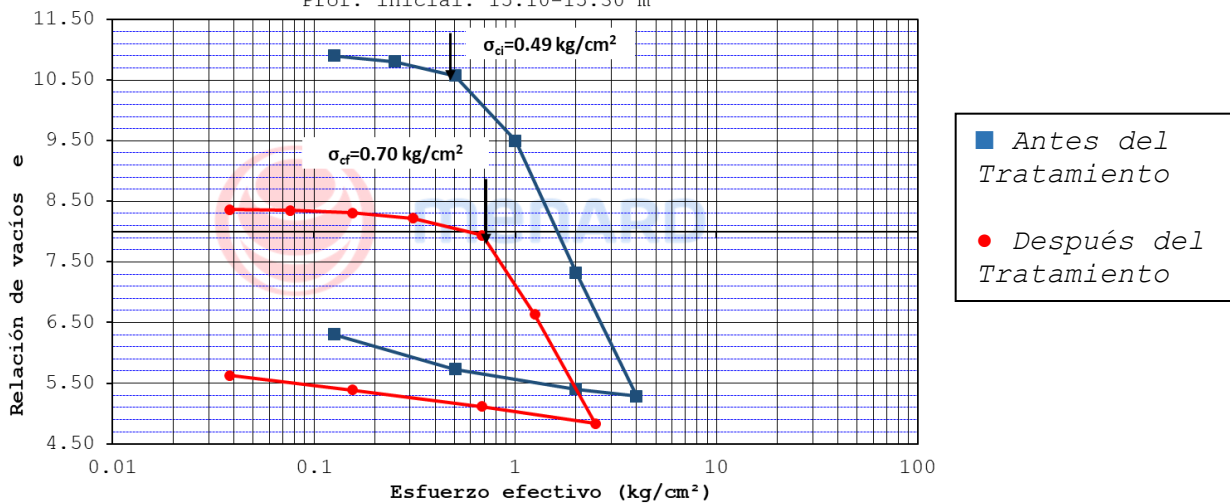

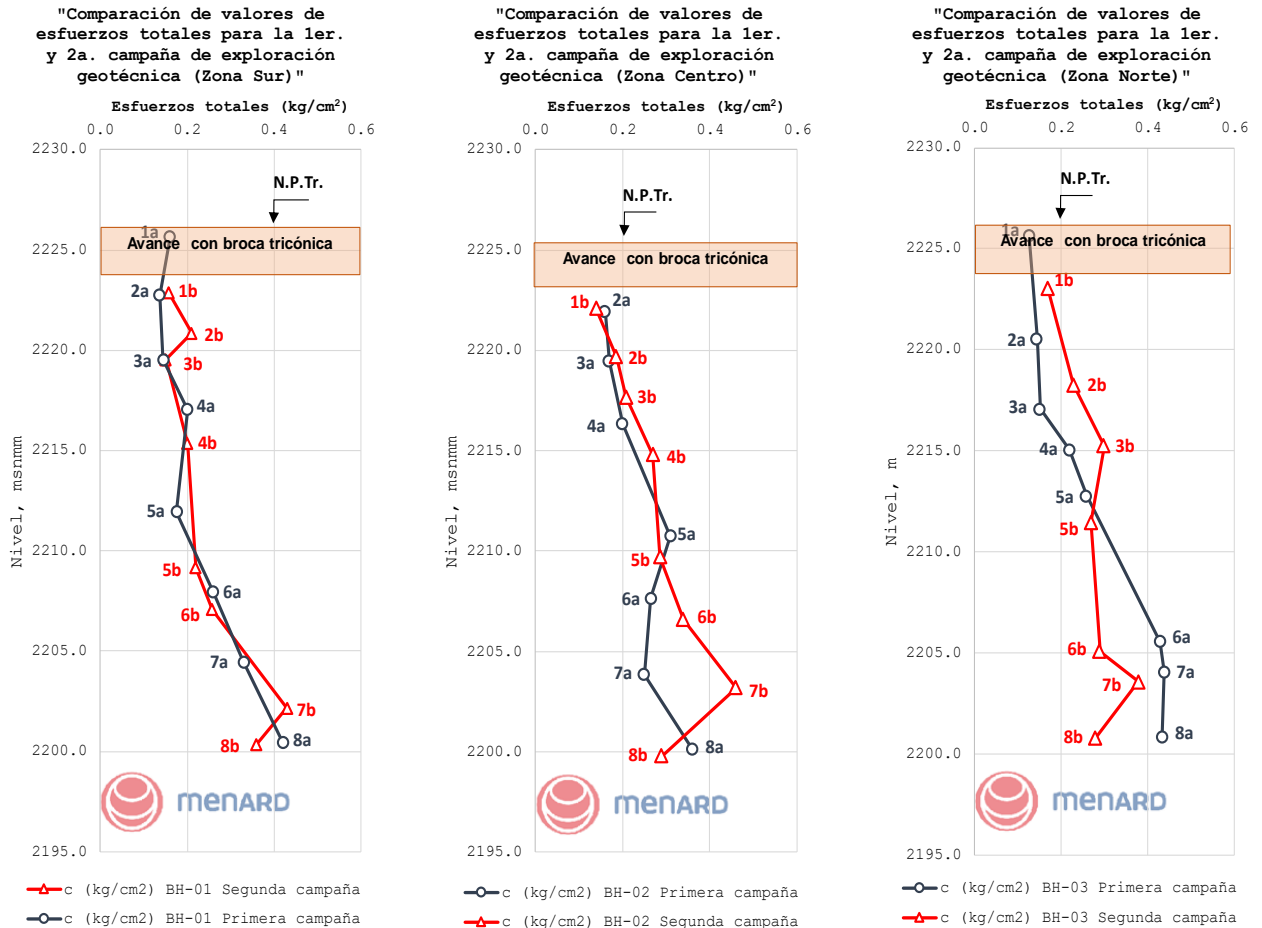



Figura 9.27. "Comparación de las curvas de compresibilidad (P_c , e). SS-03 M-05"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 61 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Finalmente, también las pruebas triaxiales, normalmente deberían reflejar el aumento en la resistencia al cortante no consolidado no drenado tal como lo hacen las veletas.

A continuación, se muestran las gráficas comparativas entre las pruebas triaxiales TX-UU, realizados antes y después del tratamiento.



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 62 de		152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

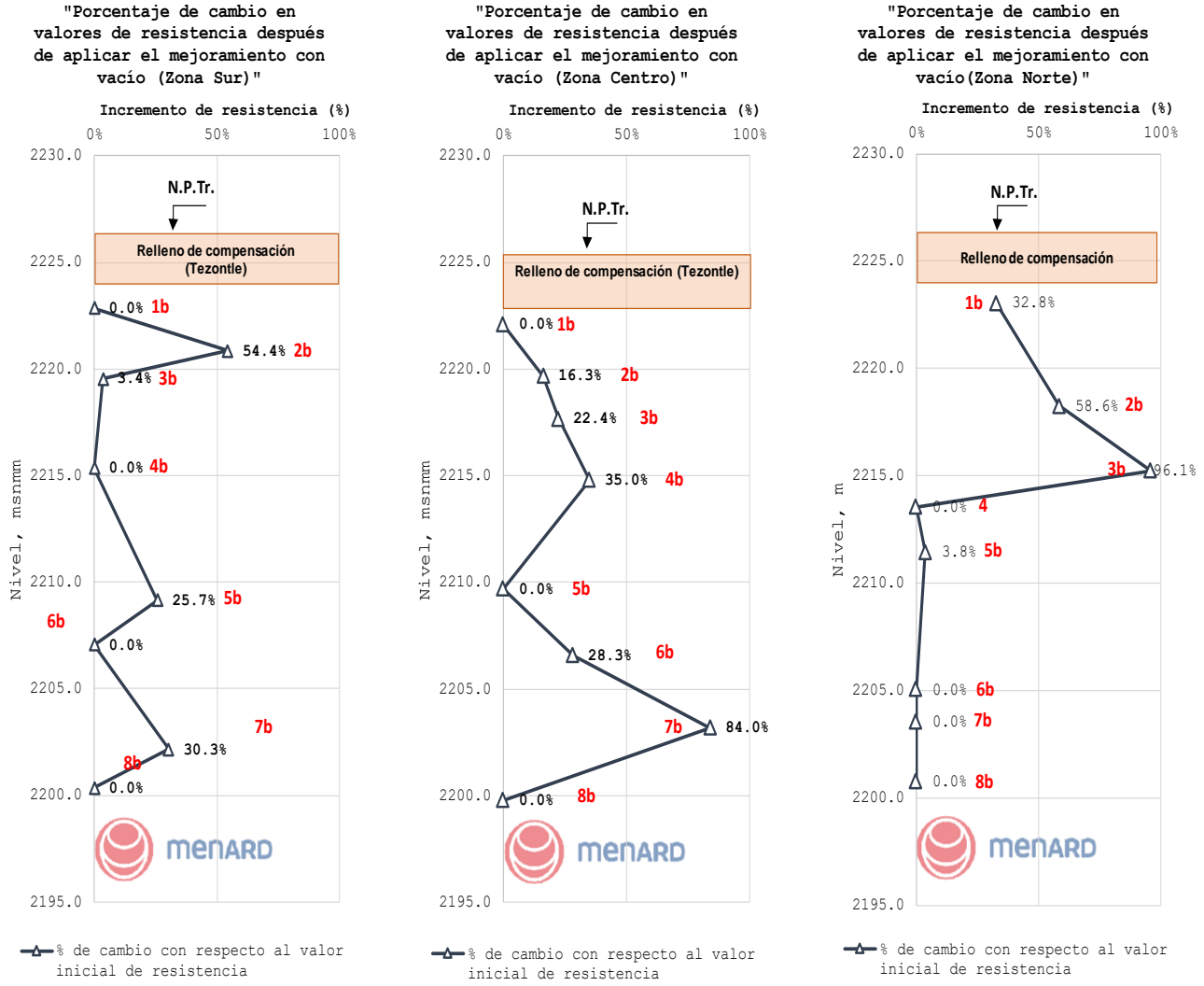



Figura 9.29. "Tasa de cambio en la resistencia al esfuerzo cortante en ensayos no consolidados no drenados TXX UU para muestras obtenidas antes y después del tratamiento"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 63 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Como puede observarse, las figuras anteriores no son congruentes con los resultados del mejoramiento que se determinó con los ensayos en sitio por medio de la veleta. Esto pudo deberse a un mal manejo de las muestras durante la trayectoria al laboratorio, o a un mal montaje o labrado. Es por esto que, para fines de este trabajo, se pueden dar por válidos los valores de resistencia al cortante obtenidos a partir de la prueba de veleta, ya que este ensayo se realiza en sitio y a una profundidad precisa, sin la necesidad de manipular la muestra.

Finalmente, en las siguientes tablas y figuras se puede resumir cuál fue el mejoramiento obtenido. Se representan, en magnitud y porcentaje, la disminución o incremento de ciertas propiedades índice y mecánicas, tales como:

Propiedades índice:

- Pesos volumétricos (γ)
- Contenidos de agua ($w\%$)
- Relación de vacíos (e_0)

Propiedades mecánicas:

- Cargas de pre-consolidación y OCR
- Módulos odométricos ($E_{\text{œd}}$)
- Coeficiente de consolidación vertical (c_v)
- Permeabilidad (k)



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-RF	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 64 of	152
TÍTULO:	Reporte Final y resultados obtenidos del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) para el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM)			


Tabla 9.4. "Comparación de las propiedades Índice de los sub-estratos de suelo de la Formación Arcillosa Superior obtenidos de muestras in-situ, antes y después de la aplicación de la consolidación acelerada por vacío con membrana, Menard- Vacuum".

Designación	Unid.	Prof. Antes		Prof. Despues		H	H	Δ	Y Antes	Y Despues	Δ	w% Antes	w% Despues	Δ Disminución	e0 Antes	e0 Despues	Δ Disminución
		m		m		Antes	Despues	Disminución	del tratamiento	del tratamiento	Incremento	del tratamiento	del tratamiento	Disminución	del tratamiento	del tratamiento	Disminución
		de	a	de	a	m	m	%	kN/m ³	kN/m ³	%	%	%	%	%	%	%
Costra Superficial	CS	0	-1	0	-0.65	1	0.65	35	14.50	15.00	3.45	-	-	-	-	-	-
Serie Arcillosa Superior	SAS1	-1	-5	-0.65	-4.15	4	3.5	13	13.66	13.70	0.29	165	97	41	3.28	2.5	24
	SAS2	-5	-8	-4.15	-6.65	3	2.5	17	12.66	12.70	0.32	300	237	21	10.54	6.7	36
	SAS3	-8	-11	-6.65	-9.15	3	2.5	17	11.20	11.90	6.25	250	234	7	12.84	8.8	31
	SAS4	-11	-16	-9.15	-13.75	5	4.6	8	12.16	12.30	1.15	230	215	6	6.22	5.2	16
	SAS5	-16	-20	-13.8	-17.45	4	3.7	8	12.25	12.30	0.41	200	178	11	8.65	7.8	10
	SAS6	-20	-27	-17.5	-24.25	7	6.8	3	12.17	13.90	14.22	225	193	14	7.74	3.9	50
	SAS7	-27	-30	-24.3	-27.05	3	2.8	7	12.00	12.00	0.00	230	215	7	8.45	8.0	5
Primera Capa Dura	C.D	-30	-32	-30	-32	2	2	0	19.00	19.00	0.00	-	-	-	-	-	-

Tabla 9.5. "Comparación de las Propiedades Mecánicas de los sub-estratos de suelo de la Formación Arcillosa Superior obtenidos de muestras in-situ, antes y después de la aplicación de la consolidación acelerada por vacío con membrana, Menard- Vacuum".

Designación	Unid.	Prof. Antes		Prof. Despues		OCR Antes	OCR Despues	Δ	Eoed Antes	Eoed Despues	Δ	Cv Antes	Cv Despues	Δ	k Antes	k Despues	Δ
		m		m		del tratamiento	del tratamiento	Incremento	del tratamiento	del tratamiento	Incremento	del tratamiento	del tratamiento	Disminución	del tratamiento	del tratamiento	Disminución
		de	a	de	a			%	MPa	MPa	%	m ² /year	m ² /year	%	m ² /year	m ² /year	kPa
Costra Superficial	CS	0	-1	0	-0.65	-	-	-	4.50	5.00	11	-	-	-	-	-	-
Serie Arcillosa Superior	SAS1	-1	-5	-0.65	-4.15	1.57	4.87	209.26	0.94	1.26	34	0.70	0.110 - 0.171	75.41	7.41E-03	1.36E-03	81.69
	SAS2	-5	-8	-4.15	-6.65	1.18	2.65	123.58	0.15	0.76	421	0.29	0.105 - 0.152	47.80	2.00E-02	2.00E-03	89.98
	SAS3	-8	-11	-6.65	-9.15	0.93	2.07	123.23	0.44	0.80	80	0.68	0.351 - 0.399	40.99	1.53E-02	5.01E-03	67.26
	SAS4	-11	-16	-9.15	-13.75	1.04	2.51	141.59	0.41	0.60	48	0.26	0.102 - 0.115	55.09	6.31E-03	1.92E-03	69.63
	SAS5	-16	-20	-13.8	-17.45	0.90	1.93	115.19	1.54	1.70	10	0.38	0.106 - 0.111	70.48	2.44E-03	6.54E-04	73.16
	SAS6	-20	-27	-17.5	-24.25	1.26	1.87	49.25	1.44	2.51	74	0.81	0.498 - 0.515	36.59	5.64E-03	2.05E-03	63.62
	SAS7	-27	-30	-24.3	-27.05	1.27	1.41	11.27	1.23	1.45	18	0.42	0.212 - 0.267	36.67	3.43E-03	1.85E-03	46.18
Primera Capa Dura	C.D	-30	-32	-30	-32	-	-	-	30.00	30.00	0	-	-	-	-	-	-

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 65 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

 **Variación en el espesor de estratos antes y después del tratamiento**

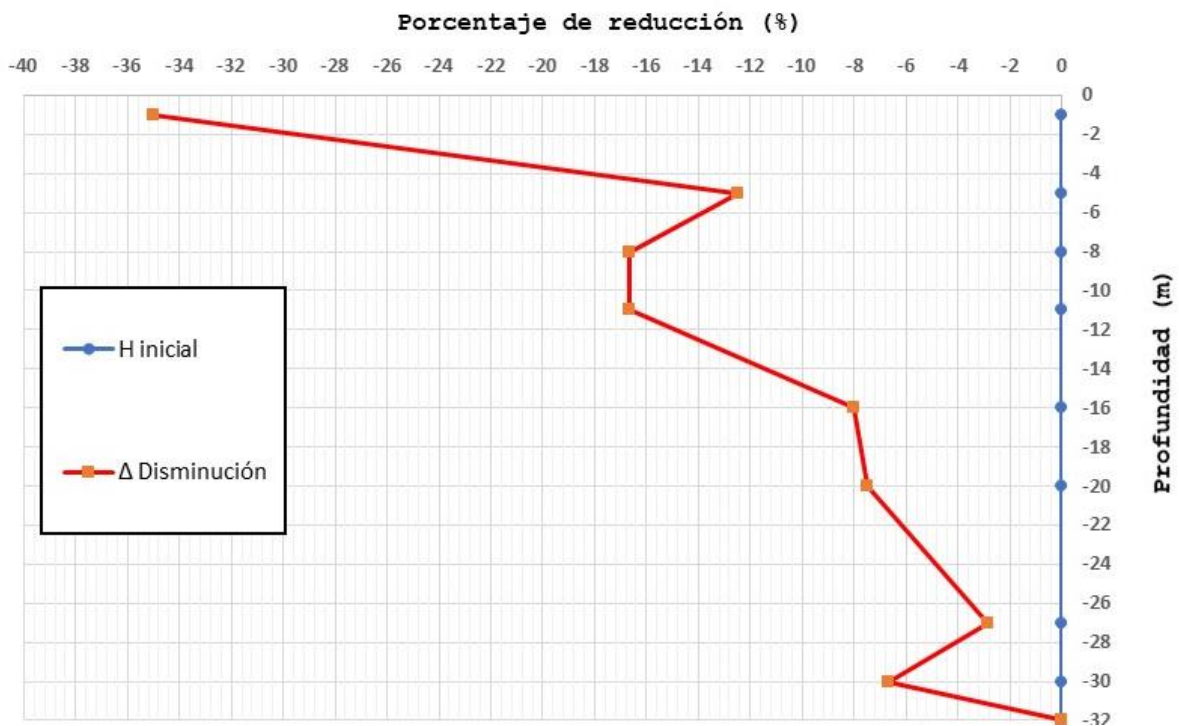




Figura 9.30 "Disminución en porcentaje del espesor de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 66 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

 **Variación en el peso volumétrico de cada estrato antes y después del tratamiento**

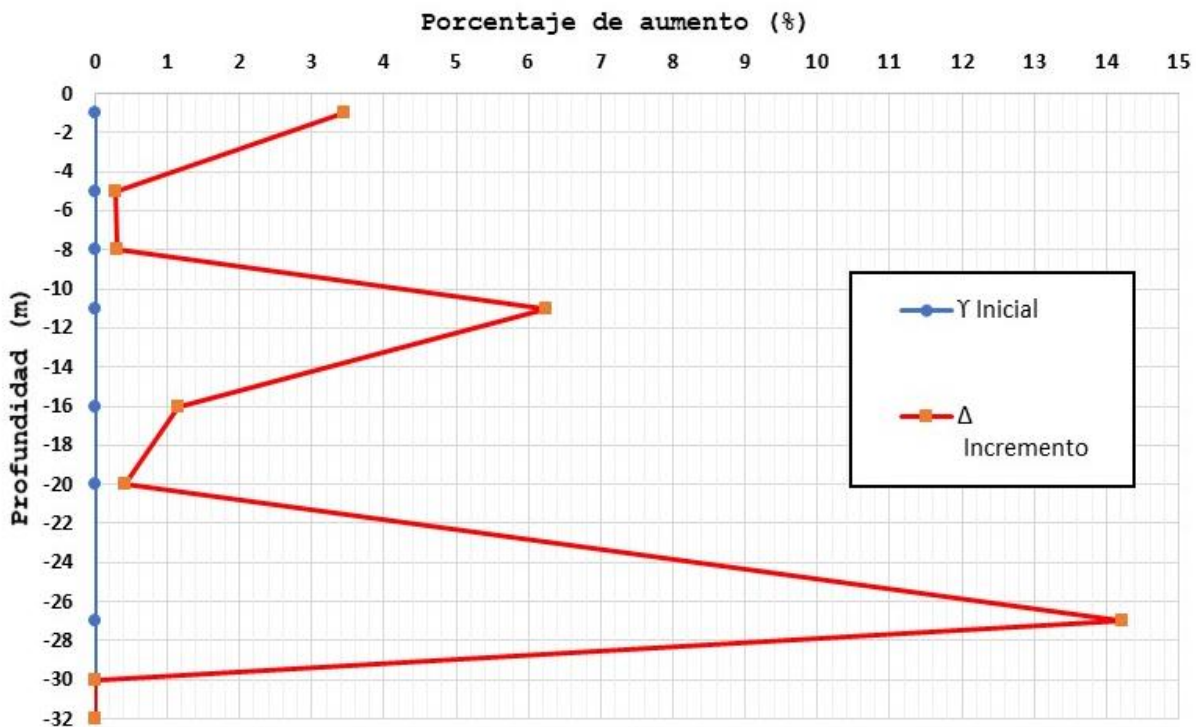




Figura 9.31 "Incremento en el peso volumétrico de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 67 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

 **Variación en el contenido de agua en cada estrato antes y después del tratamiento**

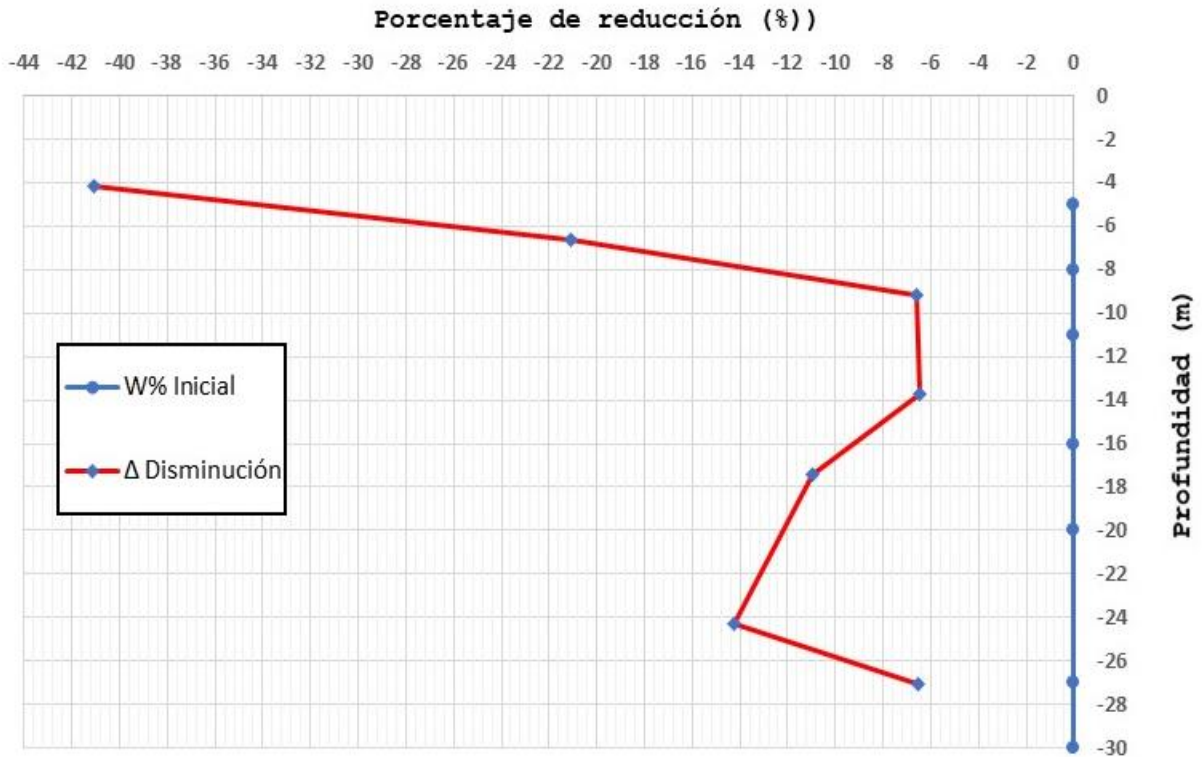




Figura 9.32 "Disminución del contenido de agua en cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 68 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

 **Variación en la relación de vacíos antes y después del tratamiento**

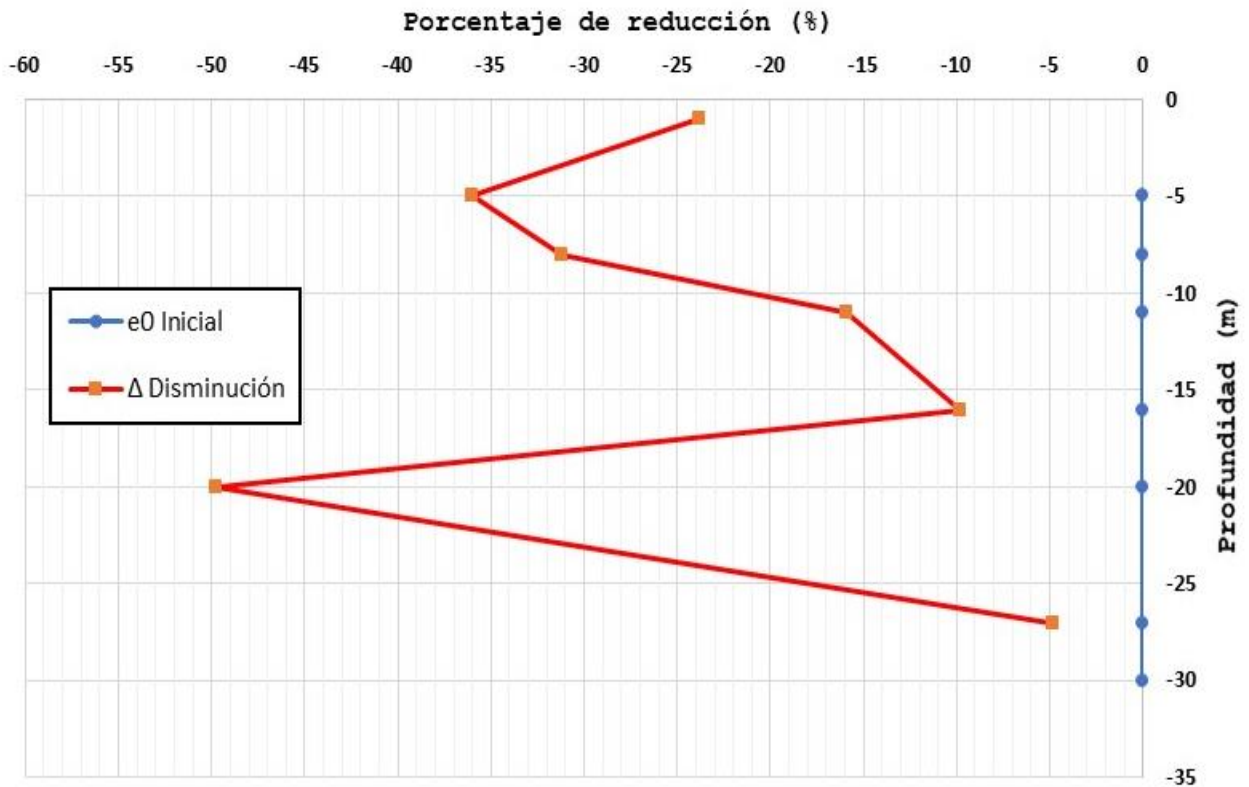



Figura 9.33 "Disminución de la relación de vacíos de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 69 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			



Variación en el OCR antes y después del tratamiento

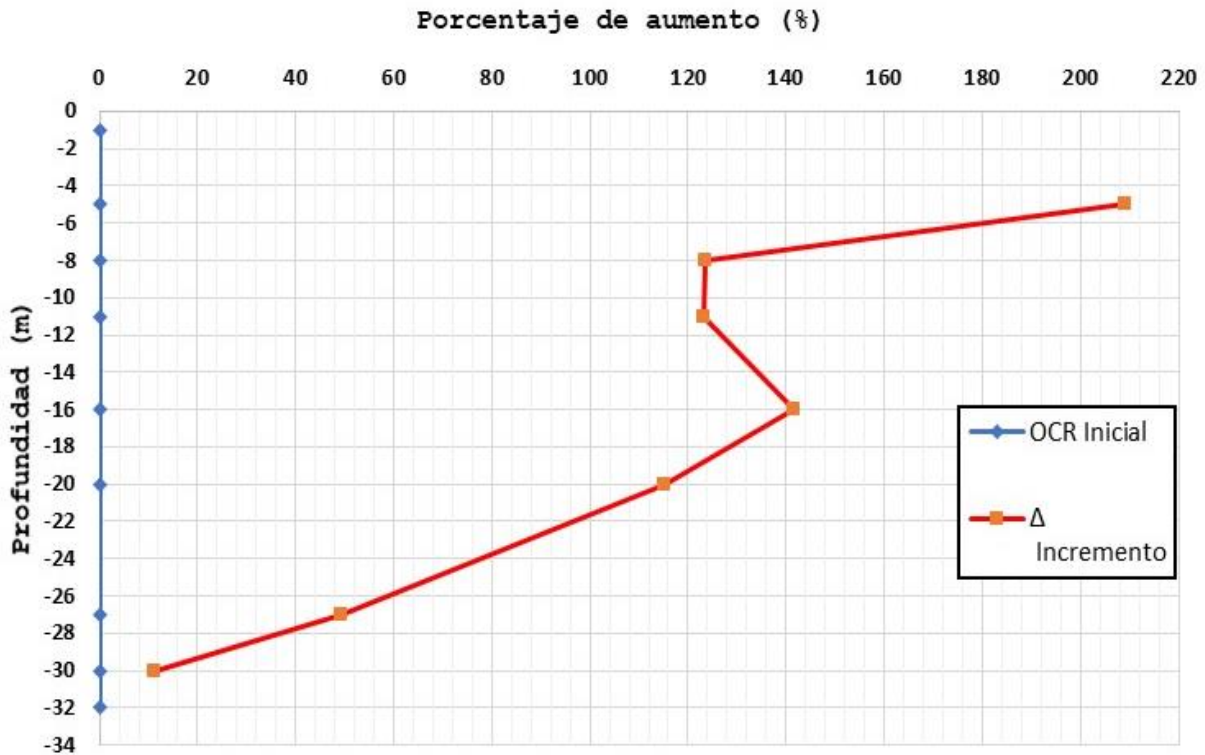




Figura 9.34 "Incremento de la carga de preconsolidación y OCR de cada subestrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 70 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

 **Variación en el Eoed antes y después del tratamiento**

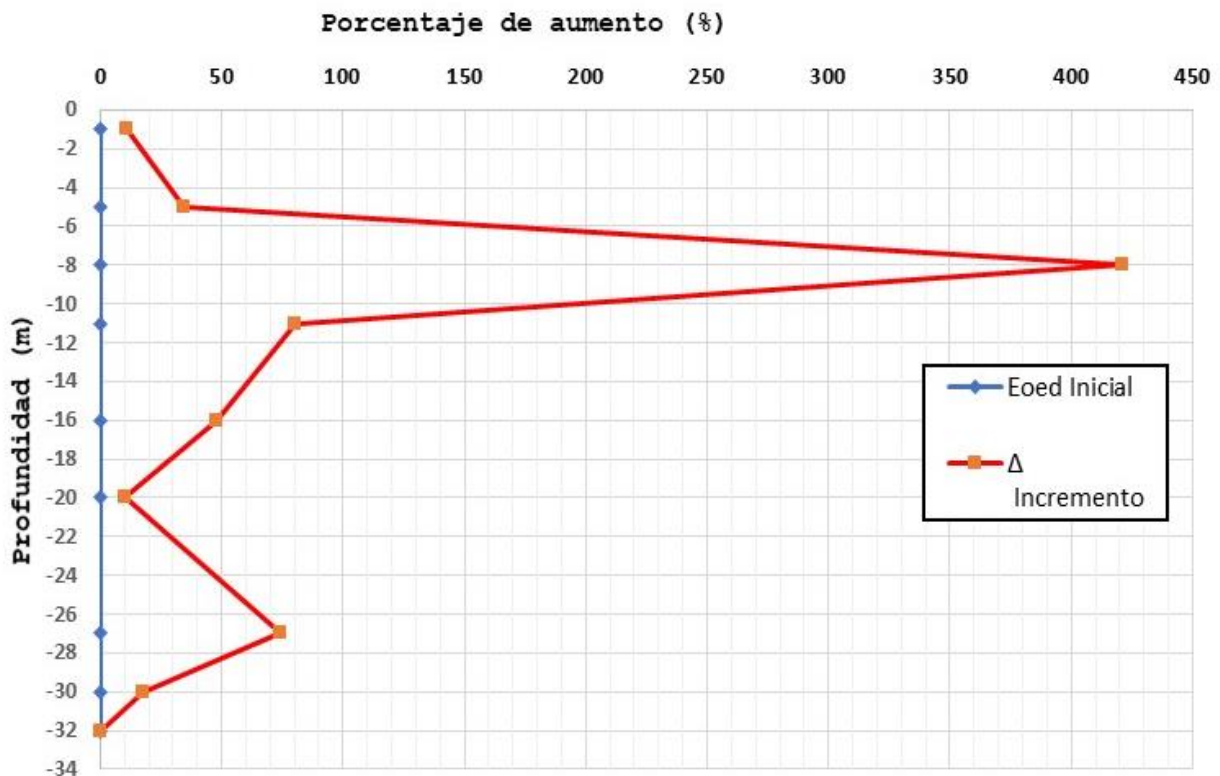



Figura 9.35 "Incremento del módulo odemétrico de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 71 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			



Variación en el Cv antes y después del tratamiento

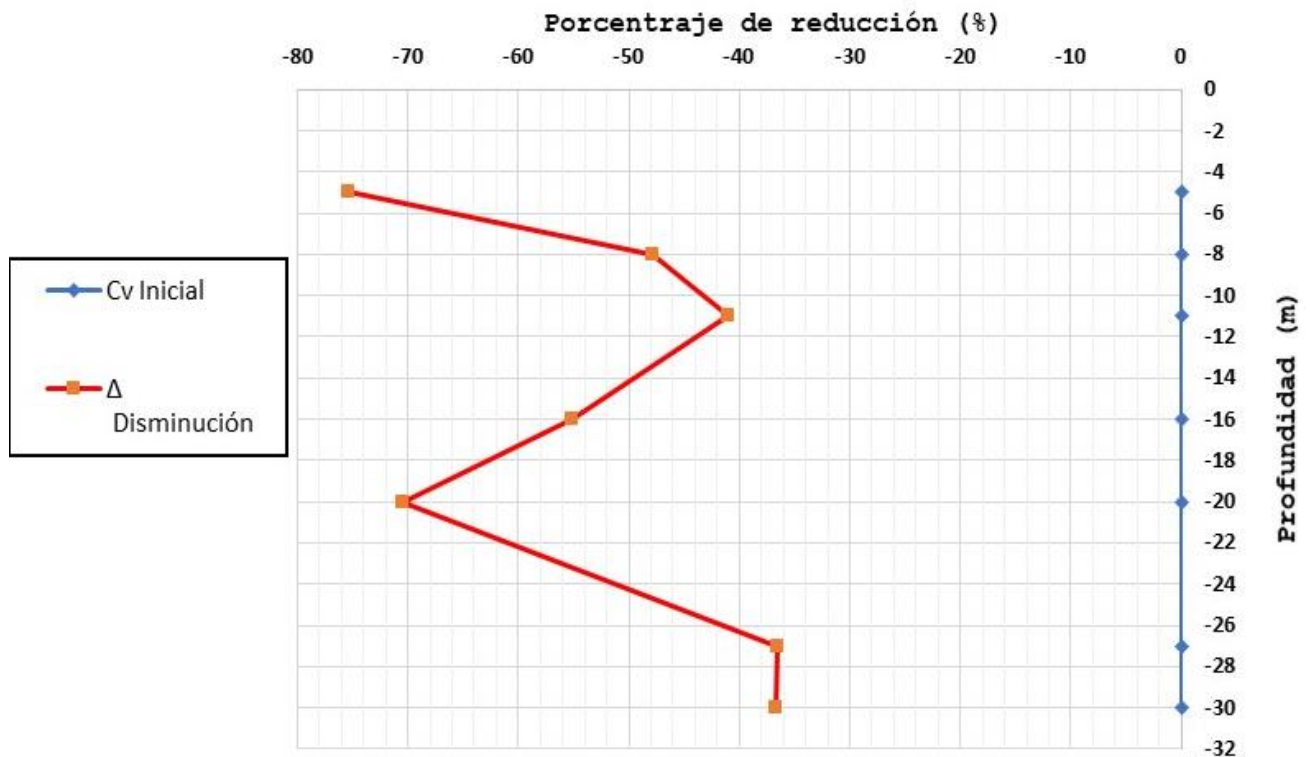



Figura 9.36 "Disminución del Coeficiente de consolidación vertical Cv de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 72 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			



Variación en la permeabilidad y después del tratamiento

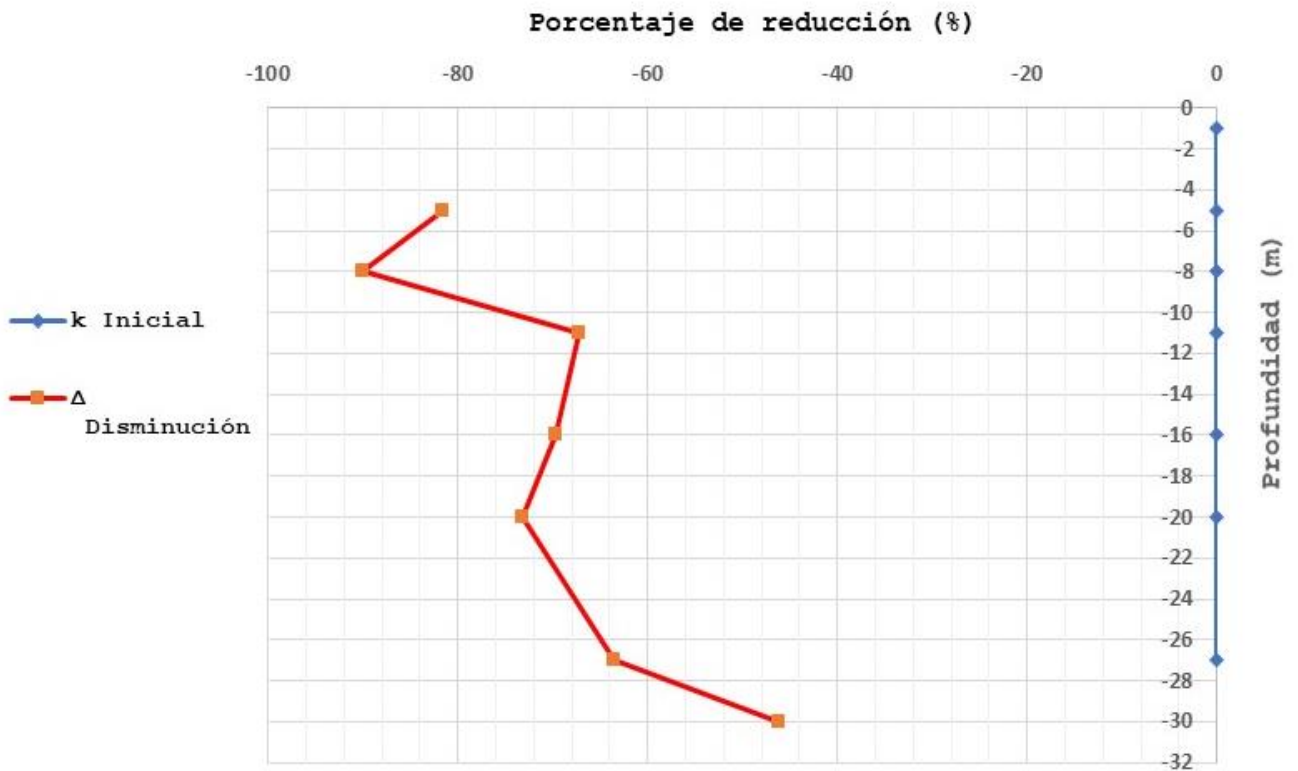




Figura 9.37 "Disminución de la permeabilidad de cada sub-estrato respecto a los valores obtenidos antes del tratamiento y los valores obtenidos en la campaña geotécnica al finalizar el tratamiento por vacío con membrana MENARD Vacuum".

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 73 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

En resumen, debido a las características propias del fenómeno de consolidación, tras la aplicación del vacío bajo la membrana algunos parámetros han mostrado una reducción de su valor inicial, como la relación de vacíos, el contenido de agua, la permeabilidad y coeficiente de consolidación; mientras que otros aumentaron, como los pesos volumétricos, las cargas de pre-consolidación, y las resistencias del suelo, así como los módulos de deformación (de Young o Edométricos).

La eficacia de la técnica de consolidación Menard Vacuum, se comprueba con los porcentajes de aumento o disminución de los parámetros descritos.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 74 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

10. CONCLUSIONES


El sistema de vacío con membrana, *Menard Vacuum*, utiliza la presión atmosférica de un sitio para precargar un terreno cohesivo impermeable con el fin de anticipar deformaciones superficiales de largo plazo activando su proceso de consolidación y preparando al terreno para resistir las cargas de servicio a las que se verá sujeto en la vida útil del proyecto. El panel de prueba de consolidación por vacío con membrana ha servido para comprobar la eficiencia y eficacia de este sistema de mejoramiento de suelos en el terreno donde actualmente se construye el Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM).

La presión atmosférica del Valle de México, a más de 2240 m de altura sobre el Nivel Medio del Mar, es de 77 kPa. Las presiones de vacío alcanzadas debajo de la membrana fueron de 70 kPa al inicio de la prueba (92 % de eficiencia del sistema), y fueron disminuyendo poco a poco conforme aumentó el asentamiento, teniendo más de 60 kPa al finalizar los seis meses de aplicación del vacío, teniendo un promedio en toda la plataforma y durante el periodo de tratamiento, de 62.9 kPa. Este fenómeno de disminución de la depresión en el sistema conforme avanza el asentamiento es un comportamiento normal, ya que el bombeo tiende a perder eficiencia conforme los drenes horizontales bajan durante la generación de asentamientos en la superficie, por lo que una re-nivelación de las bombas hacia abajo, tratando de tener la bomba a la altura de los drenes horizontales, es recomendable para que la depresión se mantenga en los valores que se requieran.

Como dato de referencia, una carga de 62.9 kPa es comparable a la presión ejercida por el peso de un terraplén de basalto de más de 3 m de altura, el cual tendría que ser colocado en etapas secuenciales, llevadas a cabo en diferentes tiempos y tomando las precauciones necesarias para evitar que el terreno falle por falta de resistencia al esfuerzo cortante. Con el sistema de consolidación por vacío con membrana la presión ejercida no solo alcanzó la magnitud promedio señalada sino que se aplicó de manera isotrópica en toda la masa de suelo, hasta los 27 m de profundidad.

Con la prueba se comprobó que, aun cuando el Valle de México tiene presiones atmosféricas más bajas que a nivel del mar, la técnica de consolidación por vacío con membrana es aplicable con mucha eficiencia, generando magnitudes de precarga importantes.

Se realizaron ensayos Lefranc para obtener las permeabilidades de los pequeños lentes arenosos que se intercalan en la FAS, encontrándose que
MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 75 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

éstas son pequeñas. Al haber realizado la prueba, se ha verificado que la permeabilidad de estos lentes es tan baja que no influye en la generación de las presiones isotrópicas de vacío en la profundidad, por lo que el sistema de vacío con membrana es perfectamente aplicable en las arcillas sin necesidad de crear barreras impermeables artificiales.

Para acelerar el proceso de consolidación del terreno, se instaló una malla de drenes verticales prefabricados (drenes sintéticos planos), DVP, como se haría en un sistema típico de mejoramiento de suelos con precarga y drenes. En esta prueba, se utilizaron los mismos drenes que se utilizan para las pistas del propio aeropuerto. El arreglo de estos DVPs incide directamente en la velocidad de consolidación del terreno: a menor separación, mayor será la velocidad de consolidación.

El arreglo de drenes y la profundidad de instalación realizada en este panel de consolidación por vacío con membrana fue el equivalente, en cuanto a arreglo y profundidad, al instalado en el panel de prueba Dren a Dren. Esta condición obliga a generar los mismos porcentajes de consolidación U%, en los mismos tiempos de aplicación de cargas. La diferencia que existe entre los asentamientos generados entre los dos paneles de prueba (se tienen magnitudes de asentamiento 1.50 veces más grandes en el panel Menard Vacuum con membrana que con el de la técnica Dren a Dren), significa que en el caso de la prueba con membrana, la magnitud de carga efectivamente aplicada en el suelo es mucho mayor: Se estima que en el panel dren a dren se aplicaron un máximo de 27 kPa de succión de vacío promedio y en el de Menard Vacuum se aplicaron ininterrumpidamente más de 60 kPa de carga de vacío en todo el suelo. De esta manera, con el mismo grado de consolidación en los mismos tiempos, el mejoramiento del suelo es más alto en el caso con membrana: El terreno se prepara para soportar mayores magnitudes de carga con menos asentamientos residuales.

Para generar la succión o vacío en la masa de suelo, se colocan un conjunto de drenes horizontales dentro de una capa drenante superficial que contiene también el extremo superior de los DVPs. Los drenes horizontales se conectaron directamente a las bombas de vacío y fueron los encargados de transportar el agua y el aire proveniente del subsuelo cuando se operaron las bombas de vacío. Para aislar la masa de suelo y realmente generar la presión de vacío o depresión isotrópica necesaria en el sistema, se instaló sobre la capa drenante una membrana impermeable que a su vez se ancló a las zanjas de estanqueidad perimetrales por debajo del nivel freático. Esto generó, con la misma arcilla (impermeable) circundante al panel, barreras naturales de estanqueidad alrededor de la masa de suelo tratada.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 76 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


La malla de drenes horizontales, la capa drenante y la membrana de estanqueidad no intervienen en el cálculo de los asentamientos o grado de consolidación del suelo.

Por encima de la capa drenante y de la membrana impermeable se colocó un relleno de compensación de niveles que consistió en 1.0 m de relleno de tezontle. Este relleno influye en la magnitud total de los asentamientos que se generará en el sistema, ya que su instalación incide en el aumento del esfuerzo efectivo de las arcillas y detona entonces su proceso de consolidación y, por tanto, genera un asentamiento superficial; sin embargo, la carga se trasmite al suelo a través de bulbos de presión que no son uniformes y disminuyen con la profundidad por lo que la participación en la consolidación total es menor frente a la carga de vacío que tiende a ser isotrópica en todo punto.

Es importante recalcar el hecho de que las presiones de vacío realmente aplicadas en el terreno deben ser medidas por debajo de la membrana impermeable, y no en la bomba de vacío. Por ello, se colocaron diversos vacuómetros distribuidos uniformemente bajo la membrana para verificar cuáles son las presiones que el sistema provee al terreno.

A los seis meses de operación del sistema de consolidación por vacío con membrana, Menard Vacuum, se obtuvo un asentamiento total de 2.90 m, medido en el centro del panel. Una vez terminado el periodo de operación del sistema, se decidió apagar las bombas pero mantener cerradas las válvulas de salida de agua y aire durante 15 días, con el fin de observar cómo era la disipación de la depresión existente dentro del sistema hermético. Bajo esta condición, se observó que durante los 15 días posteriores al apagado de las bombas, el vacío se mantuvo relativamente estable y el suelo continuó su proceso de consolidación aun sin consumo de energía eléctrica, logrando así aumentar el asentamiento total a 2.95 m. Posteriormente, al realizar la apertura de las válvulas y provocar el escape del vacío y el consecuente alivio de esfuerzos en el suelo, se observó un rebote elástico que disminuyó el asentamiento total en un par de centímetros, lo cual nos permite verificar y confirmar que la generación del vacío bajo la membrana significa realmente aplicar una carga constante al suelo durante el periodo de tratamiento: como es de esperarse, un suelo sometido a un incremento de carga constante y que después es descargado, presenta un rebote elástico.

Otro punto importante por mencionar es que la membrana sufrió una fuga durante el proceso de instalación del relleno de compensación por encima de ella, y que dicha fuga se detectó fácilmente gracias al monitoreo de los vacuómetros que mostraron cerca de la zona de la fuga, en tiempo real, una

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 77 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

diminución de la presión por vacío medida. Los monitoreos de las depresiones a través de los vacuómetros ayudan entonces a detectar eventuales fugas.


Aun cuando las fugas son fáciles de reparar agregando parches termofusionados en el punto donde se haya perforado, la protección de la membrana es esencial para el buen funcionamiento del sistema durante el tiempo de aplicación del vacío. En esta prueba se ha colocado una cama de arena de tezontle abajo y encima de la membrana para protegerla. Una vez lograda esta protección, en cualquier caso, se pueden colocar tantas capas de relleno de compensación como se deseen y generar una plataforma plana que puede utilizarse como paso de vehículos y maquinaria ligera, esto con el fin de permitir la realización de trabajos en zonas aledañas. Las zonas en donde se aplica la técnica MENARD VACUUM, siempre podrán formar parte de caminos de acceso, oficinas, etc., que se necesiten habilitar para construir el aeropuerto.

Una ventaja de tener una membrana en la parte superior es que cuando se generan asentamientos de magnitud importante la membrana puede sobrepasar el nivel del agua freática del terreno y entonces, el tirante de agua que se va acumulando sobre la membrana conforme aumenta el asentamiento, actúa ahora como una carga vertical adicional que a su vez induce mayores presiones, mayores asentamientos, y por consiguiente, mayores grados de consolidación.

A través de las mediciones realizadas, se pudieron correlacionar las propiedades mecánicas de los estratos de suelo y obtener un modelo estratigráfico que representa el comportamiento. Con este modelo y el programa TARAO, creado por MENARD, fue posible predecir los asentamientos al final de la prueba, los grados de consolidación alcanzados en la arcilla y las cargas de pre-consolidación que alcanzará el suelo. Estas cargas dan, al final de cuentas, la medida del mejoramiento que se obtuvo con esta técnica.

De los análisis realizados con TARAO, y combinando los resultados con los asentamientos, para el panel de prueba de vacío con membrana se estimó entonces que, en 6 meses de aplicación ininterrumpida de las cargas de vacío (más de 60 kPa promedio) más relleno de compensación, el asentamiento final, al centro del terraplén de prueba sería de alrededor de 3.0 m, lo cual es bastante acertado con respecto a los datos medidos en campo.

Con el fin de verificar las propiedades de los suelos después del tratamiento de vacío con membrana, se realizó una campaña de exploración

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 78 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

geotécnica al final de la prueba, esto con el fin de realizar una comparación fiel con las propiedades medidas en suelo antes de la prueba.

Debido al fenómeno de consolidación, tras la aplicación del vacío bajo la membrana algunos parámetros mostraron una reducción de su valor inicial, como la relación de vacíos, el contenido de agua, la permeabilidad y coeficiente de consolidación; mientras que otros aumentaron, como los pesos volumétricos, las cargas de preconsolidación, y las resistencias del suelo, así como los módulos de deformación (de Young o Edométricos).


La eficacia de la técnica de consolidación Menard Vacuum, se comprueba con los porcentajes de aumento o disminución de los parámetros descritos en toda la profundidad de tratamiento.

En las pruebas realizadas en sitio se observa un incremento en la resistencia al esfuerzo cortante medida con pruebas de veleta y piezocono. Dicho incremento alcanzó porcentajes de cambio de hasta 200% en los estratos más someros.

La comparación de las curvas de compresibilidad de la arcilla obtenidas en laboratorio a partir de las muestras inalteradas extraídas en diferentes sub-estratos antes y después del tratamiento evidencian reducciones en las relaciones de vacío de hasta 50% de los valores iniciales, y aumentos en las cargas de pre-consolidación de entre 20 kPa y hasta más de 30 kPa, con 6 meses de tratamiento. La precarga aplicada al suelo arroja valores de OCR de entre 1.4 y 4.9 en todo el espesor de la formación arcillosa superior.

Por otro lado, los contenidos de agua disminuyeron entre 7 y 41 %.

Según los datos obtenidos, al término del tratamiento, el suelo será capaz ahora de soportar cargas uniformes de más de **50 kPa** con asentamientos residuales muy limitados.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 79 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

ANEXO A. FOTOGRAFÍAS DEL PANEL DE PRUEBA.


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 80 of	152



Figura A.1. "Panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - Conformación de plataforma de trabajo preliminar e instalación de instrumentación."


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 81 of	152



Figura A.2. "Panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - Instalación de Drenes Verticales Prefabricados."


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 82 of	152



Figura A.3. "Panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - Vista de la zanja de estanqueidad perimetral."


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 83 of	152



Figura A.4. "Panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - Vista aérea de la zona de prueba recubierta con la membrana impermeable y e la zanja de estanqueidad perimetral."


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 84 of	152



Figura A.5. "Panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - Vista aérea de la zona de prueba al momento de la instalación del relleno de compensación."




	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 85 of	152



Figura A.6. "Vista aérea del panel de prueba de consolidación acelerada con vacío con membrana - Menard Vacuum - en donde se observa el espejo del nivel natural del agua del terreno que está por arriba de la última capa del relleno de compensación: Al momento de la foto, el terraplén de 2.0 m de altura total tenía ya un asentamiento producido de 2.94 m y el nivel natural del agua del terreno se encuentra a 0.80 m bajo el nivel original de terreno (14 cm de tirante de agua sobre el panel)"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 86 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


ANEXO B. RESUMEN DE LA INSTRUMENTACIÓN DEL PANEL DE PRUEBA, RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL MONITOREO PARA DEFINIR EL COMPORTAMIENTO

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 87 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


B.1 FASES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO Y OPERACIÓN DEL PANEL DE SISTEMA DE VACÍO CON MEMBRANA

Tabla B.1; "Fases del proceso constructivo del panel de prueba de consolidación acelerada por vacío con membrana (Menard Vacuum)"


ACTIVIDAD	PERIODO y FOTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación y despalme ➤ Se retira el material orgánico para conformar una plataforma limpia y nivelada. 	<p style="text-align: center;">03/05/2017 al 05/05/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma de trabajo ➤ Primera etapa, la cual consiste en la colocación de 50 cm de tezontle. 	<p style="text-align: center;">10/05/2017 al 18/05/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Exploración geotécnica ➤ CPTu ➤ SPT ➤ Sondeo selectivo ➤ Prueba de Veleta ➤ Lefranc 	<p style="text-align: center;">22/05/2017 al 23/06/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentación Geotécnica ➤ Instalación de los aparatos de medición para el seguimiento del mejoramiento de suelos. 	<p style="text-align: center;">22/05/2017 al 23/06/2017</p> 

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 88 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


ACTIVIDAD	PERIODO y FOTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma de trabajo ➤ Segunda etapa, la cual consiste en 50 cm de tezontle adicional para conformar una plataforma de 1.0 m y poder transitar con la máquina de PVD's. 	<p style="text-align: center;">29/06/2017 al 04/07/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Hincado de drenes verticales (PVD) ➤ Se realiza el hincado de PVD's a una profundidad de 27 m desde el N.T.N. con el fin de no conectar con la capa dura. 	<p style="text-align: center;">06/07/2017 al 24/07/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de drenes horizontales ➤ Se realiza la colocación de drenes horizontales 50 cm bajo el nivel de plataforma. 	<p style="text-align: center;">12/07/2017 al 04/08/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Zanja de estanqueidad perimetral ➤ Se realiza la zanja perimetral de estanqueidad donde se ancla la membrana. 	<p style="text-align: center;">07/08/2017 al 06/08/2017</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Cama de arena de tezontle ➤ Sobre la plataforma de trabajo se coloca una cama de arena como protección para la membrana. 	<p style="text-align: center;">14/08/2017 al 23/08/2017</p> 

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 89 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


ACTIVIDAD	PERIODO y FOTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Colocación de Geomembrana ➤ Se coloca la membrana sobre la plataforma de trabajo y se ancla a la zanja de estanqueidad para formar un sistema impermeable. 	24/08/2017 al 01/09/2017 
<ul style="list-style-type: none"> • Conexión del sistema de Vacío ➤ Se conectan los drenes horizontales al sistema de bombas de Vacío y se sellan herméticamente las salidas de la membrana. 	04/09/2017 al 07/09/2017 
<ul style="list-style-type: none"> • Arranque del sistema de Vacío ➤ Se encienden las bombas de vacío y se verifica el funcionamiento de las mismas. 	07/09/2017 
<ul style="list-style-type: none"> • Verificación del sistema ➤ Se verifica que no existan fugas en la membrana y que las depresiones se mantengan de manera eficiente. 	08/09/2017 al 02/10/2017 

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 90 de	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

ACTIVIDAD	PERIODO y FOTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Cama de Arena de tezontle ➤ Como protección a la membrana, se coloca una cama de arena de 30 cm. 	02/10/2017 al 06/10/2017 
<ul style="list-style-type: none"> • Relleno de compensación ➤ Finalmente, se colocan 70 cm de material de tezontle. 	17/10/2017 al 01/11/2017 
<ul style="list-style-type: none"> • Cerrado de válvulas y apagado de bombas de vacío ➤ Se mantienen cerradas las válvulas con el fin de mantener el vacío en el suelo y monitorear la disipación gradual del mismo. 	07/03/2018 
<ul style="list-style-type: none"> • Apertura de válvulas ➤ Se abren las válvulas con el fin de observar el tiempo de disipación de la presión de vacío que se encontraba en el suelo bajo la membrana. 	22/03/2018 

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 91 de	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

ACTIVIDAD	PERIODO y FOTOGRAFÍA
<ul style="list-style-type: none"> • Periodo complementario para tomas de lecturas de la instrumentación ➤ La medición de la instrumentación continúa por un periodo complementario de 2 meses a partir del apagado de las bombas de vacío. 	<p>07/03/2018 - 07/05/2018</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Exploración Geotécnica ➤ Se realiza una segunda campaña de exploración geotécnica y pruebas de laboratorio con el fin comparar las propiedades del suelo antes y después del tratamiento. 	<p>07/05/2018 - 07/06/2018</p> 

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 92 de 152	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.2 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA


Con el fin de conocer el comportamiento de la zona tratada, se colocó la instrumentación geotécnica descrita a continuación:

Tabla B.2; "Instrumentación colocada en el panel de prueba"

INSTRUMENTO	CANTIDAD TOTAL	PROFUNDIDAD A PARTIR DEL N.T.N.
Bancos de Nivel Profundo	2	50 m
Placas de control de asentamientos	27	Sobre la plataforma de trabajo
Placas de referencia	7	N.T.N.
Piezómetros Eléctricos Push In	19	2 m, 8 m, 12 m, 20 m, 27 m Y 35 m
Piezómetros Casagrande	5	5 m, 8 m, 12 m, 20 m, 27 m
Pozos de Observación	2	5 m
Inclinómetros	7	31 m
Extensómetros Magnéticos ('Arañas magnéticas')	3	2 m, 8 m, 12 m, 20 m, 27 m Y 30 m
Celda de presión	2	N.T.N.
Vacuómetros	13	30 cm bajo la membrana

La instrumentación enlistada anteriormente tuvo ubicaciones tales que permitieron comparar los sucesos ocurridos en cada zona del panel, su influencia y su funcionamiento. La figura siguiente muestra la ubicación de los instrumentos.

Para facilitar la identificación de los mismos, se clasifican por color y nombre.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 93 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Por otro lado, el monitoreo se llevó de manera frecuente por medio de un sistema automatizado el cual permitió recabar datos en horarios establecidos, periódicamente y diariamente. Así mismo nos permitió visualizar la información a última hora por medio de un software de seguimiento (Geoscope). En algunos instrumentos es necesario obtener la información de manera manual, pero los valores fueron procesados y actualizados diariamente en el sistema mencionado anteriormente.

Tabla B.3; "Frecuencias de monitoreo por instrumento antes y durante la operación del sistema de vacío"

INSTRUMENTO	CANTIDAD TOTAL	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE LECTURA	PERIODO DE LECTURA
Bancos de Nivel Profundo	2	50	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Placas de control de asentamiento	27	PLATAFORMA de 1m	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Placas de referencia	7	NTN	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Piezómetros Eléctricos Push In	19	2,8,12,20,27,35	Datalogger (Automatizado)	Cada 20 minutos
Celda de presión	2	NTR	Datalogger (Automatizado)	Cada 20 minutos
Placa de Asentamiento Eléctrica	3	NTN	Datalogger (Automatizado)	Control por parte de la UNAM
Vacuómetros	13	1° CAPA DE T.	Manual	Tres veces al día
Piezómetros Casagrande	5	5,8,12,20,27	Manual	1 vez al día
Pozos de Observación	2	5	Manual	1 vez al día
Inclinómetros	7	31	Manual	1 vez al día
Extensómetros Magnéticos	3	31	Manual	1 vez al día



	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 94 de 152	
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla B.4; "Frecuencias de monitoreo por instrumento después de la operación del sistema de vacío"

INSTRUMENTO	CANTIDAD TOTAL	PROFUNDIDAD (m)	TIPO DE LECTURA	PERIODO DE LECTURA
Bancos de Nivel Profundo	2	50	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Placas de control de asentamiento	27	PLATAFORMA de 1m	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Placas de referencia	7	NTN	Estación total automatizada	Cada 4 horas
Piezómetros Eléctricos Push In	19	2,8,12,20,27,35	Datalogger (Automatizado)	Cada 20 minutos
Celda de presión	2	NTR	Datalogger (Automatizado)	Cada 20 minutos
Placa de Asentamiento Eléctrica	3	NTN	Datalogger (Automatizado UNAM)	Control por parte del Instituto de Ingeniería
Vacuómetros	13	1° CAPA DE T.	Manual	-
Piezómetros Casagrande	5	5,8,12,20,27	Manual	Cada tercer día (Lunes Miércoles y Viernes)
Pozos de Observación	2	5	Manual	Cada tercer día (Lunes Miércoles y Viernes)
Inclinómetros	7	31	Manual	Cada tercer día (Lunes Miércoles y Viernes)
Extensómetros Magnéticos	3	31	Manual	Cada tercer día (Lunes Miércoles y Viernes)

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México		Page 95 of

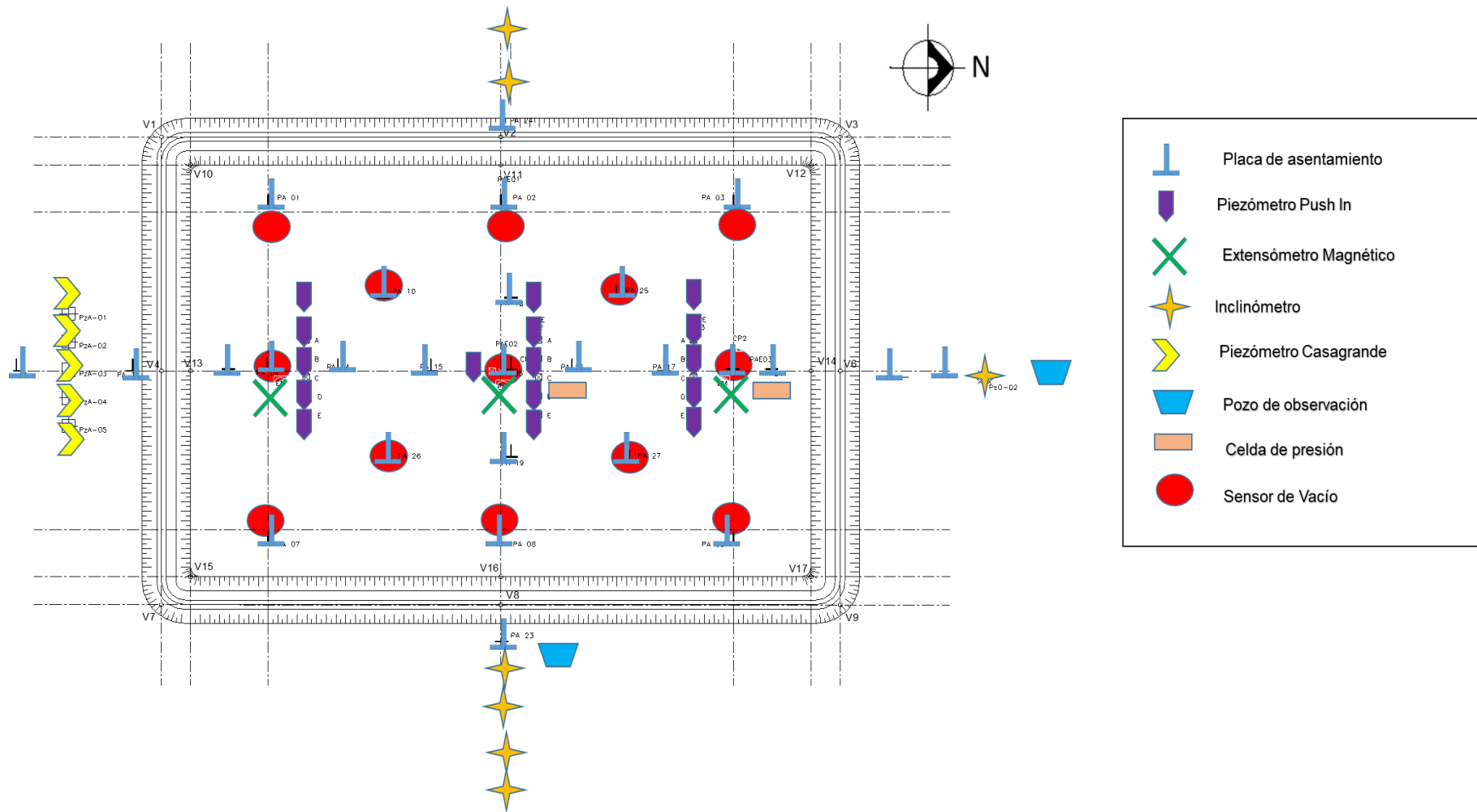



Figura B.1. "Ubicación de los diferentes tipos de instrumentos para monitoreo del panel de prueba de consolidación acelerada por vacío con membrana - Menard Vacuum"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 96 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3 MONITOREO E INTERPRETACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Al recopilar los datos obtenidos del monitoreo de la instrumentación es posible realizar un análisis de los mismos y hacer una interpretación del comportamiento del suelo al ser tratado con el sistema de Vacío. También permite dar seguimiento al funcionamiento del sistema y dar solución inmediata si se registra algún fallo o contingencia.

B.3.1 MONITOREO DE DEPRESIONES


B.3.1.1 Antes del inicio del Vacío

Los captore de depresión (vacuómetros) fueron instalados durante la etapa de colocación de drenes horizontales, 30 cm por debajo de la membrana impermeable y distribuidos uniformemente dentro del panel, con el fin de monitorear la depresión transmitida al suelo y verificar la eficiencia del sistema (cuánto vacío se transmite como presión de precarga al suelo con respecto a la presión atmosférica del lugar). Dichos sensores se numeran y se conectan a unas carátulas de lectura que permanecen fijas a un tablero de lectura localizado fuera del terraplén de prueba y que es accesible al personal que toma lecturas del monitoreo. Un plano en planta con los números correspondientes a cada uno de los sensores indica su ubicación espacial dentro del panel lo cual permite conocer la depresión que se aplica en cada zona del panel. Así mismo se coloca un Vacuómetro en cada una de las bombas de vacío para monitorear la eficiencia de las mismas.

Antes de arrancar el sistema de vacío, se verifica que los Vacuómetros se encuentren correctamente conectados a los sensores y que correspondan a la ubicación asignada.

B.3.1.2 Al inicio del Vacío

Al dar inicio al sistema, la depresión en las bombas alcanzó hasta 78 kPa y el vacío medido en los vacuómetros ubicados bajo la membrana fue de hasta 70 kPa, dando así una eficiencia en el sistema mayor al 90% (70 / 78). El hecho de medir una eficiencia así de alta nos permite confirmar que el sistema es hermético. Los valores registrados en los diferentes vacuómetros fueron homogéneos lo cual afirma que existe uniformidad en la aplicación de la carga (vacío). Un valor de 70 kPa de vacío o depresión bajo la membrana es comparable a tener una presión en la superficie del suelo equivalente a la que ejerce un terraplén de tezontle de 5 m de altura o de basalto de 3.5

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 97 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

m de altura, solo que en el caso del vacío las presiones se aplican en un solo paso, y son isotrópicas dentro de la masa de suelo aislada (las presiones son iguales en todas direcciones y son constantes y uniformes en profundidad).


Gracias a que el sistema es perfectamente hermético, al momento de la aparición de una fuga en la membrana por el punzonamiento de una grava de tezontle en ella, las depresiones marcadas en los vacuómetros cercanos a la zona de la perforación bajaron inmediatamente, por lo que dicha fuga fue fácilmente localizable permitiendo realizar la reparación de manera inmediata. Una vez reparada la fuga, las depresiones aumentaron de forma uniforme hasta alcanzar los valores que se tenían en un inicio.

Por otro lado, fue notable identificar que, al momento de la colocación del relleno de compensación, las depresiones medidas disminuían por efecto de reacción a la presión nueva que se aplicaba por arriba de la membrana. Pasado un poco de tiempo, las depresiones volvían a aumentar a los valores que se tenían antes de la colocación del relleno.

B.3.1.3 A los tres meses del Vacío

Debido al asentamiento generado por la consolidación de las arcillas gracias a la aplicación del vacío, los drenes horizontales poco a poco fueron cambiando de nivel hasta ubicarse por debajo del nivel de las bombas de vacío. Esta diferencia de niveles provoca a disminución de la eficiencia del sistema y, por tanto, las depresiones registradas disminuyeron. Para disminuir este efecto, las bombas se reubicaron a un nivel más bajo, para localizarlas a la altura de la salida de los drenes horizontales y recuperar la eficiencia.

Al inicio de la operación de las bombas existía homogeneidad en los valores leídos en los diferentes vacuómetros, pero con el paso del tiempo esta uniformidad desapareció ligeramente, de tal modo que a los tres meses de arrancado el vacío, la depresión registrada en los vacuómetros ubicados en el perímetro del panel de prueba era un poco mayor que la que se registraba en los que se ubicaban en la parte central. Esta diferencia está en función del asentamiento que se produce en el panel, y es coincidente con que el asentamiento es, justamente, ligeramente mayor en la zona central que en la periferia (efecto de borde) variando, de la misma manera, las depresiones aplicadas. En términos generales, en la zona perimetral bajo la membrana, se tuvo un promedio de 63 kPa y al centro 61 kPa a los tres meses de la aplicación del vacío.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 98 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

El vacío medido directamente en las bombas no presentó variación, teniendo valores de 74 kPa en promedio.

B.3.1.4 A los seis meses del vacío

Una vez transcurridos los seis meses de operación, se mantuvo una depresión constante de entre 60 y 63 kPa. Se re-nivelaron las bombas de vacío en tres ocasiones durante 6 meses para mantenerlas, lo más aproximadamente posible, al nivel de la salida de los drenes horizontales y conservar una eficiencia alta en la operación.

B.3.1.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas

De acuerdo con el protocolo de apagado de bombas y cerrado de válvulas, la depresión se mantuvo constante durante las primeras 24 horas, esto debido a la hermeticidad del sistema formado por la membrana impermeable y la misma arcilla que rodea a los drenes verticales perimetrales.


Se observó que la disminución de la depresión fue gradual y a una velocidad de 1.6 kPa por día, llegando a los 35 kPa después de los quince días de monitoreo antes de la apertura de las válvulas.

B.3.1.6 Apertura de válvulas

Una vez transcurridos los 15 días de monitoreo con las válvulas cerradas, se llevó a cabo la apertura de las mismas, esto con el fin de liberar la carga de vacío. Se observó que la entrada de aire y la disipación de la carga de vacío fueron inmediatas ya que dichas válvulas son la única zona abierta a la atmósfera. Se observó que los sensores ubicados en las esquinas (más alejados a las válvulas) tardaron un poco más en llegar a una carga de vacío igual a cero, pero en un tiempo de 5 minutos, todos los sensores registraron una carga de depresión de 0 kPa.

B.3.1.7 interpretación final

Los sensores de depresión estaban instalados directamente bajo la membrana y conectados a unos vacuómetros fuera de la zona, lo cual permitió conocer las cargas de vacío aportadas por el sistema y aplicadas directamente a la masa de suelo. Se inició con una eficiencia de hasta un 90% respecto a la presión atmosférica del sitio. Posteriormente, debido a la colocación de los respectivos rellenos y la estabilidad de la carga de vacío, se mantuvo una carga homogénea en toda la plataforma de hasta 63 kPa (sistema isotrópico). Finalmente se observó que es posible mantener la carga de

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 99 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

vacío y continuar el proceso de consolidación aún sin energía eléctrica manteniendo las válvulas de la salida de los drenes horizontales cerrada.

La carga de vacío aplicada fue la equivalente a un terraplén de basalto de 3 metros de altura ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$) aplicando la carga de manera isotrópica en la profundidad (sin bulbo de esfuerzos tipo Boussinesq).

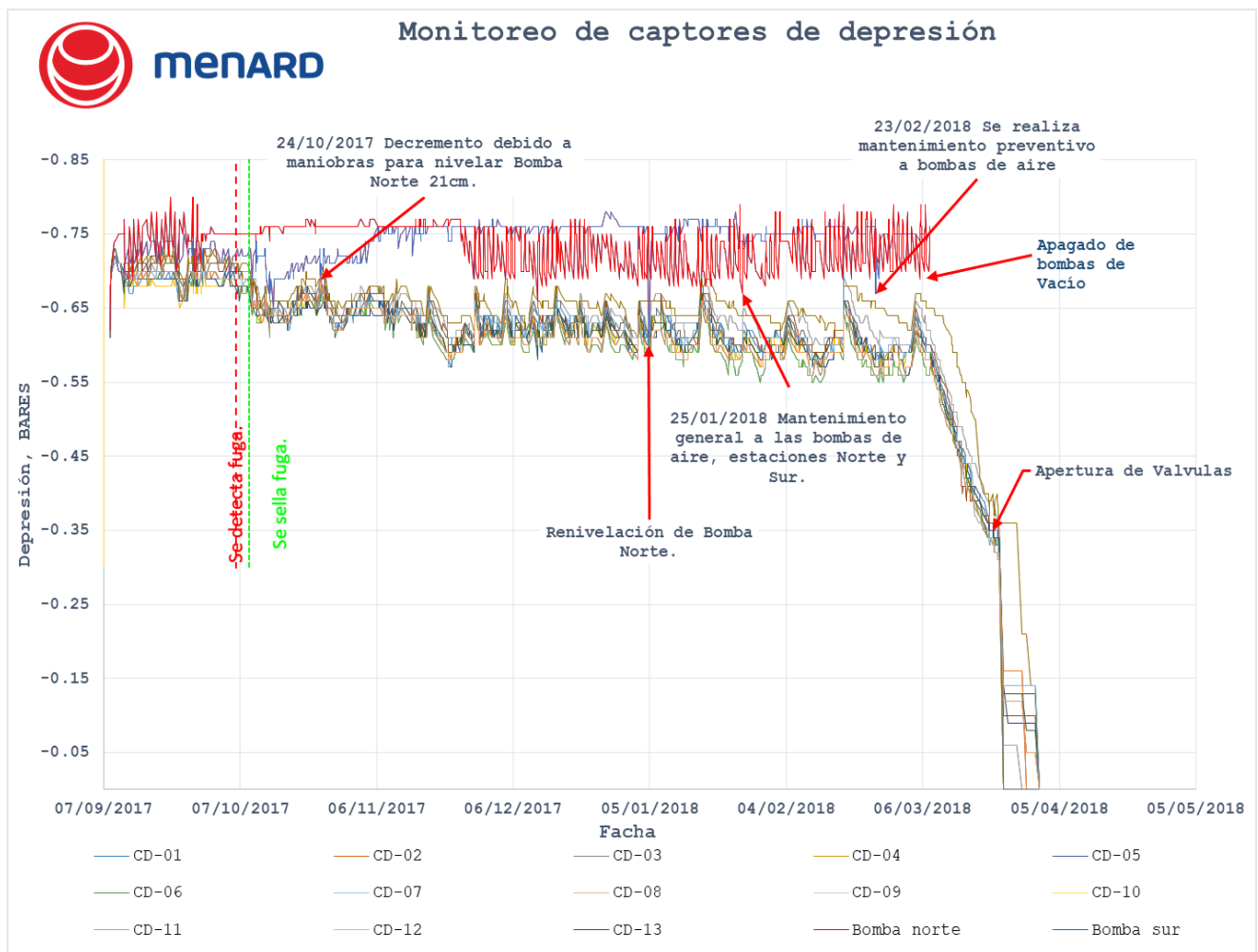



Figura B.2. "Historial de depresiones registradas en los vacuómetros ubicados bajo la membrana"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 100 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

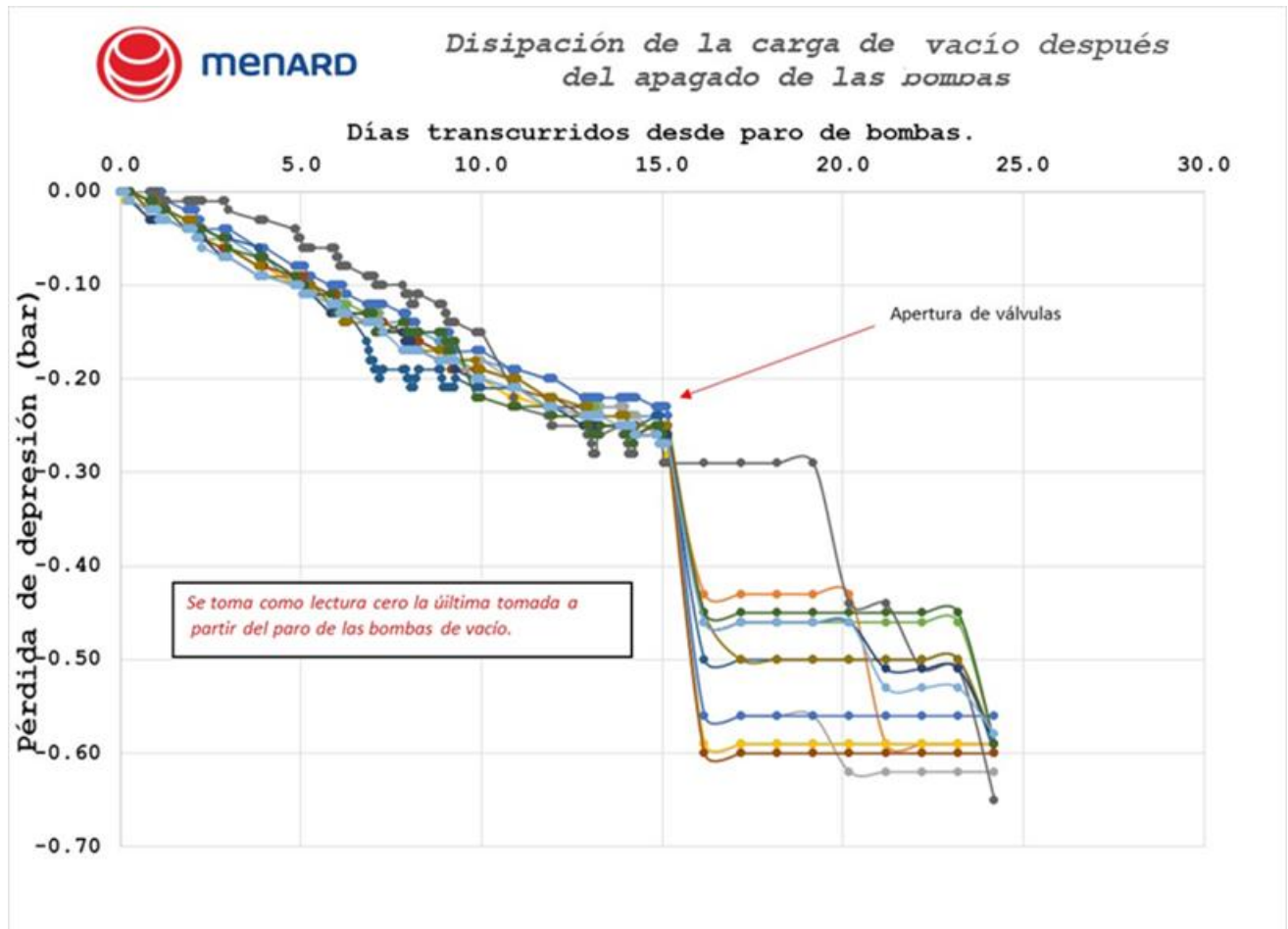



Figura B.3. "Disipación de la carga de vacío una vez apagadas las bombas de vacío y manteniendo cerradas las válvulas de salida de los drenes horizontales"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 101 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

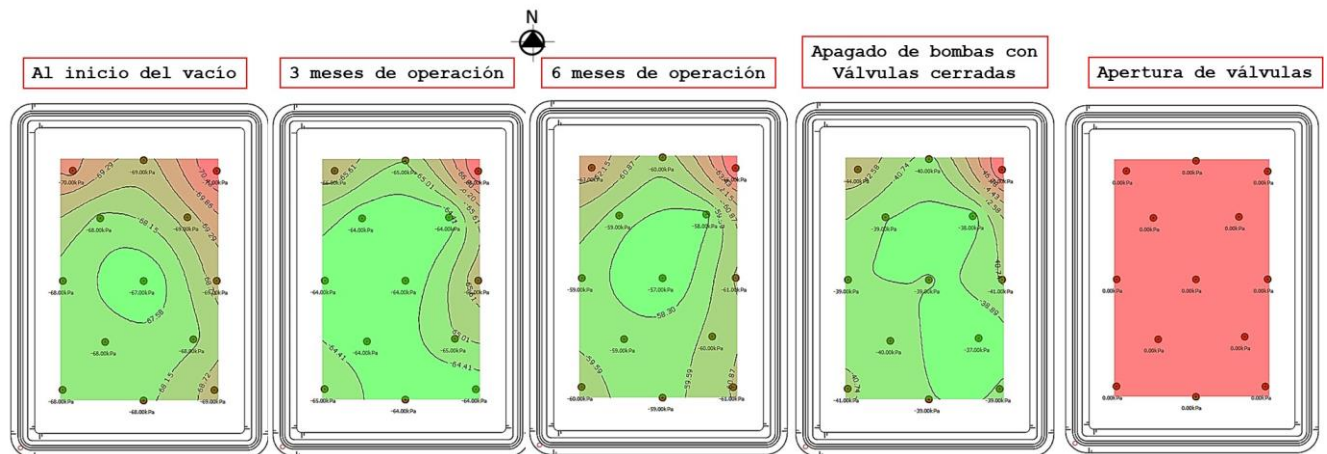


Figura B.4. "Presión de vacío aplicada al suelo durante las diferentes etapas del tratamiento"

B.3.2 EXTRACCIÓN DE AGUA

B.3.2.1 Antes del inicio del Vacío


Se instalaron tanques de almacenamiento para el agua que se extrajo por el sistema de Vacío. La cantidad de agua que entra al tanque se registró con un 'cuentalitos' instalado en el orificio de entrada de cada tanque.

B.3.2.2 Al inicio del Vacío

Los primeros dos días de operación de las bombas de vacío no se registró salida de agua del panel. Esto se explica porque las bombas toman primero el aire que existe en el recinto estanco del suelo y después se requiere tiempo para que el agua salga del terreno y avance por la capa drenante de tezontle y alcance los drenes horizontales.

B.3.2.3 A los tres meses del Vacío

El terreno natural de la zona donde se ha hecho la prueba tiene un desnivel de 40 cm, es decir, existe una pendiente al sur. La plataforma de trabajo y el relleno de compensación se construyeron siguiendo esa pendiente para evitar cambiar en exceso las condiciones de esfuerzos originales del suelo.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 102 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Esta condición aparentemente provoca que el agua extraída por el proceso de consolidación, tienda a salir por la bomba sur.

Es así como, aún con las dos bombas aplicando el vacío, se registró una extracción de agua mayor en la bomba Sur que en la bomba Norte.

La cantidad de agua extraída por día no ha sido constante, pero existe una dependencia evidente con el proceso de consolidación: el volumen extraído debe ser proporcional al asentamiento obtenido.

Se detectó también una relación entre la depresión registrada en los vacuómetros y el volumen de agua extraída: en el momento en que se extrae más agua, es cuando las depresiones tienen sus picos bajos y, al contrario, cuando deja de salir agua por las bombas las depresiones se estabilizan en sus valores máximos. Esto aparentemente es un comportamiento normal, ya que el sistema requiere mayor energía para extraer el volumen importante de agua, y una vez terminada esta tarea, se estabiliza. De cualquier manera, la eficiencia del sistema se comprueba con la historia de depresiones registradas en el tiempo, y las variaciones ocurridas por estos efectos son relativamente pequeñas.

B.3.2.4 A los seis meses del vacío


Fue evidente la disminución de extracción de agua respecto al paso de los días, esto debido a que el agua cuantificada es directamente el agua producto de la consolidación. Por otra parte, se siguió notando la relación entre la depresión registrada en los vacuómetros y el volumen de agua extraída (comportamiento justificado anteriormente).

B.3.2.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas

Una vez transcurrido los seis meses de operación, se realiza el apagado de las bombas con base al protocolo establecido, de modo que se dejó de extraer agua al llegar a esta etapa. Finalmente, la Bomba Sur extrajo un total de 9,074 m³ y la Bomba Norte 279 m³, teniendo un total de 9,353 m³.

B.3.2.6 Interpretación final

Al arranque del sistema no se extrajo agua debido a que inicialmente las bombas absorben el aire atrapado bajo la membrana y el la capa de tezontle hasta lograr un vacío. Este vacío obliga al agua a salir de la arcilla y va llenando, de abajo hacia arriba, la capa de tezontle hasta alcanzar los drenes horizontales. Una vez llegando a estos último el agua sale por ellos. El flujo de extracción se comportó de manera intermitente (y no MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 103 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

constante como sería el caso de estar extrayendo agua directamente por bombeo en pozos o drenes), ya que, generando el vacío bajo la membrana, el agua es obligada a 'salir' de la arcilla con drenes, pero depende totalmente de su permeabilidad y de los tiempos de consolidación. El agua, además, toma un tiempo en subir, desde el nivel natural que guarda en el terreno (N.A.F.) hasta el nivel que tienen los drenes horizontales. Evidentemente con esta técnica el abatimiento del agua freática no se da (y tampoco se desea). Con el paso del tiempo, los volúmenes de agua fueron disminuyendo en proporción a los asentamientos y la consolidación de la arcilla, teniendo un total de 9,353 m³ de agua durante los seis meses de operación de las bombas de vacío. Se cuantifica la cantidad de agua extraída y se correlaciona el volumen obtenido con el volumen de asentamiento superficial registrado durante la prueba.

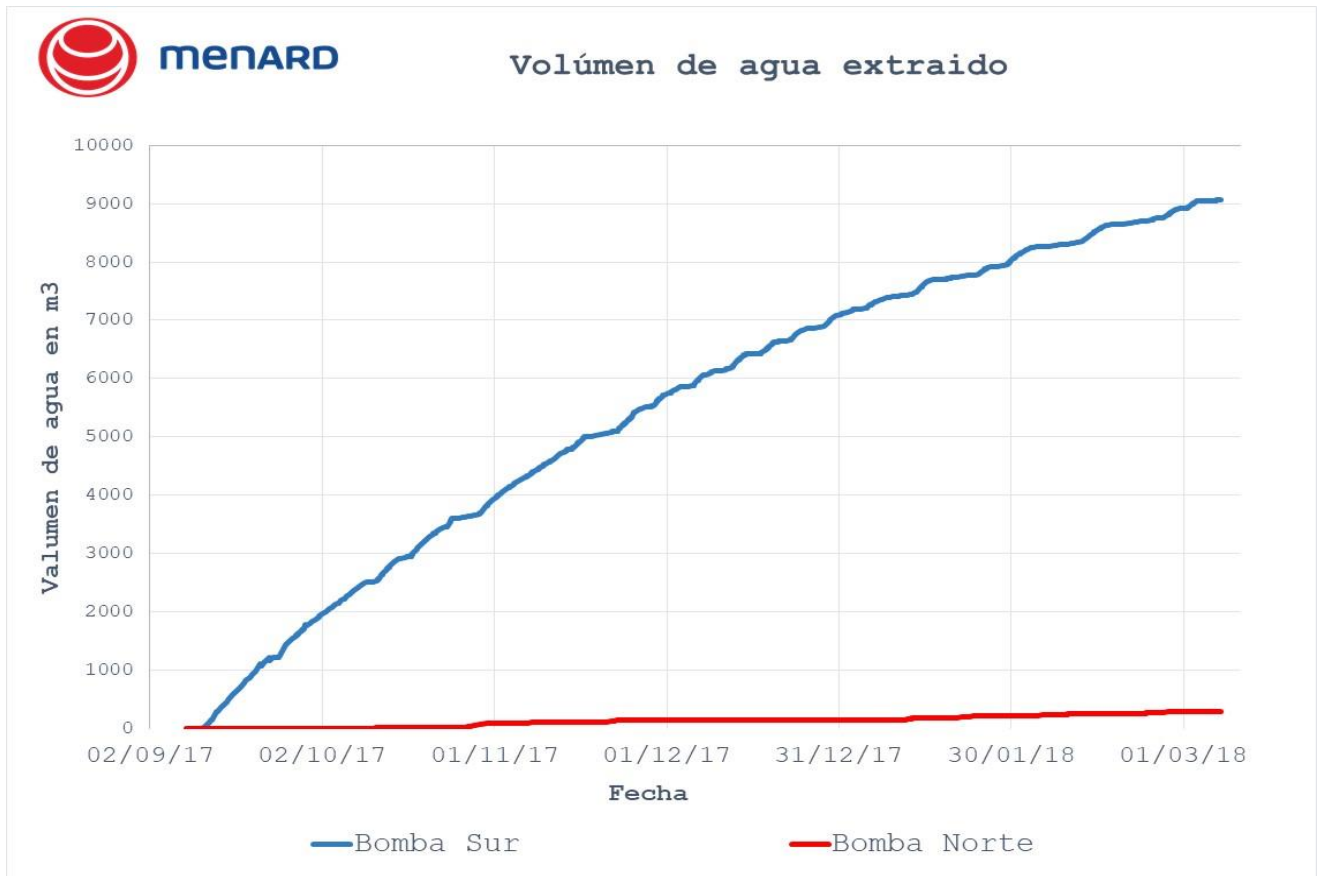



Figura B.5. "Volúmenes de agua extraídos por cada bomba: Norte- roja; Sur - azul"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 104 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

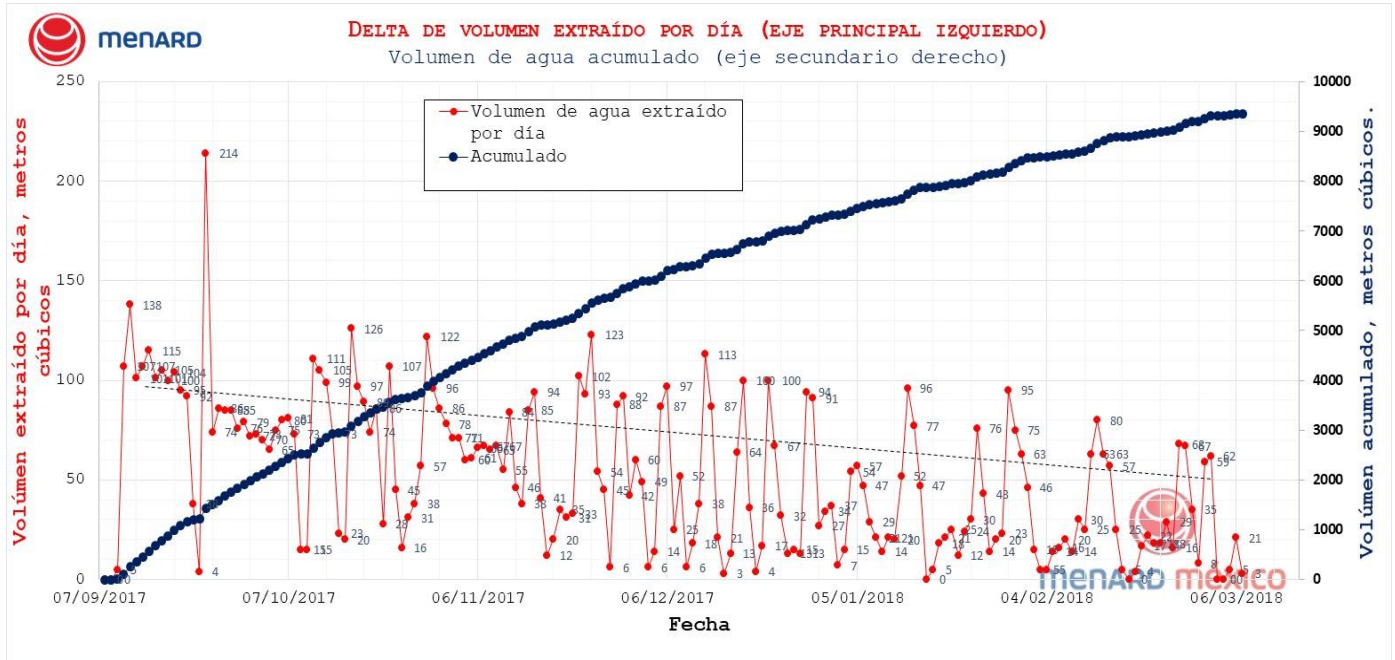



Figura B.6. "Volúmenes de agua extraídos y volumen acumulado por día"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 105 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

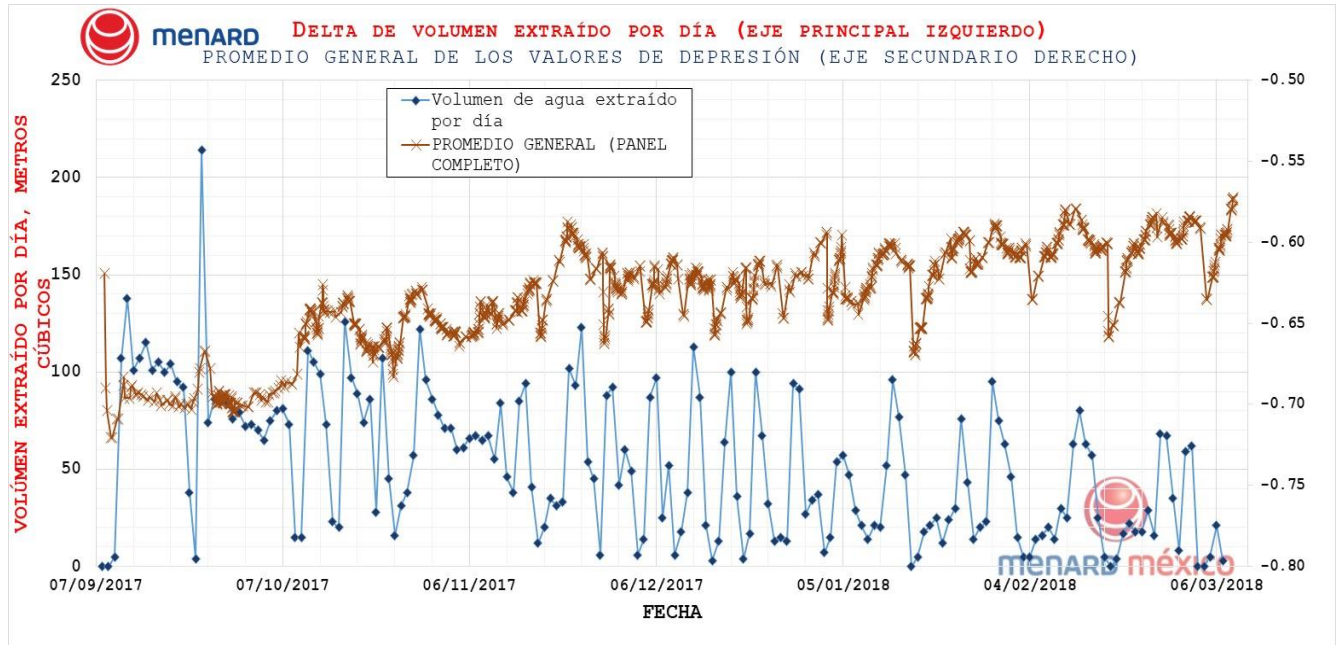



Figura B.7. "Volúmenes de agua vs depresiones registradas bajo la membrana"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 106 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.3 PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS PUSH IN

B.3.3.1 Antes del inicio del Vacío


Se realizó la instalación de los piezómetros eléctricos antes del hincado de drenes verticales, con el fin de monitorear el efecto que tiene el procedimiento constructivo en la variación de las presiones intersticiales.

Pudo verificarse entonces que los valores iniciales medidos (cero) corresponden a la presión hidrostática del sitio. Solo hay un pequeño abatimiento cerca de la primera capa dura que se encuentra a los 30 m, pudiéndose deber al bombeo profundo del Valle de México, que mantiene abatidas las presiones a profundidad, pero en este caso el abatimiento presentado es muy pequeño.

Se observó un incremento en la presión de poro al colocar la segunda capa de la plataforma de trabajo la cual consistió en 50 cm de tezontle. Dicho incremento ocurre hasta los 35 m de profundidad. El monitoreo continuo de las presiones durante el hincado de PVD's demostró que no existe una variación importante de la presión de poro durante esta actividad, manteniéndose prácticamente sin cambio durante toda la etapa constructiva del terraplén.

B.3.3.2 Al inicio del Vacío

Al momento de dar inicio al vacío, se registró un incremento súbito en la presión de poro, efecto que se asocia a la presión ejercida por la membrana al tratar de 'pegarse' sobre la plataforma de tezontle justo en el arranque del sistema, pero en un segundo tiempo, casi de inmediato, las presiones intersticiales comienzan a disminuir, de manera acelerada y en la misma magnitud, en toda la longitud de los PVDs. Esto se constata al verificarse abatimientos de los piezómetros instalados en la Formación Arcillosa Superior (FAS), hasta 27 m de profundidad. Por el contrario, el piezómetro instalado a 35 m, por debajo de la Capa Dura (CD), que es una zona considerada fuera de la zona de suelo a tratar, no mostró variaciones. Esto comprueba que el espesor de arcilla de 3.0 m que está sobre la capa dura y que no se ha atravesado con los PVDs forma una capa impermeable que evita el paso del agua y evita el abatimiento de las presiones debajo de esta capa.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 107 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.3.3 A los tres meses del Vacío

Las presiones intersticiales continuaron disminuyendo con el transcurso del tiempo, lo cual implica el incremento, en la misma proporción, de los esfuerzos efectivos de la arcilla (consolidación). Cuando se realizó la instalación del relleno de compensación, se registraron incrementos en la presión de poro, pero con el tiempo estas presiones disminuyeron debido a que el vacío continuó actuando ininterrumpidamente.

El grado de consolidación en cada estrato arcilloso puede estimarse según la disminución de las presiones intersticiales en proporción a la carga de vacío total aplicada.


Es necesario tomar en cuenta que la disipación o disminución de presiones intersticiales registradas en cada piezómetro varía en función de la carga de vacío aplicada por el sistema, de la permeabilidad del estrato, pero también de la cercanía que guarda el instrumento con el Dren Vertical: en ocasiones, un piezómetro puede haber quedado instalado en una posición más cercana al dren que otro, y eso provoca que se registre una disminución más rápida de las presiones intersticiales en unos instrumentos que en otros.

Se observa entonces que cada instrumento muestra un valor distinto de disminución, pero también se observa que en general todos llevan la misma tendencia a la baja, lo cual es síntoma de que la consolidación está ocurriendo.

B.3.3.4 A los seis meses del vacío

Durante la operación de las bombas de vacío los piezómetros continuaron registrando la disminución de la presión intersticial, siguiendo una tendencia que tiende a la carga proporcional al vacío aplicado (60 kPa). Después de los seis meses de operación, la disminución de presión alcanzó hasta los 40 kPa.

Como se mostró en apartados anteriores, se llevó a cabo una interpretación correcta de las disminuciones de las presiones para poder estimar el grado de consolidación que ha ocurrido en la arcilla.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 108 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.3.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas

Una vez apagado el sistema de bombas y manteniendo las válvulas cerradas se observó que la presión intersticial continuaba disminuyendo en todos los piezómetros, esto debido a que aún se mantenía atrapado el vacío bajo la membrana y se continuaba consolidando el suelo. Así mismo se determinó que la zona estaba totalmente aislada y hermética.

B.3.3.6 Apertura de válvulas


Una vez realizada la apertura de las válvulas y al permitir la entrada de aire, se detuvo la disminución de la presión intersticial. Esto provocó que la presión de poro que registró cada uno de los piezómetros tendiera a recuperar su presión hidrostática natural de acuerdo con su profundidad de instalación. Así mismo, el diferencial entre la presión registrada antes de la apertura de las bombas y su recuperación total representa la carga de depresión aplicada durante el tiempo de tratamiento.

B.3.3.7 Interpretación Final

Los piezómetros eléctricos hincados o tipo 'Push-In' nos permitieron monitorear el comportamiento de la presión intersticial en la zona de tratamiento, en las diferentes etapas de construcción y operación del panel de prueba. La disminución de la presión intersticial representa el incremento proporcional de los esfuerzos efectivos y el grado de consolidación de los suelos. Las variaciones que muestran los registros representan cada una de las actividades del proceso constructivo, pero es evidente el comportamiento durante los seis meses de aplicación de vacío al suelo.

Es importante destacar que la variación en la magnitud de depresión registrada en cada piezómetro tiene, de forma general, la misma tendencia en todas las profundidades, lo cual es un indicio de que la depresión se aplica de forma isotrópica.

Para la correcta interpretación de este efecto y del cálculo del grado de consolidación que tiene cada sub-estrato se deben tomar en cuenta diferentes factores, entre ellos la permeabilidad del suelo, y la cercanía que puede tener el sensor con el dren vertical, lo cual puede influir para que la lectura de disminución de presión de poro sea mayor en menos tiempo.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 109 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

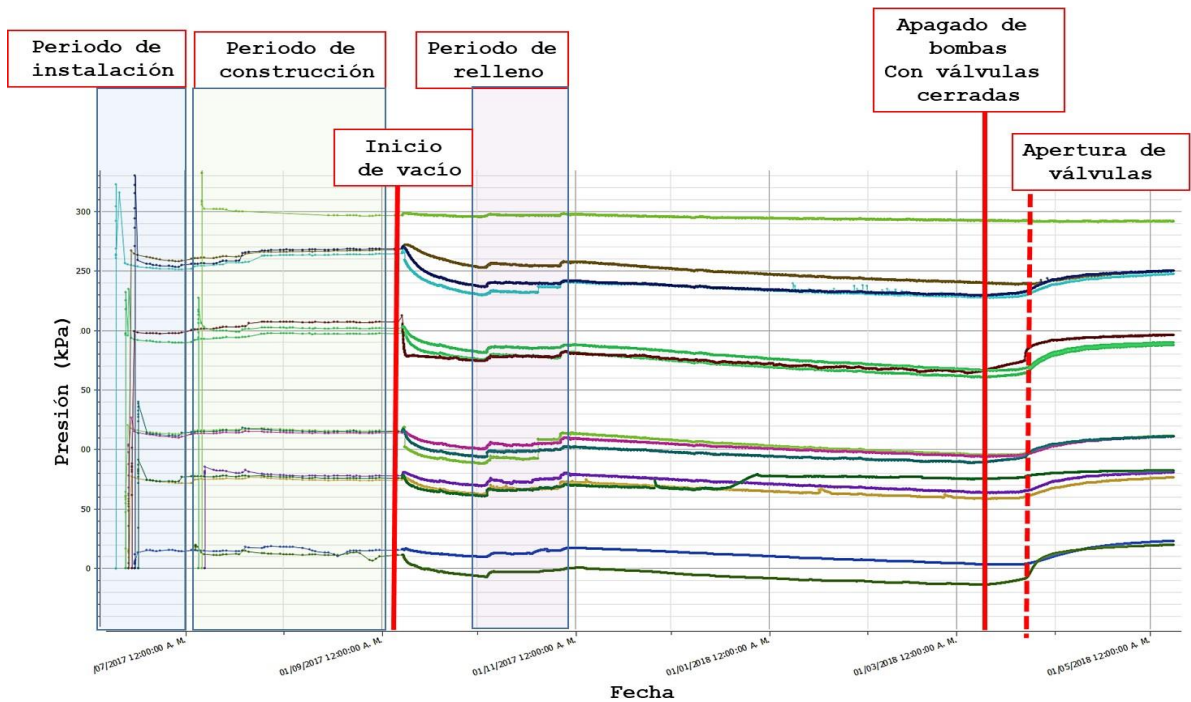


Figura B.8. "Historia de presiones intersticiales registradas en piezómetros a distintas profundidades."

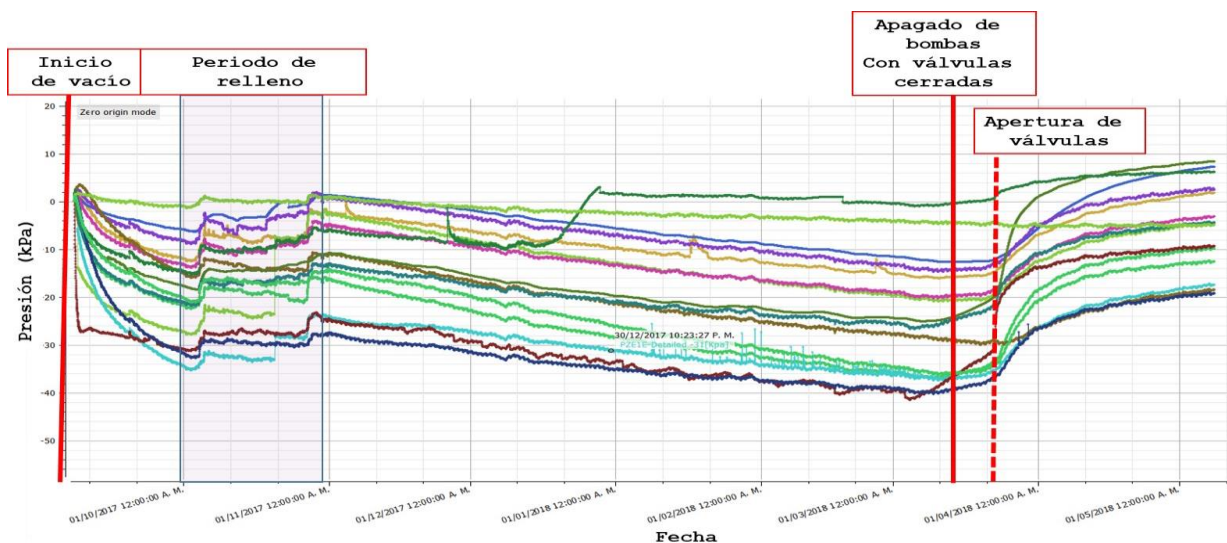



Figura B.9. "Historia de disminución de presiones intersticiales (diferencias entre el valor medido con respecto al inicial). Se observa una pendiente similar en todos los casos."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 110 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.4 PLACAS DE ASENTAMIENTO

B.3.4.1 Antes del inicio del Vacío

Las placas de asentamiento se instalaron después de la colocación de la primera etapa de la plataforma de trabajo, fueron monitoreadas manualmente y su nivel se registró con base en referencias instaladas a 50 m de profundidad. Durante cada actividad constructiva, las placas ubicadas dentro de la plataforma, se retiraron parcialmente para realizar las actividades correspondientes, y posteriormente se reubicaron en su sitio de origen (X,Y) al término de cada actividad. Al instalarse la membrana, estas placas se quedaron fijas sobre ella.

Los registros históricos de estas placas muestran que durante la etapa de construcción se produjo un asentamiento de 10 cm debido a la colocación de la capa de tezontle de 1.0 m de espesor que conformó la plataforma de trabajo, para la instalación de los drenes verticales y horizontales.


B.3.4.2 Al inicio del Vacío

Al dar inicio al sistema de Vacío, con las placas totalmente fijas sobre la membrana, se observó un incremento acelerado de los asentamientos, registrándose velocidades de asentamiento de hasta 5 cm al día en los primeros días para todas las placas ubicadas dentro del panel. El efecto de borde es poco notorio al inicio de la aplicación del vacío.

B.3.4.3. A los tres meses del Vacío

Con el transcurso del tiempo, y el vacío actuando de forma ininterrumpida, la velocidad de asentamientos fue decreciendo (algo que es normal en el proceso de consolidación), pero el asentamiento total alcanzado a los tres meses fue de 2.10 m en la placa central con una velocidad de 1.3 cm al día.

Debido a la colocación del material que conforma el relleno de compensación, el efecto de borde se hizo notorio: se hicieron evidentes los bulbos de influencia que ocurrieron en cargas superficiales, y la oposición que tiene el borde de la zona de prueba a desplazarse debido a la resistencia al esfuerzo cortante existente en los límites de la zona. Se produjo entonces un asentamiento diferencial entre las esquinas y el centro de la zona, pero fue relativamente pequeño debido a que la carga de vacío se aplicó de manera uniforme en toda la superficie y en toda la profundidad.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 111 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.4.4. A los seis meses del Vacío

Transcurridos los seis meses de tratamiento, la velocidad de asentamiento disminuyó, este comportamiento es similar al de una curva de consolidación ya que se va reduciendo la relación de vacíos durante el periodo de aplicación de una carga constante. Aun así, el asentamiento continuó sin presenciar una estabilidad. El asentamiento diferencial entre las esquinas y el centro fue mínimo en comparación con cualquier otra técnica de consolidación acelerada. El asentamiento hasta esta etapa alcanzó un valor de 2.90 metros al centro del panel de prueba.

B.3.4.5. Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas


Una vez apagado el sistema de bombas y manteniendo el vacío bajo la membrana, el asentamiento siguió creciendo a diario, con una velocidad de hasta tres milímetros por día, lo que permite afirmar que, aún sin la utilización de energía eléctrica, el suelo continuaba consolidándose. Se llegó a tener, finalmente, 2.94 m de asentamiento total, al centro del tramo de prueba.

En los incisos siguientes se mostrará que se ha podido comparar que el volumen de asentamiento superficial y el volumen de agua extraído son prácticamente los mismos, lo cual nos indica que el agua extraída es puramente el agua del proceso de consolidación y no el agua producto de un abatimiento del nivel freático.

B.3.4.6. Apertura de las válvulas

Como se ha mencionado, al realizar la apertura de las válvulas, se perdió la carga de vacío debido a la entrada de aire al sistema, es decir, el suelo sufrió un alivio de esfuerzos. Esto provocó que hubiera una expansión elástica, que fue monitoreada por medio de placas de asentamiento y extensómetros magnéticos, donde se obtuvo una expansión de hasta 8.3 cm.

Dicho comportamiento permite demostrar que se aplicó una carga al suelo proporcional a la presión atmosférica del sitio. Cabe hacer notar que en un sistema de bombeo o de abatimiento del nivel freático este fenómeno no ocurre, pues no se aplica una verdadera precarga sobre el suelo.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 112 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.4.7. Interpretación final

Las placas de asentamiento nos permitieron monitorear la eficacia del sistema al registrar los asentamientos superficiales y así poder dimensionar el grado de consolidación que ocurre en la arcilla.

Fue notorio el momento en el que inicio la aplicación del vacío, ya que ocurrió un asentamiento súbito e inmediato, con una velocidad de hasta 5 cm por día, lo cual representa la disminución de la presión intersticial e incremento de los esfuerzos efectivos sin la necesidad de provocar un incremento en los esfuerzos totales. Así mismo, el asentamiento diferencial entre las esquinas y el centro del panel es mínimo, en comparación de cualquier otra técnica de consolidación acelerada, ya que la carga de vacío es aplicada de manera homogénea (misma magnitud) bajo la membrana.

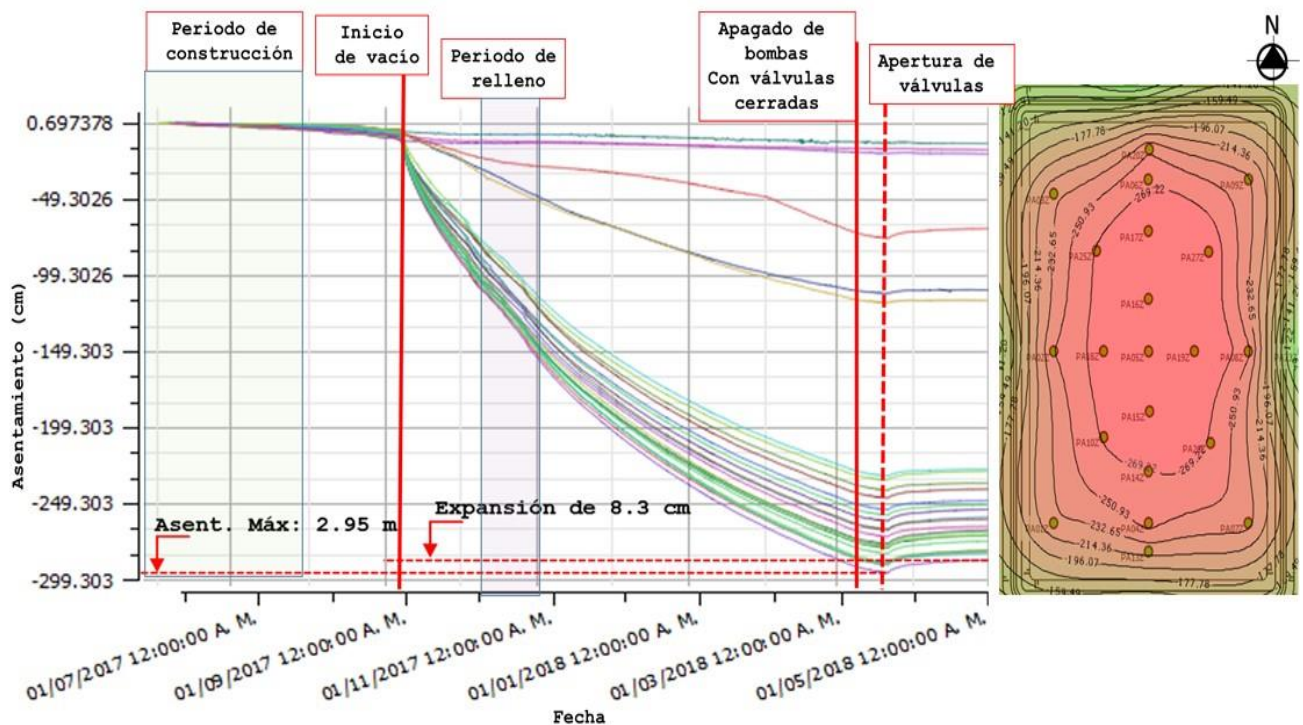


Figura B.10. "Historia de asentamientos registrados en las placas de asentamientos. Es notable la diferencia entre los grandes asentamientos que ocurren dentro del panel y los pequeños fuera de éste, lo cual evidencia la poca influencia que tiene el sistema de vacío fuera de la zona tratada con los drenes verticales y que la zanja de estanqueidad representa la línea de frontera desde donde se forma una barrera impermeable de arcilla que genera el recinto estanco.


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 113 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla B.5. Asentamientos diferenciales al final de la prueba

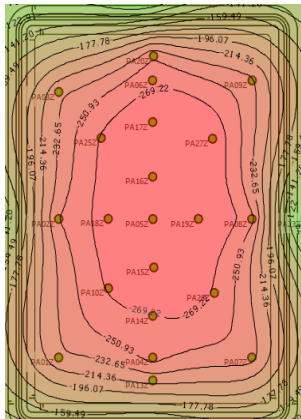
P.A. Interiores		P.A. Centrales	
Nomenclatura	Asentamiento, m	Nomenclatura	Asentamiento, m
PA-01	2.283	PA-05	2.867
PA-02	2.505	PA-10	2.706
PA-03	2.271	PA-14	2.672
PA-04	2.587	PA-15	2.804
PA-05	2.867	PA-16	2.819
PA-06	2.646	PA-17	2.801
PA-07	2.401	PA-18	2.744
PA-08	2.601	PA-19	2.812
PA-09	2.362	PA-25	2.702
PA-10	2.706	PA-26	2.681
PA-13	2.535	PA-27	2.824
PA-14	2.672	Promedio	2.766
PA-15	2.804		
PA-16	2.819		
PA-17	2.801		
PA-18	2.744		
PA-19	2.812		
PA-20	2.477		
PA-25	2.702		
PA-26	2.681		
PA-27	2.824		
Promedio	2.624		

Valor Máximo	2.867
Valor mínimo	2.271


P.A. Perimetales	
Nomenclatura	Asentamiento, m
PA-01	2.283
PA-02	2.505
PA-03	2.271
PA-07	2.401
PA-08	2.601
PA-09	2.362
PA-13	2.535
PA-20	2.477
Promedio	2.429

Valor Máximo	2.601
Valor mínimo	2.271

Efecto de borde	
Mínimo (Perímetro vs. Centro)	0.4014
Máximo (PA-05 vs. PA-03)	0.596



La anterior presenta una comparación de asentamientos entre las placas de referencia centrales y perimetales. La diferencia de niveles entre la placa de asentamiento PA-03, ubicada en la esquina noroeste del panel de prueba, y la placa central PA-05, es de 59.6 cm, lo cual equivale a tan solo el 20 % del asentamiento final (2.867 m).

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS	MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México	Rev.	1 07-06-2018
	OBRA: Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 114 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)		

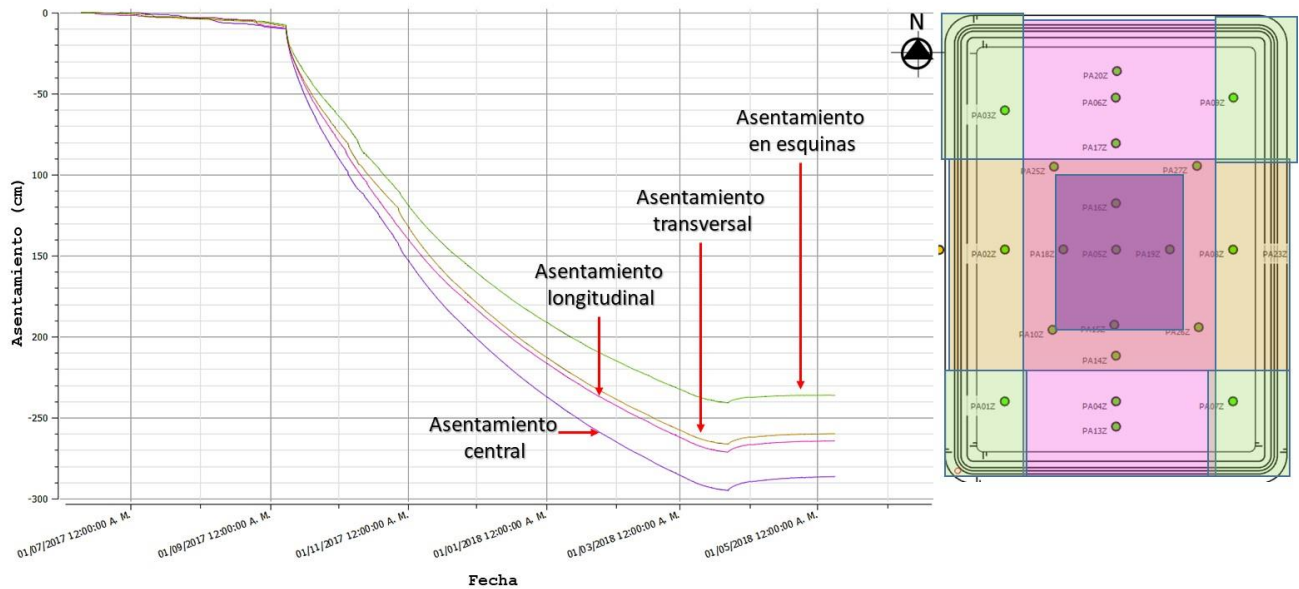


Figura B.11. "Historial promedio de asentamientos por zona."

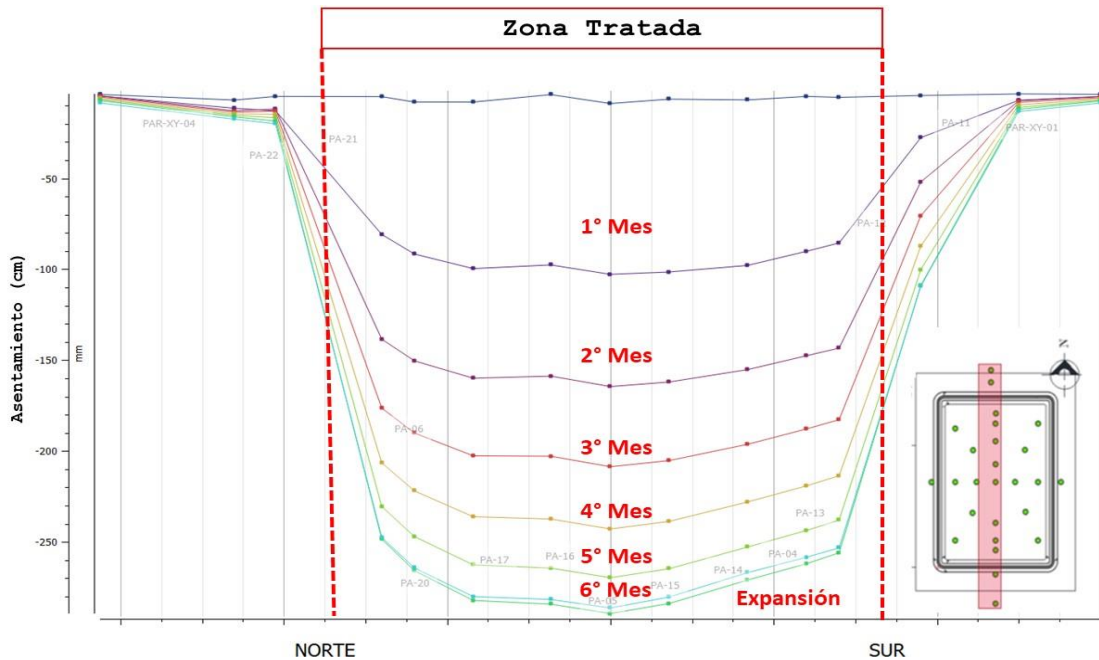



Figura B.12. "Perfil de asentamientos dirección Norte-Sur. Nótese que el asentamiento es bastante uniforme al interior del panel."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 115 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

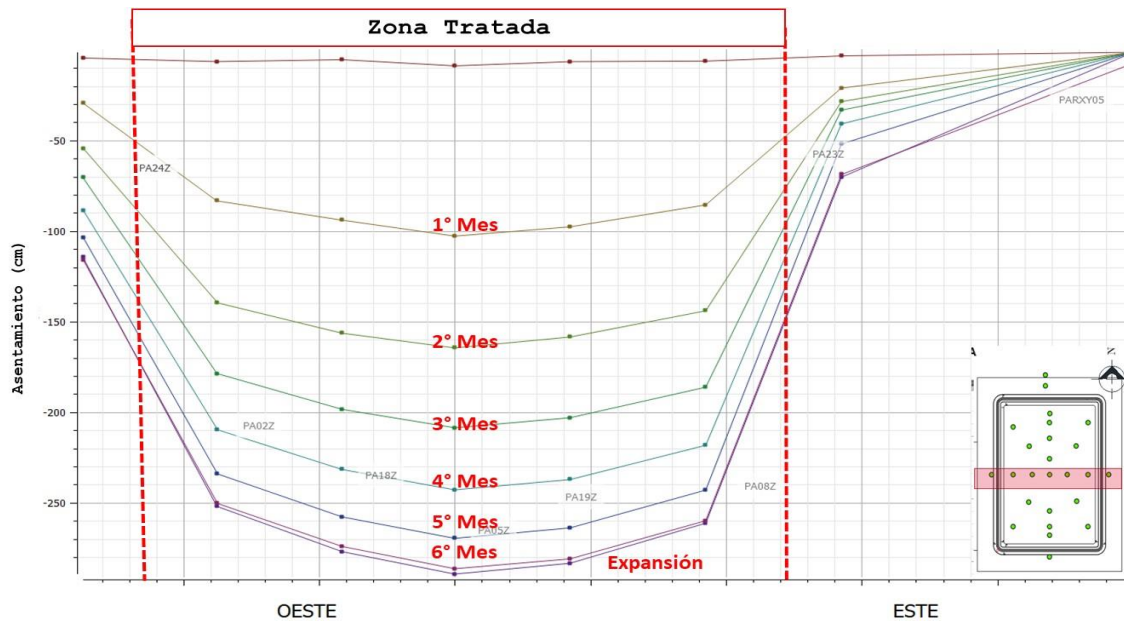


Figura B.13. "Perfil de asentamientos tiempo dirección Este-Oeste. Nótese que el asentamiento es bastante uniforme al interior del panel. La relación del asentamiento de borde contra el central es 0.80"

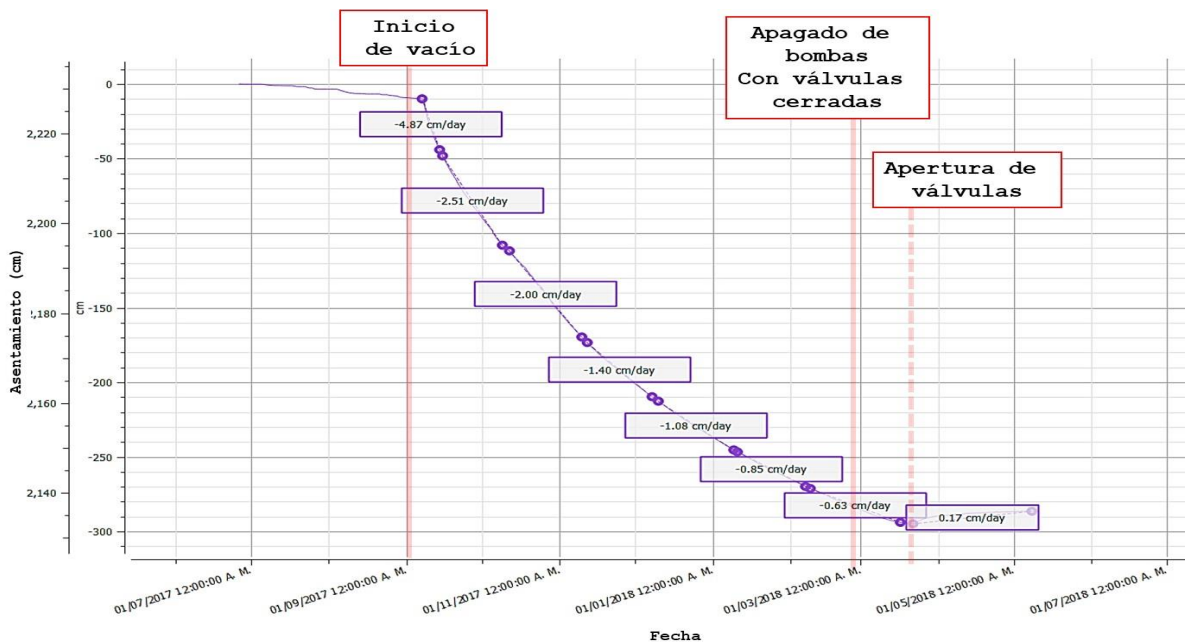



Figura B.14. "Historia de velocidades de asentamiento en la placa central."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 116 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

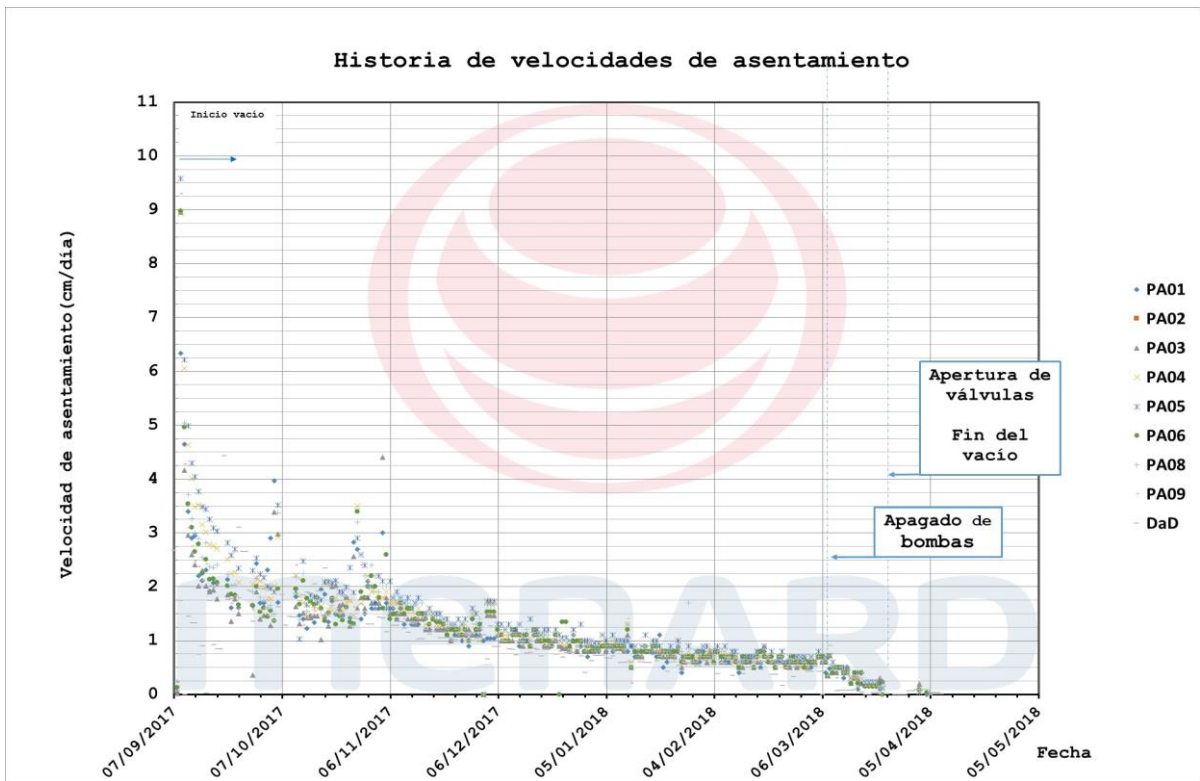


Figura B.15. "Variación de velocidades de asentamiento en la superficie."

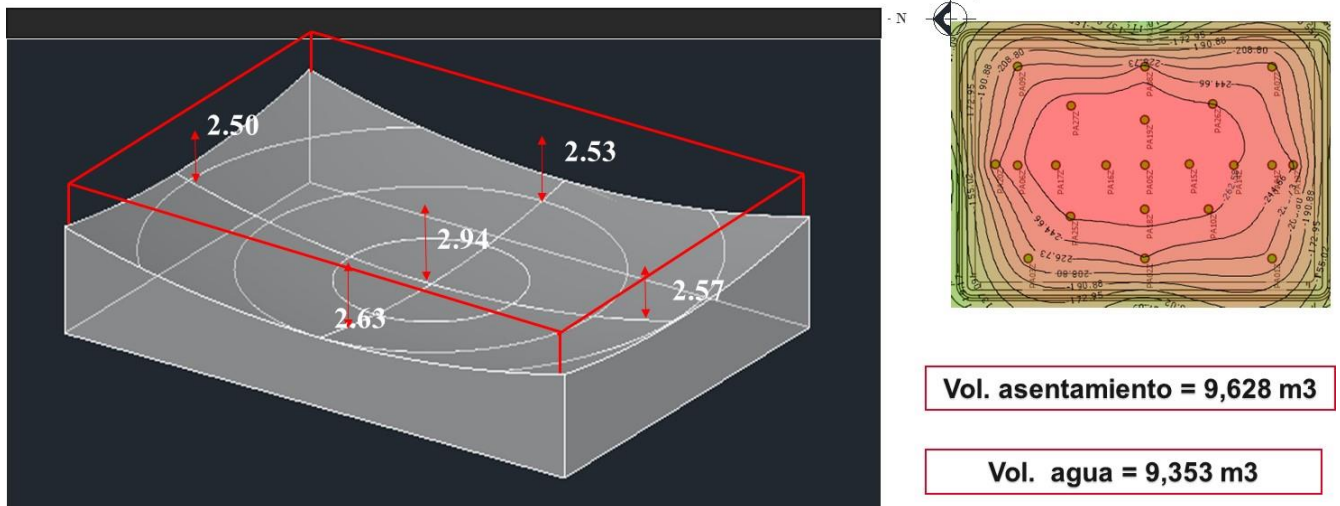



Figura B.16. "Comparación del volumen de agua extraída y el volumen de asentamiento obtenido al final de los 6 meses de tratamiento."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 117 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.5.EXTENSÓMETROS MAGNÉTICOS

B.3.5.1 Antes del inicio del Vacío

El monitoreo de los extensómetros magnéticos se inició desde la etapa constructiva. La profundidad de instalación de cada araña magnética concuerda con la profundidad de instalación de los piezómetros eléctricos con el fin de monitorear la aportación de deformación de cada estrato al asentamiento total y correlacionarlo con la variación de las presiones intersticiales a la misma profundidad.

B.3.5.2 Al inicio del Vacío

La tendencia es la misma que la ocurrida en las Placas de asentamiento, una vez dado inicio al vacío la velocidad de asentamientos es evidente en cada una de las arañas magnéticas y esta velocidad disminuye con el tiempo.


B.3.5.3 A los tres meses del Vacío

En la consolidación con precarga convencional, generada con la instalación de un terraplén superficial, las presiones se acentúan en los estratos más someros debido a que la influencia de las cargas se produce como bulbos de esfuerzos del tipo Boussinesq; sin embargo, el efecto de la aplicación de vacío con membrana, es distinto, ya que las presiones son uniformes en todas las direcciones, y en la profundidad tratada. Esto se ve reflejado en los registros de los extensómetros.

En los registros de los extensómetros puede notarse el mismo comportamiento que el que se registra en las placas de asentamientos: La velocidad de asentamientos también varía respecto al tiempo, las deformaciones centrales son un poco mayores que la de los extremos del panel, etc. En este caso, también es evidente la similitud de comportamiento entre los extensómetros instalados en los extremos norte y sur del panel.

B.3.5.4 A los seis meses del Vacío

A los seis meses de aplicación del sistema de vacío, se observó la misma tendencia y comportamiento que las placas de asentamiento, las deformaciones continuaban a una velocidad menor pero es notable el comportamiento.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 118 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.5.5 Apagado del sistema de bombas con válvula cerrada


Al apagar el sistema de bombas y mantener las válvulas cerradas, al igual que las placas de asentamiento, se observaba que las deformaciones continuaban. Así mismo se observó que la magnitud de deformación aportada por cada estrato variaba dependiendo de su contenido de agua, es decir, entre el contenido de agua sea mayor, el estrato tiende a una mayor deformabilidad.

B.3.5.6 Apertura de válvulas

Una vez realizada la apertura de las válvulas, los extensómetros al ser un instrumento que mide las deformaciones verticales, tiene el mismo comportamiento que las placas de asentamiento. Se observa esa expansión elástica en el suelo después del alivio de esfuerzos.

B.3.5.7 Interpretación final

El asentamiento presentado durante el proceso constructivo es de 8.3 cm ya que se aplica únicamente una carga representada por la plataforma de trabajo, sin embargo, al aplicar el vacío en el sistema, el asentamiento se presenta inmediatamente con una velocidad acumulada y reflejada en la superficie de hasta 5 cm por día. Cada araña magnética se ubica a una profundidad la cual representa la subdivisión de la formación arcillosa superior, con el fin de conocer la deformación de cada sección. Esto permitió denotar que los estratos con mayor contenido de agua presentan los asentamientos mayores. Finalmente, el asentamiento acumulado es el registrado en las placas de asentamiento.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 119 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

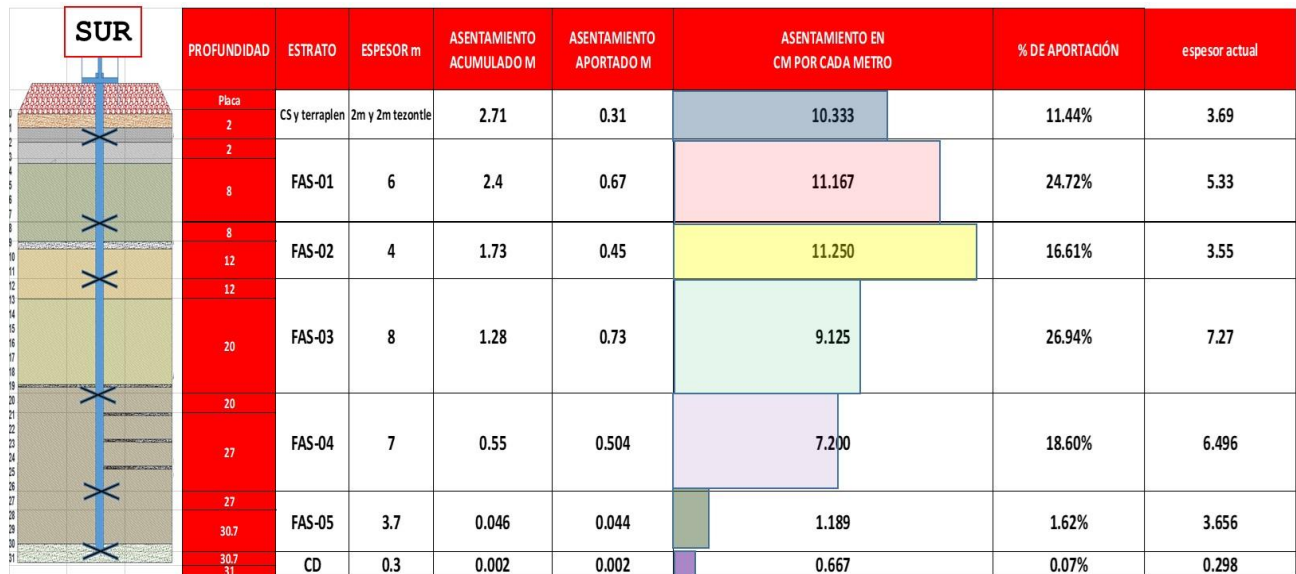


Figura B.17. "Aportación de asentamiento de cada estrato registrados en el extensómetro Sur al final de los 6 meses de tratamiento."

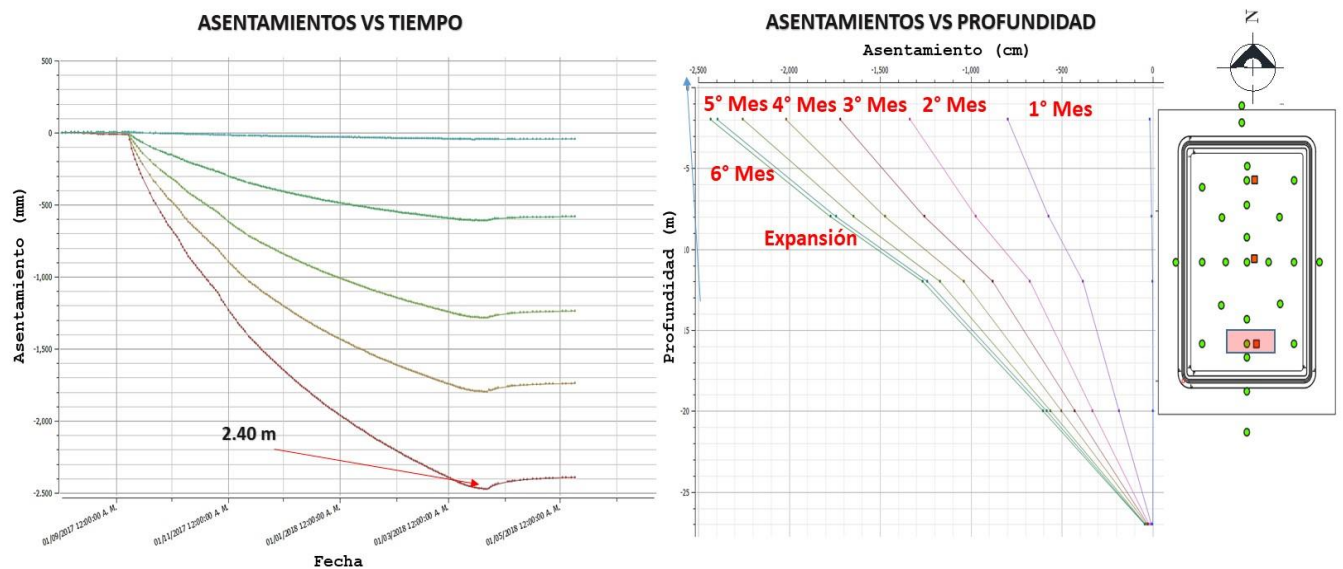



Figura B.18. "Historia de asentamientos en extensómetros magnéticos ubicados al sur del panel y valores de asentamiento a los 6 meses de aplicación del vacío y posterior a la apertura de válvulas."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 120 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

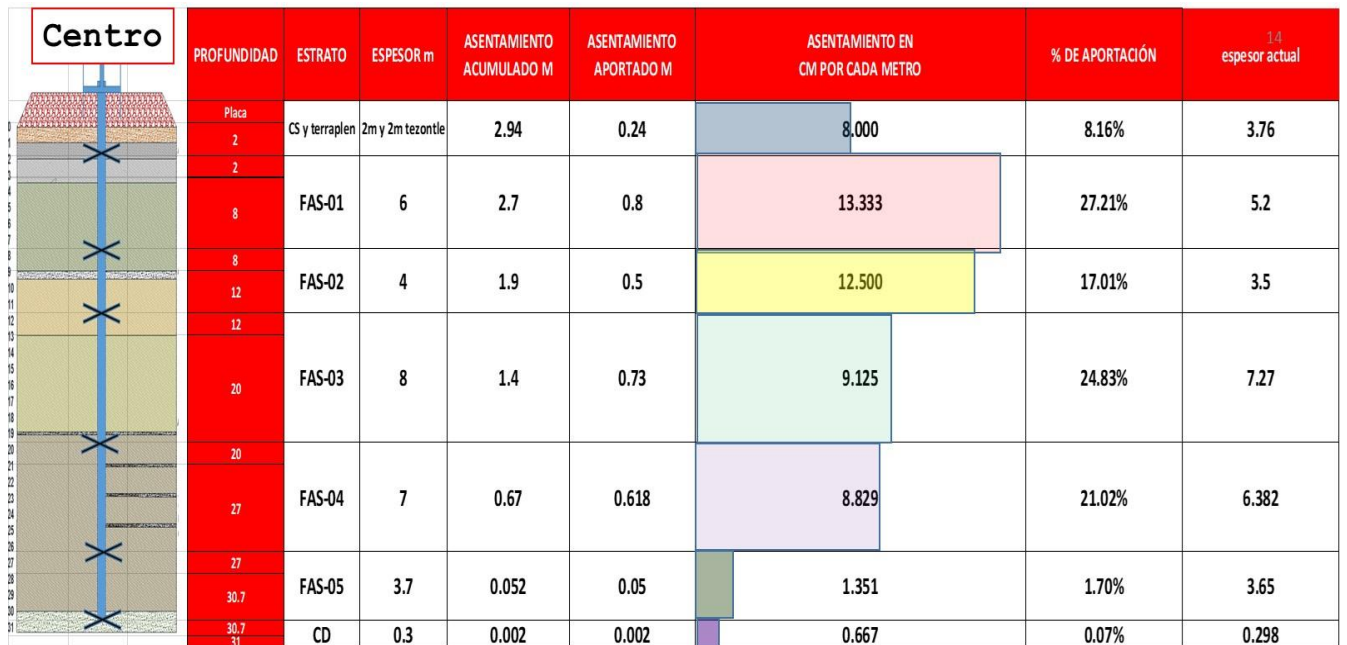


Figura B.19. "Aportación de asentamiento de cada estrato registrados en el extensómetro Central al final de los 6 meses de tratamiento."

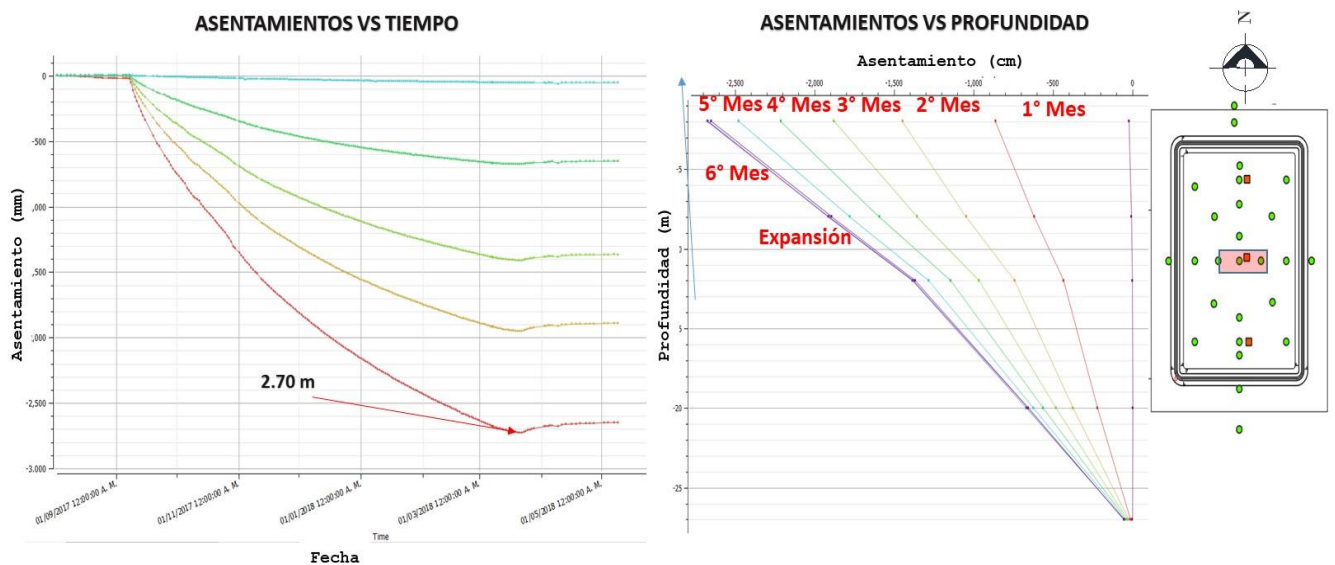



Figura B.20. "Historia de asentamientos en extensómetros magnéticos ubicados al centro del panel y valores de asentamiento a los 6 meses de aplicación del vacío y posterior a la apertura de válvulas."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 121 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

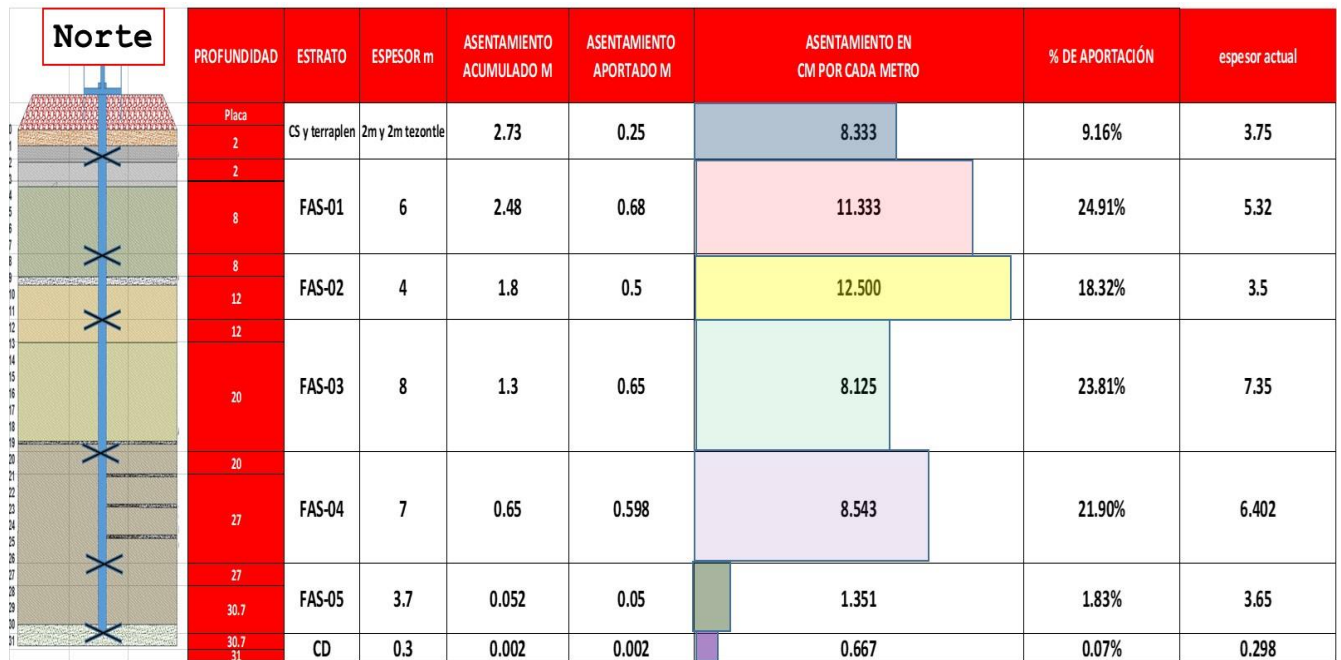


Figura B.21. "Aporación de asentamiento de cada estrato registrados en el extensómetro Norte al final de los 6 meses de tratamiento."

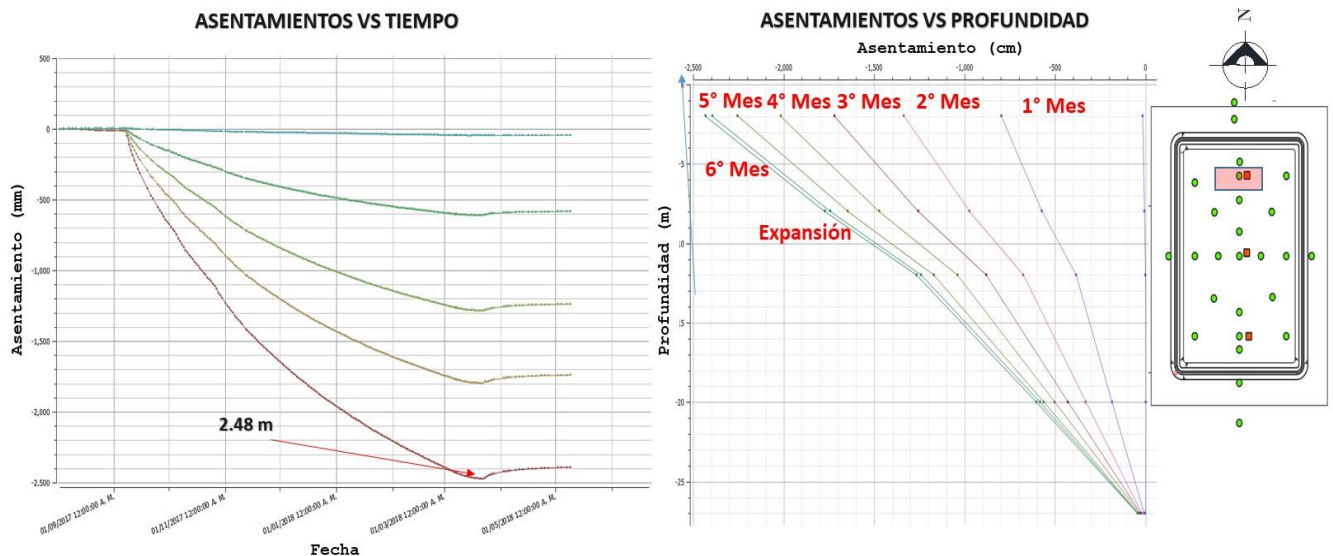



Figura B.22. "Historia de asentamientos en extensómetros magnéticos ubicados al Norte del panel y valores de asentamiento a los 6 meses de aplicación del vacío y posterior a la apertura de válvulas."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 122 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

El analizar el asentamiento por cada sub-estrato, nos permite conocer su porcentaje de aportación del asentamiento total del estrato completo, así como correlacionar sus características geotécnicas con las deformaciones ocurridas.

Destaca el sub-estrato que se encuentra entre los 2.0 y los 12.0 m de profundidad, ya que se deforma de manera importante, aportando los asentamientos por metro más grandes de toda la formación arcillosa superior. Esto se correlaciona directamente con el contenido de agua obtenido de la exploración geotécnica, pues corresponde con la zona que tiene mayor contenido de agua: hasta 300%.

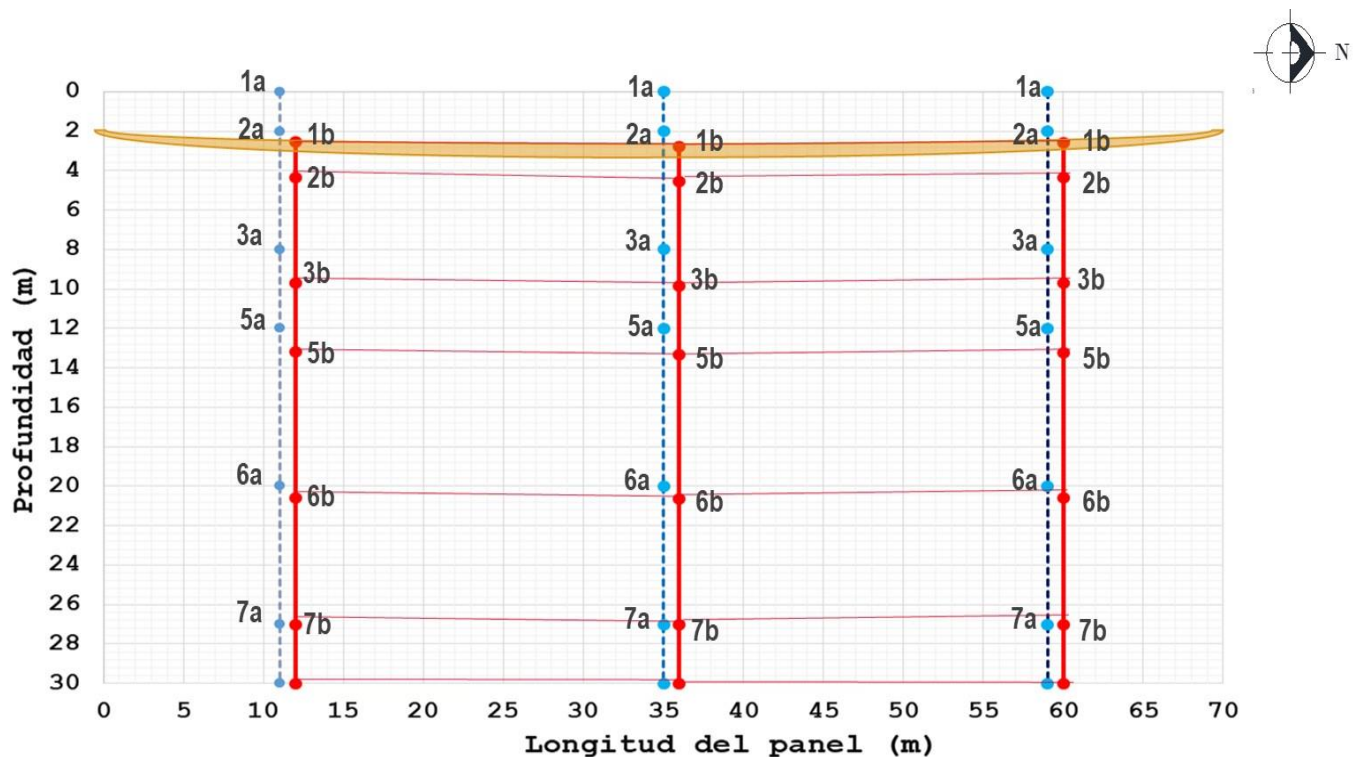



Figura B.23. "Perfil del panel respecto a los registros iniciales (Puntos azules) y registros al final de los seis meses de tratamiento (puntos rojos)."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 123 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.6. INCLINÓMETROS

B.3.6.1. Antes del inicio del Vacío

Antes de dar inicio al sistema de Vacío, durante el procedimiento constructivo se pudo observar que el suelo sufrió de desplazamientos horizontales hacia afuera del Panel cuando se colocó la plataforma de trabajo de tezontle.

B.3.6.2 Al inicio del Vacío

Al dar inicio al sistema de Vacío, ocurren desplazamientos horizontales bastante grandes, pero esta vez en el sentido contrario, hacia el interior del panel, lo cual es congruente con lo que se espera al originarse la reducción de volumen del suelo al perder agua. Estos desplazamientos se manifiestan en los 27 m de profundidad de tratamiento.

B.3.6.3 A los tres meses del Vacío

Cuando se coloca el relleno de compensación, que consiste en una capa de un metro de espesor de tezontle, los inclinómetros registran desplazamientos horizontales del terreno otra vez hacia el exterior del panel, lo cual es congruente con la deformación producida por una carga vertical superficial. En términos de magnitudes de deformación, la contracción del suelo ocasionada por el efecto del vacío (que es un efecto isotópico) es mayor al desplazamiento hacia afuera producida por la sobrecarga. Esto garantiza la estabilidad de taludes y la disminución importante de riesgos de falla en la arcilla por deslizamiento.


Una vez terminadas las actividades de relleno, los desplazamientos laterales continúan hacia el interior del panel.

Al igual que los desplazamientos verticales, la velocidad de deformación horizontal disminuye conforme pasa el tiempo.

Todos los inclinómetros muestran, en general, el mismo comportamiento, pero la magnitud de la deformación varía dependiendo de la distancia a la que se encuentre respecto al borde del panel. Entre más cercanos al borde, mayores son los desplazamientos horizontales, como es de esperarse.

B.3.6.4 A los seis meses del Vacío

A los seis meses de tratamiento, los desplazamientos horizontales se siguen presentando. La tendencia es similar a la de las deformaciones verticales, es decir, inicialmente se presentaron deformaciones grandes a una velocidad

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 124 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

de hasta 1 cm en este caso, y con el paso del tiempo la velocidad disminuye, sin embargo, no deja de presentarse. Así mismo, es notable observar la influencia del sistema, ya que se presentan deformaciones a una distancia de 20 m respecto al límite de la zona tratada, lo cual se debe a la contracción del suelo debido a la carga isotrópica.

B.3.6.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas

Una vez apagado el sistema de bombas se observa una un desplazamiento mínimo en dirección al interior del panel debido a que las válvulas cerradas permiten mantener el vacío atrapado y seguir consolidando el suelo. Sin embargo, debido a la disminución de la carga de vacío que ocurre durante el tiempo, el suelo deja de desplazarse horizontalmente, pero si presentar una expansión.

B.3.6.6 Apertura de válvulas


Al permitir la entrada de aire y dejar de aplicar la carga de vacío al 100 %, el suelo tiende a expandirse elásticamente, como se ha comentado anteriormente, es por ello que se muestra en los inclinómetros un desplazamiento en dirección al exterior del panel.

B.3.6.7 Interpretación Final

Los inclinómetros presenciaron y registraron las actividades del procedimiento constructivo, ya que, al realizar la colocación del material de la plataforma de trabajo y los respectivos rellenos, se desplazaron al exterior del panel, este comportamiento es relevante debido al comportamiento natural del suelo arcilloso al sufrir un incremento de esfuerzos totales. Sin embargo, al realizar la aplicación del vacío, fue evidente la aplicación de una carga isotrópica en el suelo ya que el mismo empieza a contraerse en todas sus direcciones, y es así, como los inclinómetros tenían una tendencia de deformación en dirección al interior del panel.

El comportamiento también depende de las características y propiedades de la estratigrafía. En los primeros 5.0 m de profundidad se encuentra un material arcilloso pre-consolidado el cual posee una resistencia mayor y una menor tendencia a la deformación, esto se ve reflejado en los desplazamientos medidos con el inclinómetro, ya que a esa profundidad su desplazamiento lleva una velocidad menor.

Como ya se verificó con el monitoreo de los extensómetros magnéticos, a una profundidad de entre 8 y 12 metros se encuentra un sub-estrato blando con
MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 125 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

un contenido de agua alto, el cual tiende a una deformación mayor de forma vertical, pero también de forma horizontal. Se puede ver en los registros de los inclinómetros que en este sub-estrato la velocidad de deformación es mayor que en otras profundidades.

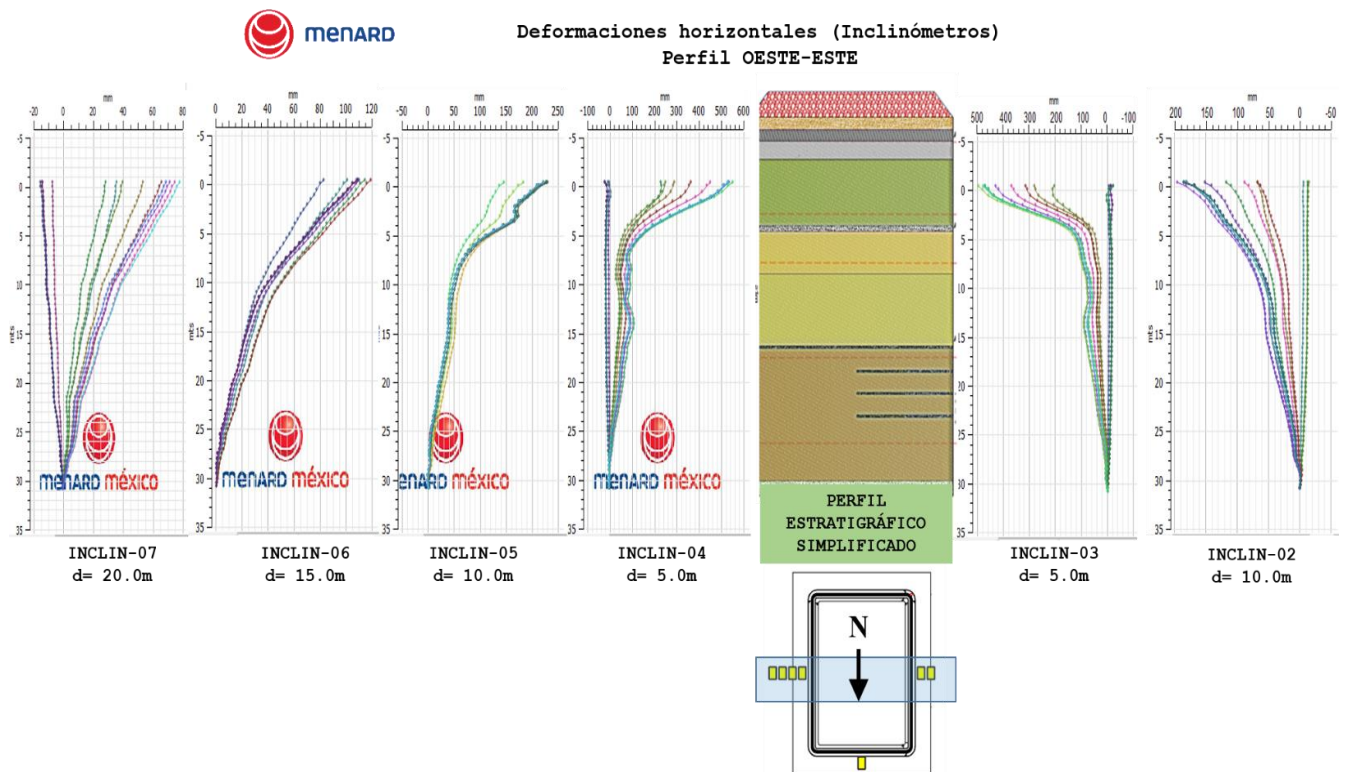



Figura B.24. "Registros de los desplazamientos obtenidos en los inclinómetros 04 a 07"

En la figura anterior se observa que a mayor distancia del panel menor es la magnitud del desplazamiento horizontal; sin embargo, aún a 20 m de distancia todavía existen desplazamientos horizontales de hasta 8 cm en superficie.

En la figura siguiente se presentan las deformaciones horizontales medidas en los inclinómetros y su distancia relativa al panel, para poder estimar la magnitud de la contracción del panel.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 126 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

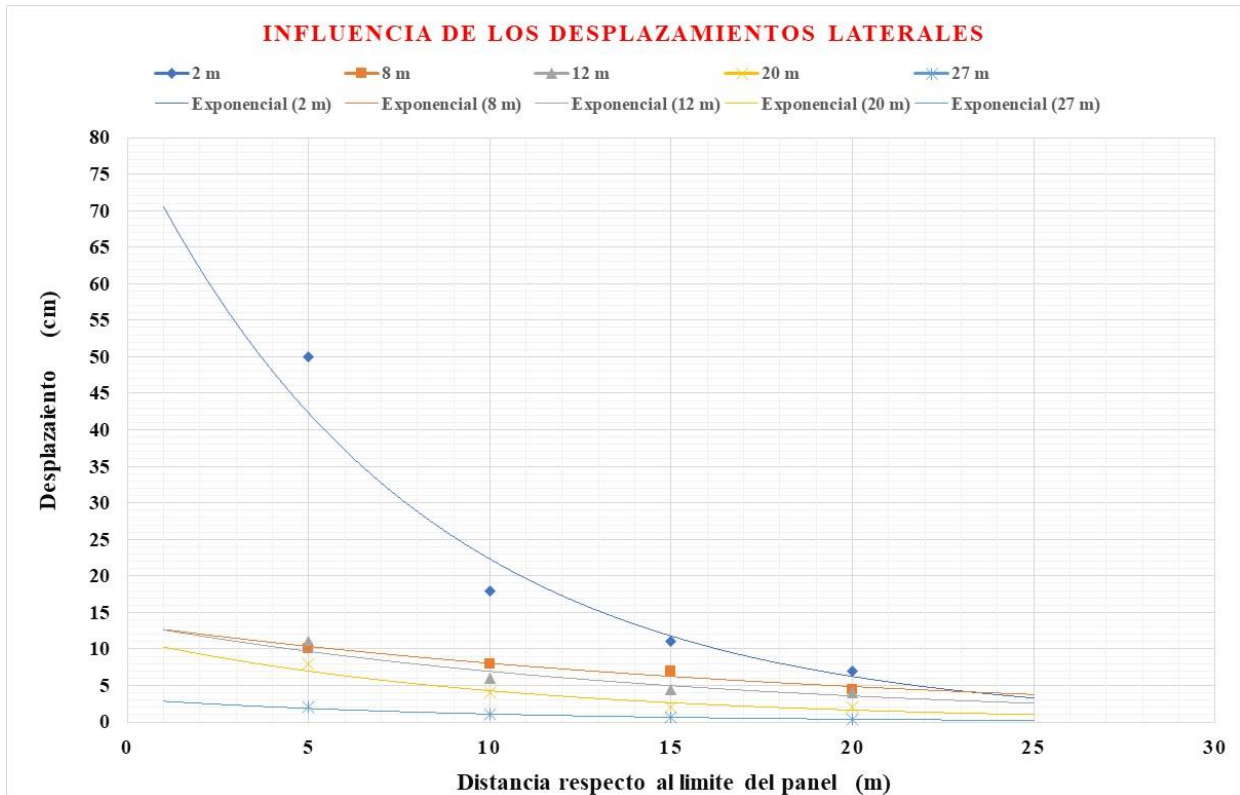



Figura B.25. "Desplazamientos horizontales registrados en los inclinómetros vs distancia respecto al panel. Se observa que a mayor lejanía con el panel el desplazamiento horizontal es menor. Se pueden estimar contracciones del panel de hasta 75 cm en cada borde del panel."

De la figura anterior se pueden estimar contracciones horizontales de la masa de suelo de hasta 75 cm de cada lado, lo que representa una contracción total de 1.5 c. La relación entonces entre el desplazamiento horizontal con respecto al vertical es $1.5 / 2.94 = 0.51$.

A continuación, se muestran las historias de desplazamientos horizontales ocurridos durante la aplicación del sistema de vacío y los protocolos finales.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 127 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

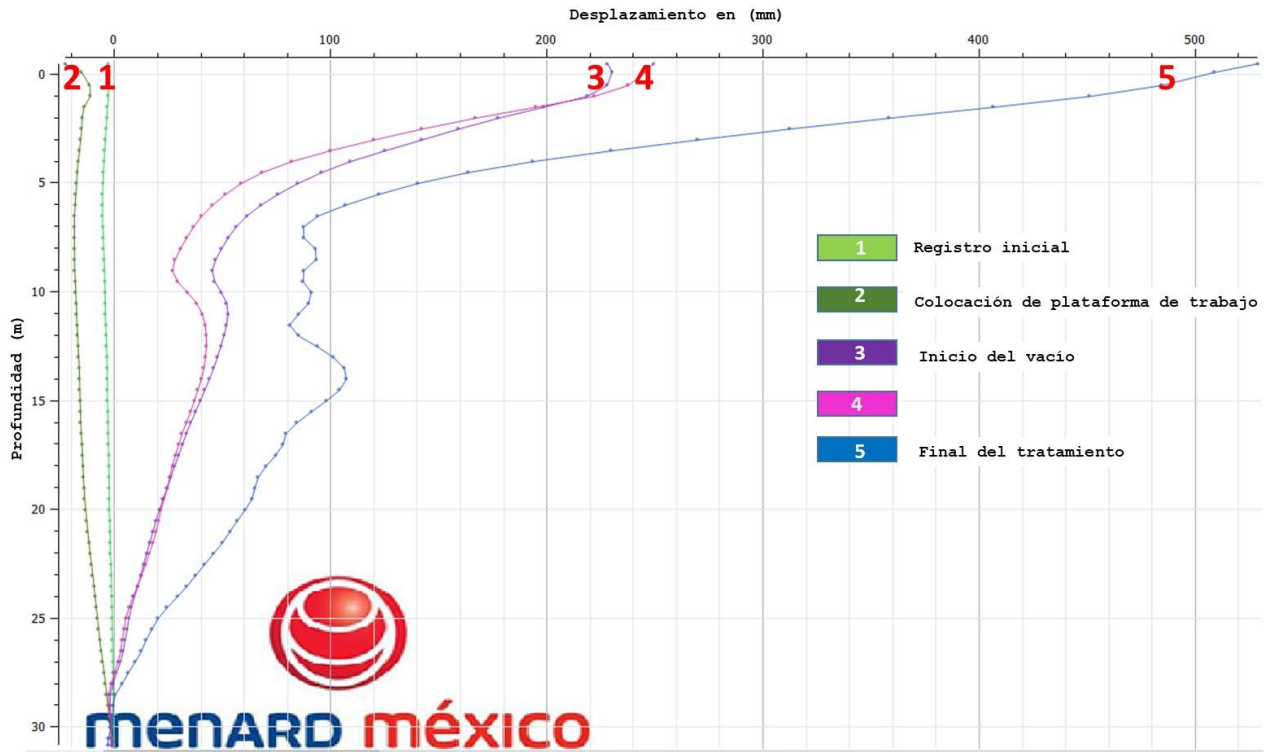



Figura B.26. "Desplazamientos horizontales registrados en los inclinómetros durante las etapas del proceso constructivo del panel y la aplicación del vacío."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 128 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.7. POZOS DE OBSERVACIÓN Y PIEZÓMETROS CASAGRANDE

B.3.7.1 Antes del inicio del Vacío

El objetivo de instalar los pozos de observación y los piezómetros Casagrande, es observar el comportamiento del Nivel freático a fuera de la zona ocupada por el terraplén de la prueba. Estos instrumentos se encuentran a 10 m de distancia del borde del panel de prueba.


Así entonces, el nivel inicial del NAF registrado en los pozos de observación fue de 0.80 m por debajo del Nivel de Terreno Natural (N.T.N.), y durante la construcción del terraplén este nivel no tuvo variaciones; solamente el nivel del agua subió alrededor de 20 cm, cuando las lluvias se volvieron frecuentes, llegando a estar a 60 cm por debajo del N.T.N.

Los Piezómetros Casagrande se instalaron colocando las puntas a las mismas profundidades que los piezómetros eléctricos con el fin de poder correlacionar los resultados entre unos y otros instrumentos. En general, el comportamiento de las presiones leídas en estos piezómetros fue el mismo que lo observado en los niveles de agua registrados en los pozos de observación. Se grafican las presiones que se obtienen a partir del monitoreo de los piezómetros Casagrande, y se obtiene, antes del inicio del vacío una gráfica igual a la presión hidrostática.

B.3.7.2 Al inicio del Vacío

Al dar inicio al sistema de Vacío se observa que los niveles de agua en pozos de observación se mantienen constantes, es decir que no existe conexión con el nivel freático de dentro de la zona de prueba. Esto es un indicativo de que la arcilla que no tiene drenes verticales es capaz de aislar la masa de suelo que sí los tiene (barrea impermeable).

De la misma manera se comportan los Piezómetros Casagrande, tanto en niveles de agua como en presiones, por lo que se asume que existe la barrera impermeable natural mencionada toda la profundidad tratada es totalmente impermeable y no hay influencia con los niveles freáticos fuera de la zona tratada.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 129 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.7.3 A los tres meses del Vacío

Después de tres meses de aplicación de vacío, el NAF se ha mantenido constante afuera de la zona del panel.

Respecto a los piezómetros Casagrande, los valores se mantienen, en general, constantes.

En los registros del piezómetro Casagrande existen incrementos bruscos a 27 m de profundidad que se deben a los momentos en que se realiza el lavado del instrumento para eliminar el azolve acumulado en el fondo.

B.3.7.4 A los seis meses del Vacío

A los seis meses de la aplicación constante de vacío en la zona específica, se siguió observando que no existe influencia con el nivel de aguas freáticas fuera de dicha zona ya que los cambios ocurridos son mínimos y provocados por cuestiones hidrológicas.

B.3.7.5 Apagado de sistema de bombas con válvula cerrada


En esta fase el comportamiento continúa siendo el mismo. No hay influencia con el exterior de la zona tratada

B.3.7.6 Apertura de válvulas

En esta fase, los piezómetros instalados dentro de la zona tratada resienten el término de la aplicación del vacío, sin embargo, la instrumentación piezométrica instalada fuera de la zona tratada mantiene sus registros constantes.

B.3.7.7 Interpretación Final

Se puede concluir que de acuerdo con los registros de los Pozos de observación y a los piezómetros Casagrande, no existen influencias piezométricas fuera de la zona tratada, esto debido a la impermeabilidad del sistema (barreras naturales impermeables formadas por la arcilla que rodea a la zona en consolidación).

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 130 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

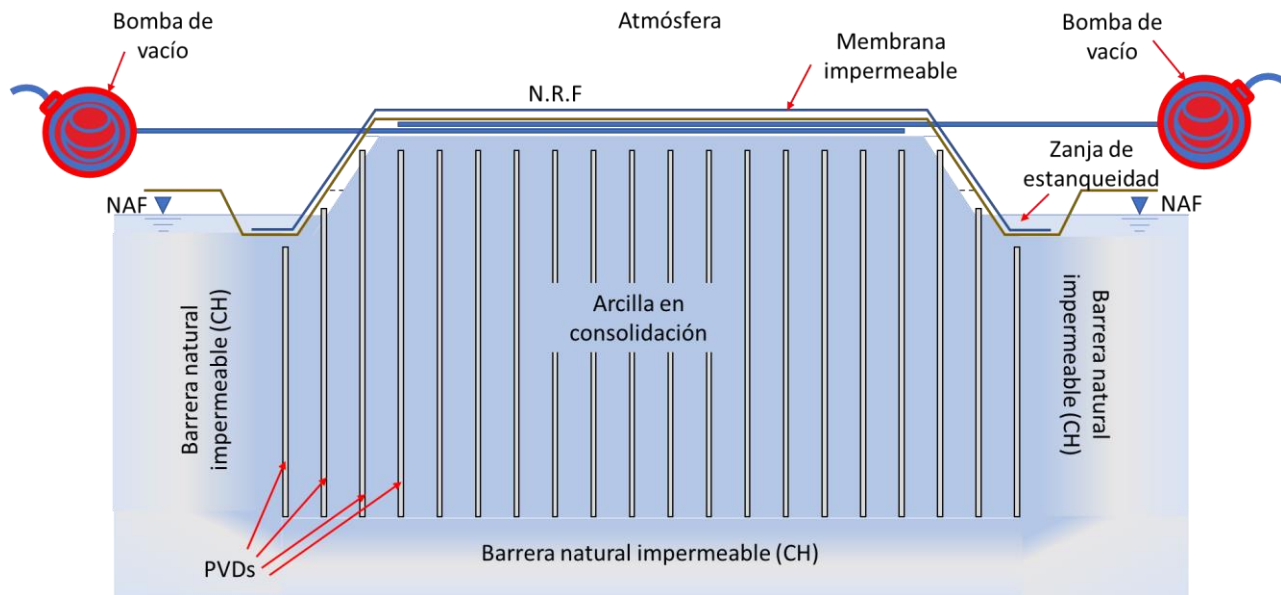



Figura B.27. "Corte esquemático de sistema de vacío. En los bordes de la zona que contiene los Drenes Verticales Prefabricados (PVDs) se crean barreras naturales impermeables con la misma arcilla que no tiene drenaje artificial. De esta concepción se genera el concepto de bolsa de café envasada al vacío"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 131 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

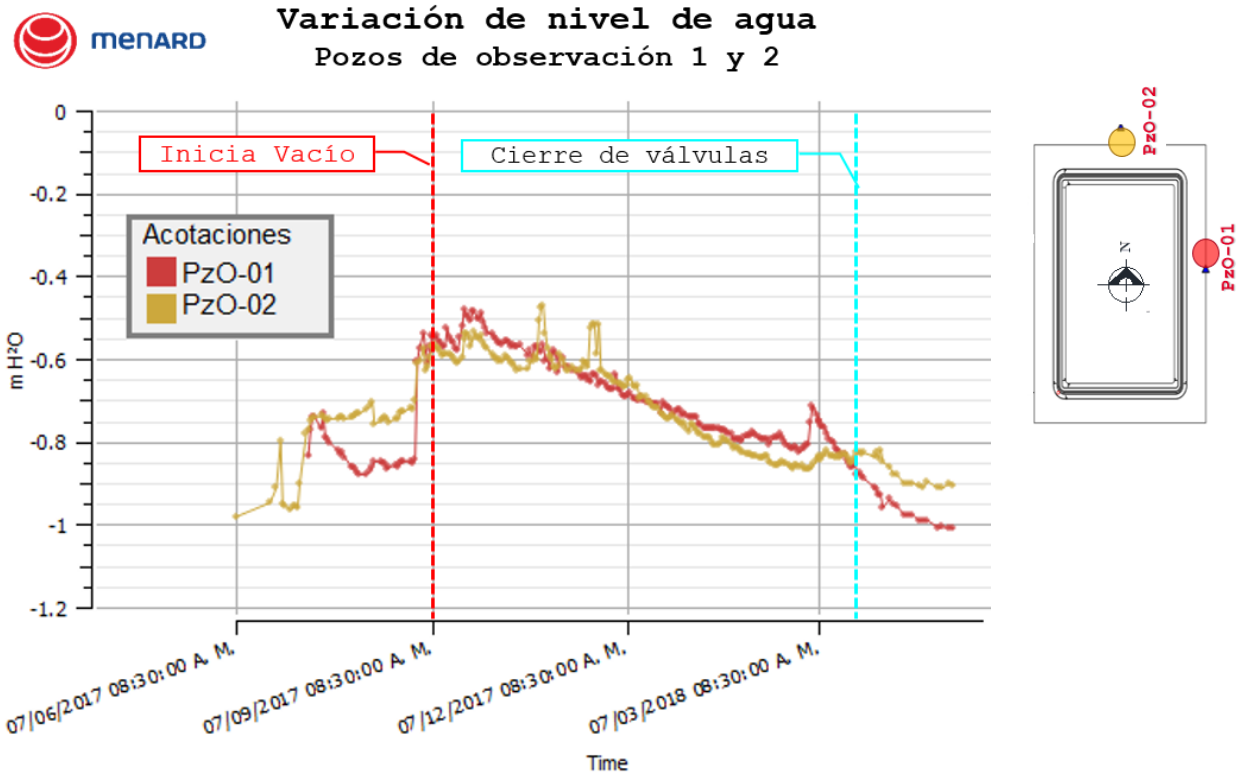



Figura B.28. "Historias de profundidades del Nivel de Agua Freática en los pozos de observación. La referencia es el Nivel de Terreno Natural"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 132 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

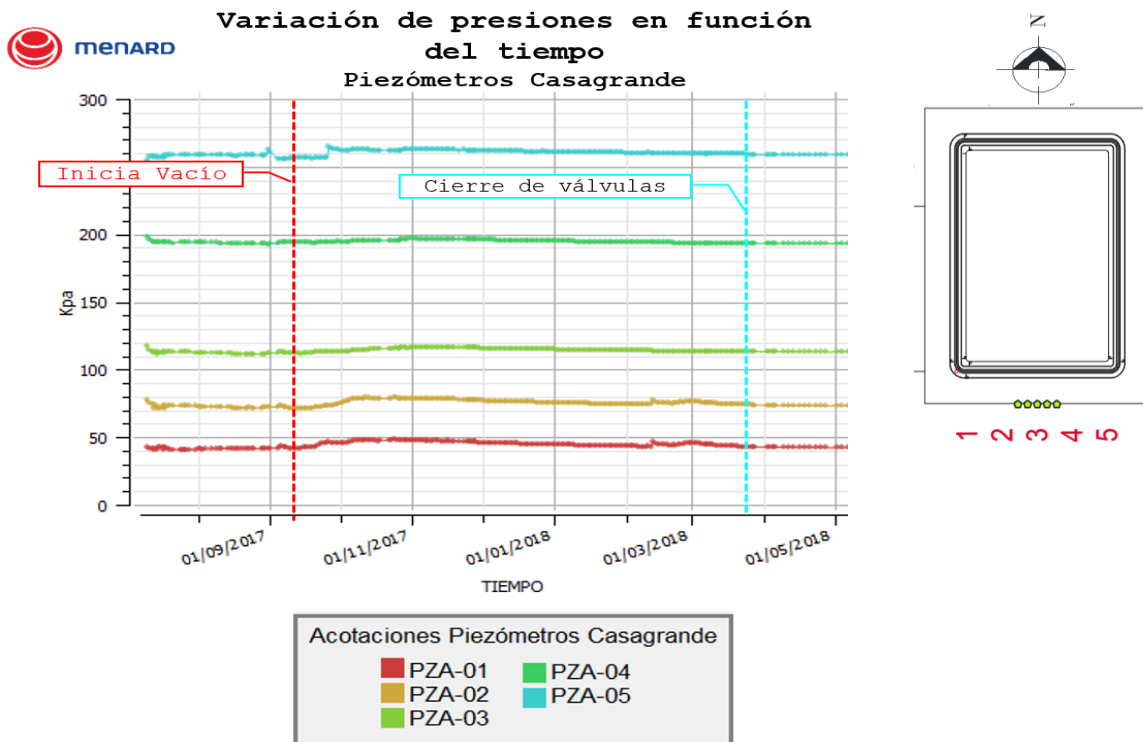



Figura B.29. "Historias de presiones de agua obtenidas de los piezómetros Casagrande."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 133 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.3.8 CELDAS DE PRESIÓN

Se nos solicitó la instalación de dos celdas de presión al Nivel de Terreno Natural, por debajo de todo relleno (plataforma de trabajo y relleno de compensación), en dos zonas diferentes del panel de prueba.

B.3.8.1 Antes del inicio del Vacío

Las lecturas obtenidas de las celdas corresponden a la carga aplicada por la plataforma de trabajo (1.0 m de espesor de Tezontle). Esto comprueba que las celdas fueron correctamente instaladas y que funcionan adecuadamente al aplicar presiones.

B.3.8.2 Al inicio del Vacío

Al dar inicio al vacío, las celdas comienzan a registrar valores poco congruentes con la realidad y sin correspondencia entre ellas: Una muestra aumento de presiones con el tiempo y la otra, disminución de éstas.

Este efecto puede deberse a que las celdas de presión instaladas realmente no funcionan correctamente cuando se encuentran al vacío.


B.3.8.3 A los tres meses del Vacío

Al realizar la colocación del material de relleno de compensación las celdas registran un aumento de la presión; sin embargo, los valores registrados no corresponden al peso del nuevo relleno ni tampoco parece haber equivalencia con la presión que ejerce el vacío sobre la plataforma. Pese a todo, al llegar los 3 meses de aplicación del vacío los valores registrados permanecen sin variación, lo cual indica que no ha habido crecimiento de cargas superficiales.

B.3.8.4 A los seis meses del Vacío

Se observa una tendencia constante pero dispersa una celda de la otra ya que la celda central mantiene un registro constante y la celda ubicada al norte tiende a disminuir. La interpretación de dicho instrumento puede llegar a ser incierta ya que , como se ha mencionado con anterioridad, la celda no esta calibrada para monitorear un sistema de vacío.

B.3.8.5 Apagado del sistema de bombas con válvulas cerradas

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 134 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

En este evento, se observa la misma tendencia que ha presentado cada una de las celdas durante el tratamiento.

B.3.8.6 Apertura de válvulas

En esta etapa final, se descarga el suelo al llevar la aplicación de vacío a cero, es una carga sumamente importante la que se retira y es por ello por lo que las celdas lo registran de tal manera que disminuye el valor que muestran. Sin embargo, la proporción de cada celda difiere.

B.3.8.7 Interpretación final

Finalmente se puede concluir respecto a las celdas de presión que han registrado una carga pero dicha carga no corresponde a la carga real aplicada ya que esta se transmite a partir de un sistema de vacío y la celda está calibrada a la presión atmosférica, sin embargo pudo registrar la colocación del material de la plataforma de trabajo de manera correcta antes de iniciar el tratamiento. La información que registran dichas celdas pueden causar confusión, es por ello que la carga de vacío es medida directamente en el suelo por medio de los Vacuómetros.

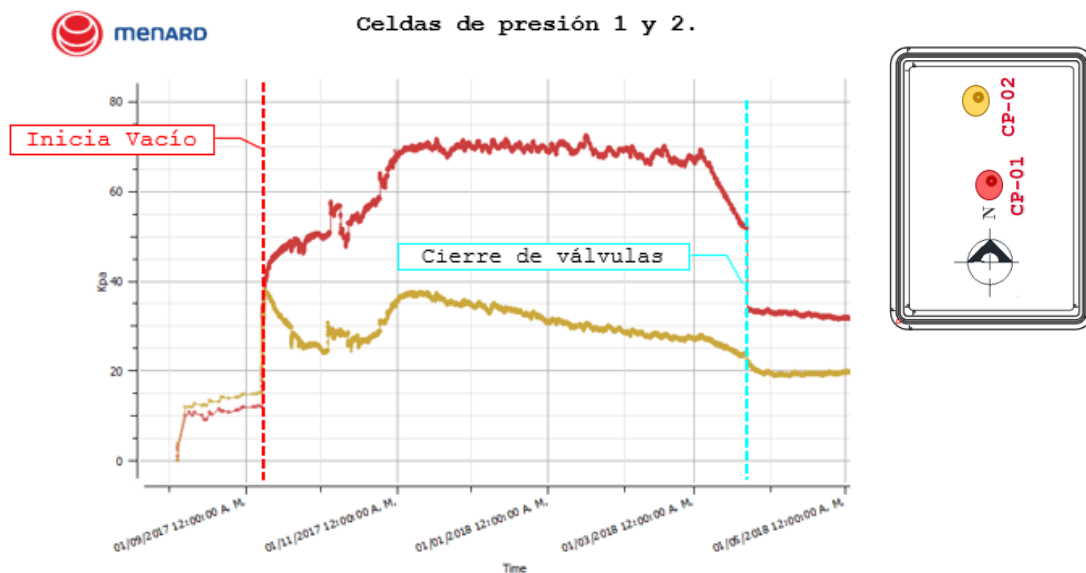



Figura B.30. "Historias de presiones medidas por las celdas de carga."

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 135 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

B.4 OBTENCIÓN DEL GRADO DE CONSOLIDACIÓN A PARTIR DE LA INSTRUMENTACIÓN.


El grado de consolidación para este tipo de mejoramiento de suelo, es un parámetro importante de estimar, pues nos indica la proporción de la deformación que ha sufrido el suelo arcilloso con respecto a la máxima deformación que podría desarrollar dadas las características de deformabilidad, permeabilidad y relaciones de vacíos. Si bien este parámetro depende únicamente de las propiedades del suelo, se puede asociar el porcentaje de deformación obtenido con el porcentaje de carga aplicada, y por tanto, conociéndolo podemos saber que tanto a quedado 'preparado' el suelo para recibir las cargas futuras (las cargas de servicio de un proyecto).

Con la aplicación de la técnica de consolidación acelerada por vacío con membrana se pueden aplicar cargas de consolidación realmente altas al terreno (proporcionales a la presión atmosférica) y con ello asegurar una capacidad portante también alta, en un menor tiempo. Uno de los objetivos de la instrumentación y el monitoreo de los parámetros geotécnicos fue la definición de los tiempos de aplicación del sistema de vacío para asegurar que la precarga requerida ha sido aplicada el tiempo necesario. Esto se puede definir mediante la obtención del grado de consolidación del terreno.

A continuación, se muestra una estimación del grado de consolidación del terreno después del periodo de 6 meses de tratamiento por vacío, por medio de la interpretación de la variación de las presiones registradas en los piezómetros eléctricos.

El criterio propuesto consiste en verificar la proporción de presión intersticial que se ha perdido a diferentes profundidades con respecto a un valor teórico máximo que se podría alcanzar y que equivaldría a la depresión o vacío aplicado por el sistema y relacionado con la carga máxima aplicada por el relleno y el vacío. Los valores de depresión aplicados se conocen a través de los vacuómetros instalados bajo la membrana, los pesos volumétricos de los materiales obtenidos de las calas hechas directamente en el terraplén de prueba y los espesores de relleno instalados nos definen la carga superficial, mientras que los registros piezométricos sirven para verificar la variación de la presión intersticial en el suelo.

En las tablas y figuras que se muestran a continuación se observan los valores de presión intersticial registrados en cada bahía (zonas norte, centro y sur del panel), en diferentes profundidades y en diferentes etapas de la prueba, así como las variaciones de estas presiones entre las etapas.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 136 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

En general se revisan 5 etapas:

1. Etapla inicial.- Los valores iniciales representan la primera lectura hecha tras la instalación de los piezómetros.
2. Colocación de la plataforma de trabajo final (PT).- Se instala la plataforma de trabajo de 0.5 a 1.0 m. Esta etapa produce aumento en las presiones intersticiales del suelo, debido al aumento de la carga superficial.
3. Vacío (las bombas prendidas).- Las presiones intersticiales comienzan a disminuir, como era de esperarse, al prender las bombas de vacío. La gráfica mostrada corresponde a las lecturas tomadas un mes después del encendido de las bombas.
4. Colocación del relleno de compensación (RC).- Las presiones intersticiales aumentan nuevamente debido a la aplicación de una nueva carga superficial (peso del relleno de compensación).
5. Operación del sistema de vacío durante 6 meses.- Las presiones intersticiales continúan disminuyendo debido a la acción ininterrumpida del vacío en toda la masa de suelo. En esta etapa se pudo conocer el grado de consolidación final al término del tratamiento y conocer la precarga generada.


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 137 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla B.6; "Presiones intersticiales medidas en cada etapa y diferencia total para la Bahía 01, en la parte sur del panel de prueba. Se muestra el grado de consolidación asociado a la depresión presentada."

BAHÍA - 01 Sur

PzE-01	PROFUNDIDAD (m)	CARGA DE VACÍO (kPa)	PRESIONES (kPa)					ΔP	U% Sur
			INICIAL 09/06/17	PT 30/08/17	1 mes de Vacío 08/10/17	RC 10/11/17	6 meses de tratamiento 08/03/18		
A	2	63	11	15	9	16	4	-7	0.82
B	8	63	72	74	62	72	59	-13	0.21
C	12	63	113	115	104	113	95	-18	0.29
D	20	63	190	197	174	181	160	-30	0.48
E	27	63	250	264	234	240	226	-24	0.38
								PROMEDIO	0.43

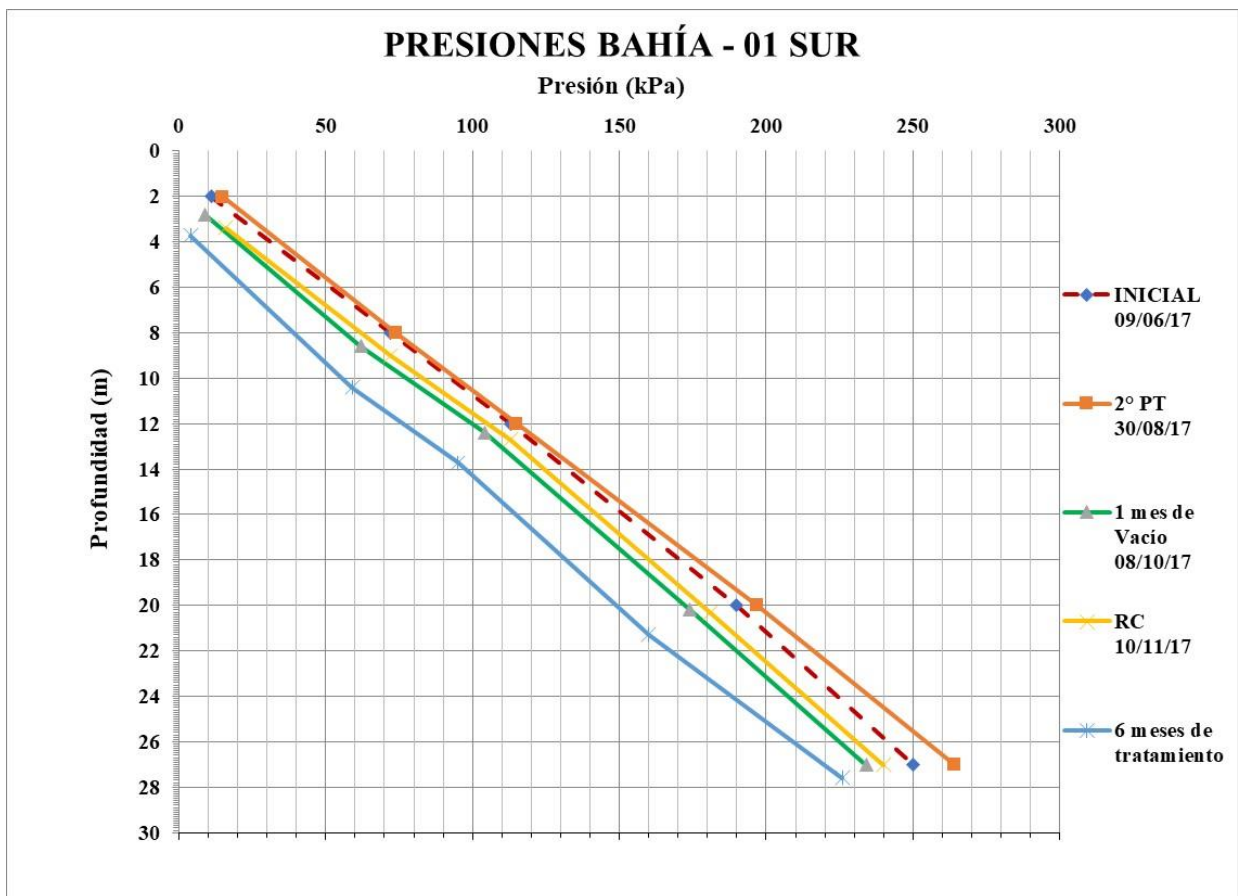



Figura B.31. "Presiones intersticiales medidas en las diferentes etapas del tratamiento en los piezómetros de la bahía sur"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 138 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

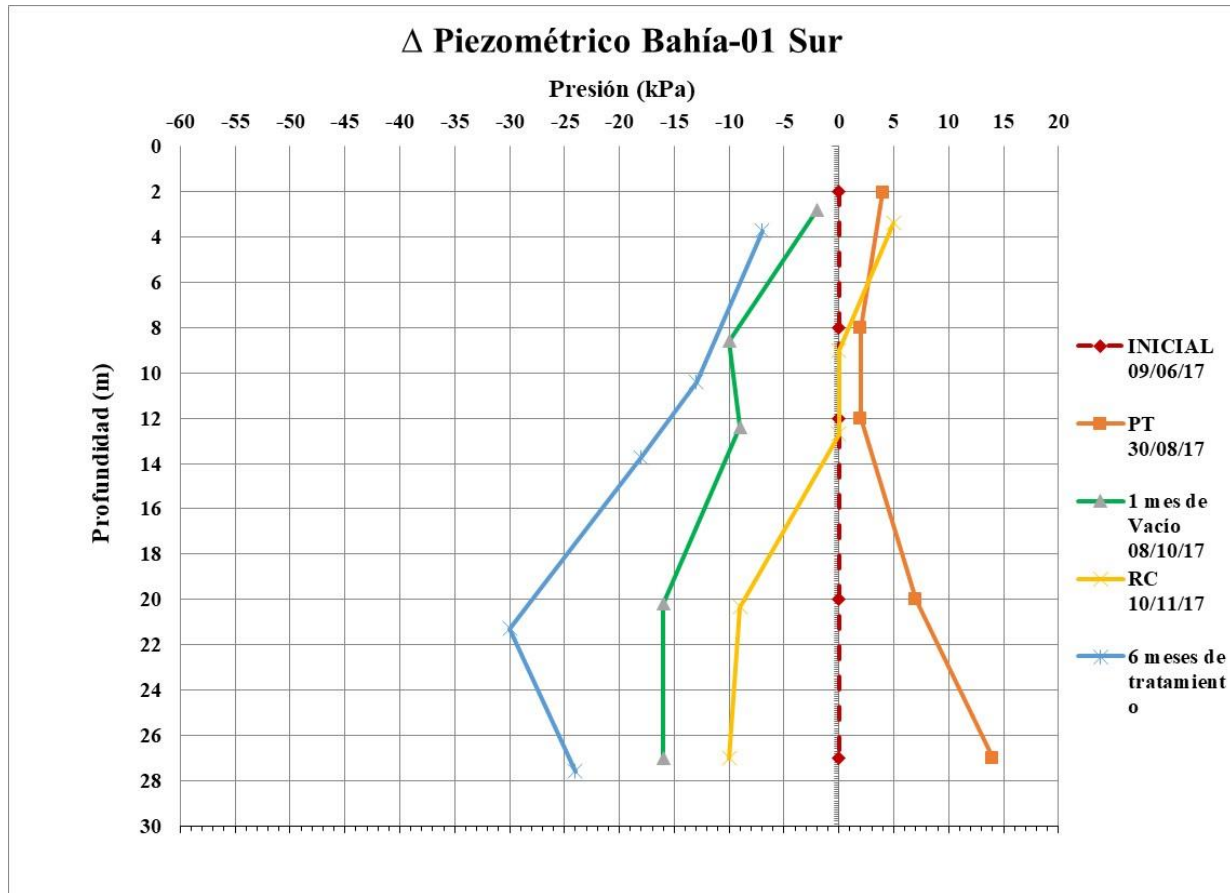


Figura B.32. "Cambios de presiones intersticiales, con respecto al valor inicial, registradas en las diferentes etapas del tratamiento. Piezómetros de la bahía sur"


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 139 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla B.7; "Presiones intersticiales medidas en cada etapa y diferencia total para la Bahía 02, en la parte central del panel de prueba. Se muestra el grado de consolidación asociado a la depresión presentadas."

BAHÍA - 02 Centro									
PzE-01	PROFUNDIDAD (m)	CARGA DE VACÍO (kPa)	PRESIONES (kPa)					ΔP	U% Centro
			INICIAL 09/06/17	PT 30/08/17	1 mes de Vacío 08/10/17	RC 10/11/17	6 meses de tratamiento 08/03/18		
A	2	63	14	18	8	16	3	-11	0.88
B	8	63	78	78	69	79	63	-15	0.24
C	12	63	110	114	110	109	93	-17	0.27
D	20	63	197	207	174	182	164	-33	0.52
E	27	63	258	267	252	257	239	-19	0.30
								PROMEDIO	0.44

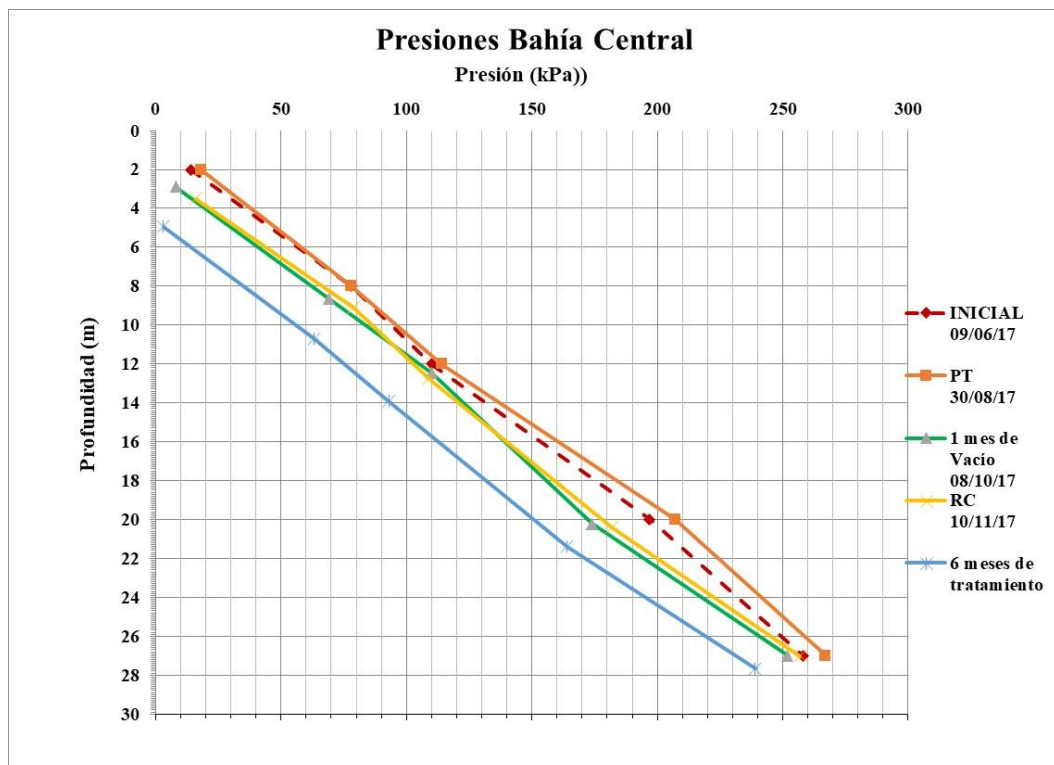



Figura B.33. "Presiones intersticiales medidas en las diferentes etapas del tratamiento en los piezómetros de la bahía central"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 140 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

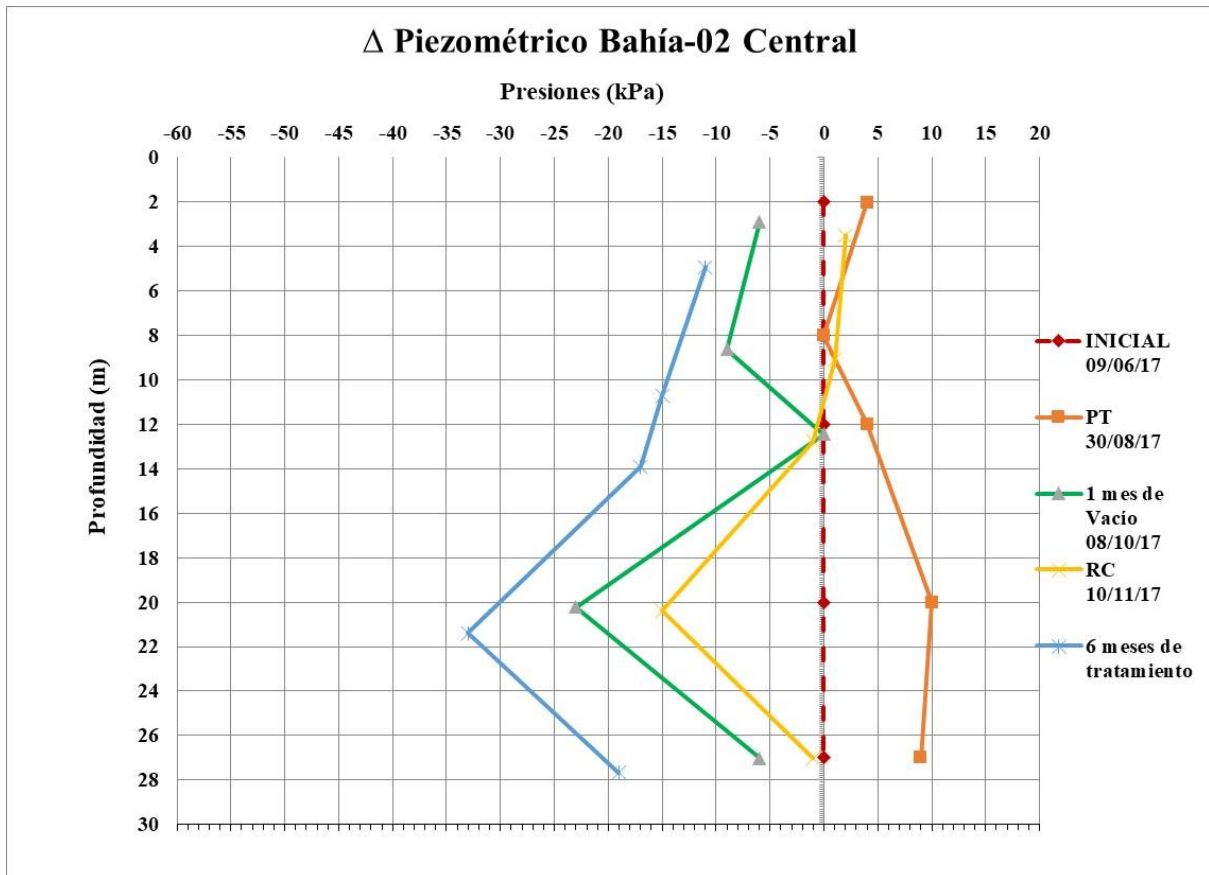


Figura B.34. "Cambios de presiones intersticiales, con respecto al valor inicial, registradas en diferentes etapas. Piezómetros de la bahía central"


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 141 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

Tabla B.8; "Presiones intersticiales medidas en cada etapa y diferencia total para la Bahía 03, en la parte norte del panel de prueba. Se muestra el grado de consolidación asociado a la depresión presentada."

BAHÍA - 03 Norte									
PzE-01	PROFUNDIDAD (m)	CARGA DE VACÍO (kPa)	PRESIONES (kPa)					ΔP	U% Norte
			INICIAL 09/06/17	PT 30/08/17	1 mes de Vacío 08/10/17	RC 10/11/17	6 meses de tratamiento 08/03/18		
A	2	63	11	11	-7	-1	0	-11	1.00
B	8	63	73	76	60	70	54	-19	0.30
C	12	63	112	115	93	102	88	-24	0.38
D	20	63	199	202	181	187	166	-33	0.52
E	27	63	253	268	236	241	229	-24	0.38
								PROMEDIO	0.52

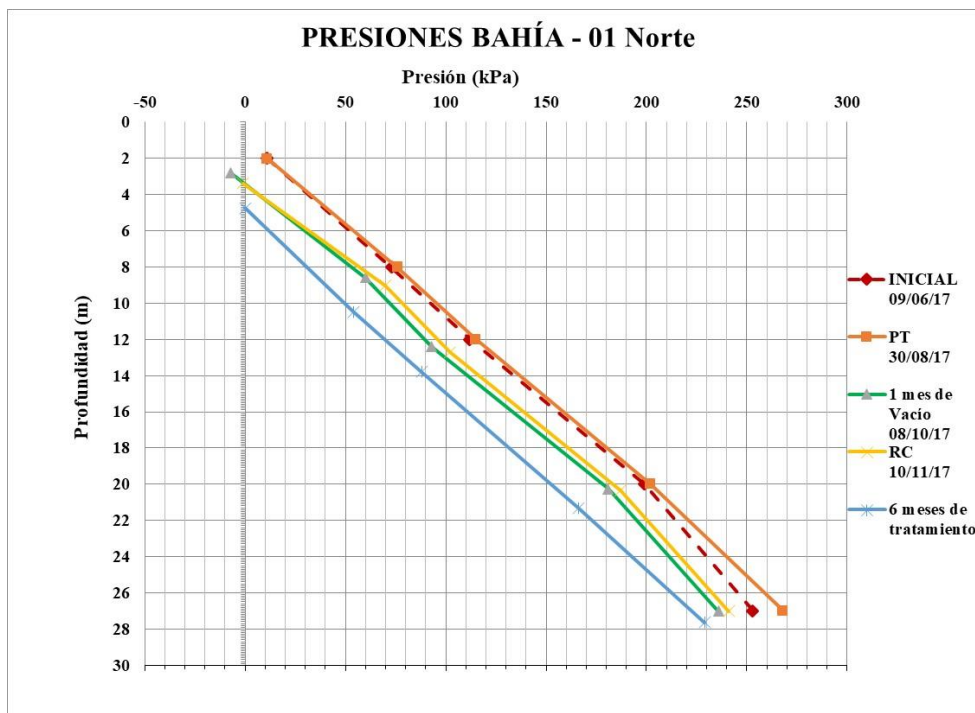



Figura B.35. "Presiones intersticiales medidas en las diferentes etapas del tratamiento en los piezómetros de la bahía Norte"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 142 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

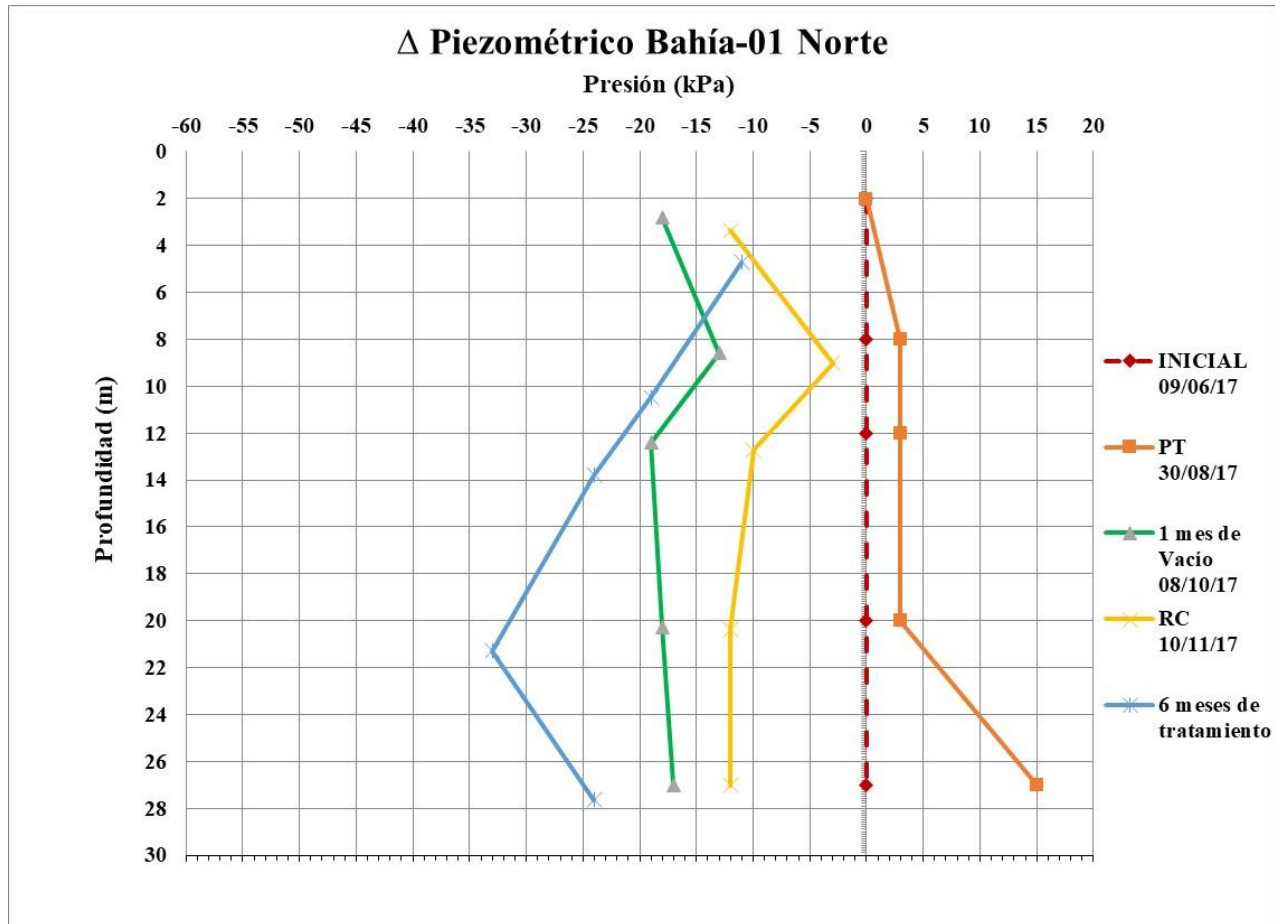



Figura B.36. "Cambios de presiones intersticiales, con respecto al valor inicial, registradas en diferentes etapas. Piezómetros de la bahía Norte"

De los valores medidos con la piezometría se puede conocer un valor aproximado del grado de consolidación de los estratos seleccionados y clasificados de acuerdo a la exploración y a la instrumentación geotécnica.


Es importante mencionar que el valor registrado por el piezómetro puede ser diferente al valor de presión intersticial real que exista en el suelo ya que la punta piezométrica puede estar demasiado cerca del dren, y esto daría un registro de presión intersticial más bajo de lo que se tiene en un punto de suelo que esté justo en medio de los drenes; es decir, que el valor medido depende de la cercanía que existe entre el piezómetro eléctrico y el Dren Vertical y que, por tanto, es importante tener en cuenta que los cambios de presión intersticial podrían no ser tan grandes

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 143 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

como los valores que se están obteniendo de la lectura de los piezómetros. Este efecto puede ser poco importante en los piezómetros instalados a poca profundidad, y por el contrario, podría tener más repercusión en los piezómetros instalados a profundidades grandes, ya que el proceso de perforación de drenes y piezómetros no tiene un control estricto de verticalidad.

Por otro lado, si la disminución de la presión intersticial es mayor a la presión intersticial que se tiene en la condición inicial, se puede hablar de que, en ese caso, se ha alcanzado el 100 % de la consolidación. Esto llega a suceder en etapas tempranas de la prueba en los sub-estratos superficiales.

En la figuras siguientes se muestran los grados de consolidación U(%) calculados con respecto a una depresión total del vacío de 63 kPa.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 144 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

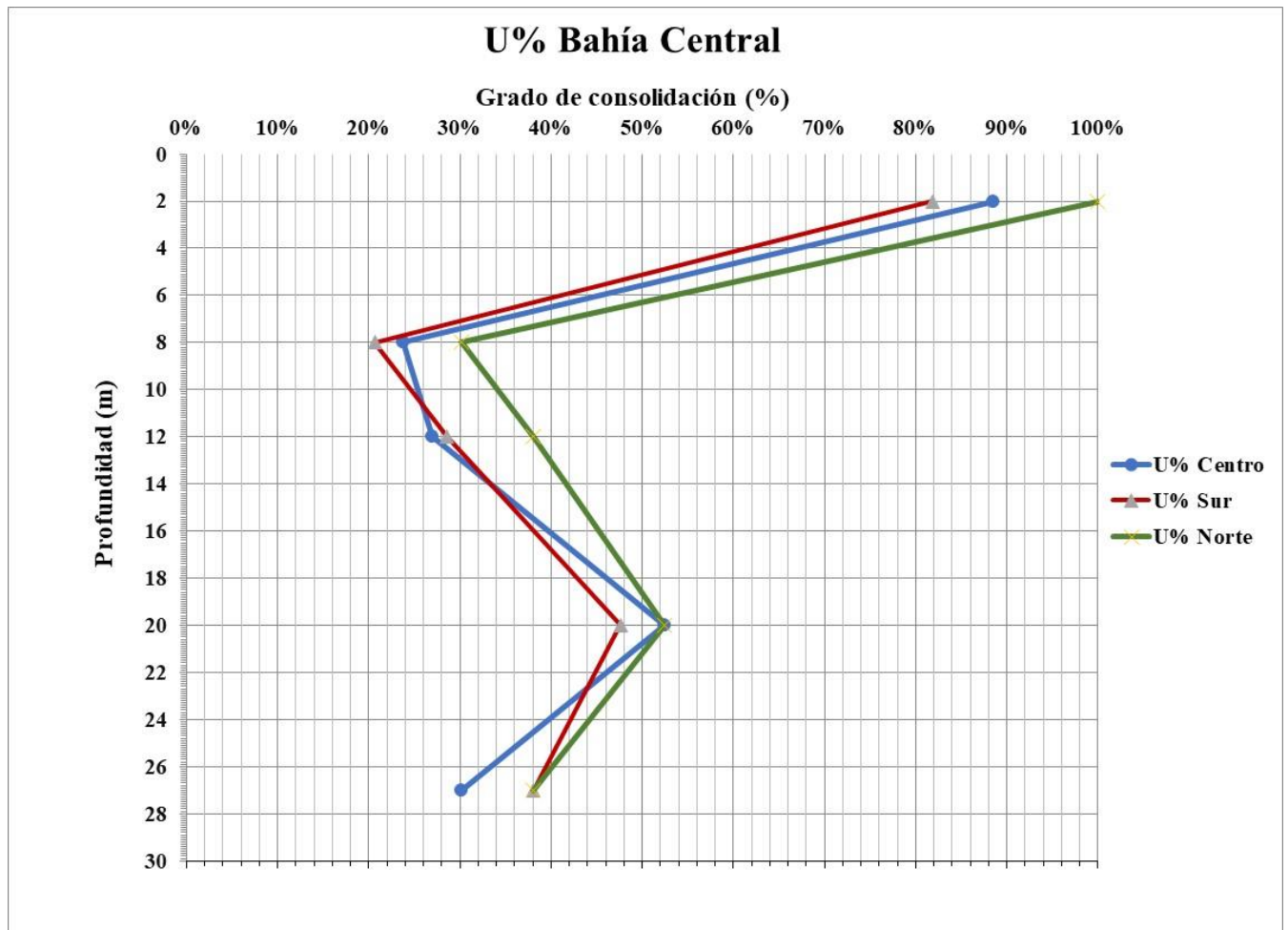



Figura B.37. "Grados de consolidación obtenidos para diferentes estratos de acuerdo con la información de los piezómetros instalados en cada bahía"


En promedio, para todos los estratos y bahías, se tiene un $U(\%) = 46.33 \%$.

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 145 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


Finalmente, como se hizo en el cuerpo principal de este documento, será importante correlacionar este porcentaje de consolidación obtenido con la carga asociada que se ha aplicado al sistema para realmente conocer la ganancia en capacidad del suelo. La carga aplicada total de vacío aplicada durante los 6 meses de tratamiento fue de 63 kPa promedio, y la carga superficial aproximada es de $13.7 \times 2.0 = 27.4$ kPa.

Tabla B.9; "Grado de consolidación determinado a partir del monitoreo de los piezómetros push in instalados en la zona tratamiento."

Tiempo	Carga de vacío aplicada promedio (kPa)	Carga por terraplén de tezontle (kPa)	Asentamiento (cm)	U (%)	Precarga generada (kPa)
6 meses de aplicación de vacío	63	27.4	294	46.33%	56.38

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 146 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

ANEXO D. COMPARACIÓN DEL PANEL DE CONSOLIDACIÓN POR VACÍO MENARD VACUUM CON EL PANEL DE BOMBEO AL VACÍO DREN A DREN


	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 147 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

D.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS MEMBRANA Y DREN A DREN

El sistema de vacío con membrana, *Menard Vacuum*, utiliza la presión atmosférica de un sitio para precargar a un terreno impermeable con el fin de anticipar deformaciones superficiales de largo plazo activando su proceso de consolidación y preparando al terreno para resistir las cargas de servicio a las que se verá sujeto en la vida útil del proyecto. Este sistema tiene numerosas ventajas con respecto al sistema de consolidación acelerada clásico realizado con un terraplén de precarga, ya que, en comparación con este último, con el sistema de vacío con membrana se reducen al mínimo los volúmenes de material de precarga superficial, son menores los tiempos de instalación del sistema de consolidación, y se reducen también, los tiempos de aplicación de precarga necesarios para lograr cierto grado de consolidación del terreno; por otro lado, el riesgo de inestabilidad del terreno se aminora ya que los esfuerzos que se generan en la masa de suelo son isotrópicos y en la dirección contraria a los desplazamientos que generan fallas. Por sus condiciones, el terraplén bajo el cual se instala el sistema de vacío, puede ser una plataforma para circulación de equipos de construcción, por lo que las zonas donde se aplica la técnica MENARD VACUUM, siempre podrán formar parte de caminos de acceso, oficinas, etc.

El sistema de consolidación MENARD VACUUM genera una precarga alta al terreno, pues se aplican presiones uniformes que oscilan entre 70% y 90% de la presión atmosférica existente en el sitio, disminuyendo también en esa proporción la presión de poro intersticial de las arcillas impermeables: aumenta en directo la magnitud de los esfuerzos efectivos, sin aumento del esfuerzo total. Esta precarga se transmite uniformemente en toda la masa de suelo tratada y en todas direcciones. El sistema utiliza una membrana impermeable y zanjas de estanqueidad que aíslan el suelo de la atmósfera. La arcilla que rodea a la masa de suelo tratada forma una barrera vertical naturalmente impermeable que limita los efectos de la consolidación a la zona ocupada por los Drenes Verticales Prefabricados (DVP o PVD): de ahí que se haga la analogía de este sistema que 'empaqueta' al suelo, con una bolsa con granos de café envasados al vacío. Esta malla de Drenes Verticales Prefabricados que se utilizan para aumentar la velocidad de consolidación del suelo y que definen la permeabilidad del sistema, terminan en la parte superior embebidos en una capa superficial de relleno permeable (arena o grava) que contiene también la malla de drenes horizontales que van conectados a las bombas de vacío. La conexión entre drenes verticales y horizontales es precisamente esta capa permeable, por lo que no hay necesidad de unir manualmente los drenes verticales y horizontales entre ellos. La conexión así concebida facilita el proceso de

MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 148 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			


instalación del sistema y, sobre todo, hace al sistema lo suficientemente flexible para que el terreno pueda asentarse o deformarse de forma importante sin que existan riesgos de desconexiones: la transmisión uniforme del vacío en todo punto será garantizada.

El sistema de vacío así logrado produce la disminución de la presión intersticial del suelo sin abatir los niveles agua de la zona y repartiendo uniformemente la depresión en toda la superficie y en toda la profundidad.

Un sistema de bombeo con vacío con conexiones directas de los drenes horizontales con los verticales (bombeo dren a dren), sin el uso de una membrana que aisle la masa del suelo de la atmósfera, se convierte en un sistema de abatimiento de los niveles de agua del suelo, teniéndose poca eficiencia en la generación de la consolidación y sin tener efectos importantes de precarga a profundidad.

La diferencia de asentamientos que se producen entre los paneles de prueba Dren a Dren y Menard Vacuum es debida a la magnitud de cargas de vacío efectivas que se generan en el terreno: Mientras que en el panel de consolidación por vacío con membrana Menard Vacuum, se tienen asentamientos de 2.94 m en 6 meses debidos a la aplicación de más de 60 kPa de carga de vacío promedio, en el panel de bombeo Dren a Dren apenas se generó un asentamiento, al centro del panel, de 1.98 m en 6.0 meses, lo cual equivaldría a tener una carga de apenas 27 kPa máximos en la superficie, que justamente es coincidente con el abatimiento del agua que puede estar ocurriendo en el terreno siendo que se realiza un bombeo directo del agua a través de los drenes verticales. Lo anterior puede verse gráficamente en la siguiente figura donde se correlacionan los asentamientos obtenidos en los paneles y las cargas aplicadas.

Gracias a las pruebas realizadas en el predio del Nuevo Aeropuerto se ha verificado que la conexión directa de las bombas a los drenes verticales (sistema dren a dren) no significa tener una mayor eficiencia y eficacia del proceso de consolidación. La eficiencia del sistema se mide con el porcentaje real de presión atmosférica que se transmite como carga de vacío directamente al suelo. El sistema con membrana representa la manera más eficiente de lograr esto: la membrana y las zanjas de estanqueidad aíslan el suelo de la atmósfera y 'atrapan' el vacío aplicando más del 70% de la presión atmosférica del sitio como carga en el suelo. Por otro lado, el sistema con membrana resulta más eficaz en lograr la consolidación puesto que la depresión se transmite en todo el espesor de arcilla tratado (longitud de los drenes verticales) sin abatimiento del nivel del agua del subsuelo, generando asentamientos en todo este espesor. El sistema dren a dren, tiende a abatir el nivel del agua freática, generando puntos cerca de

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 149 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

las conexiones de los drenes en donde las bombas tienden a absorber aire y no agua, y, por tanto, se reduce el total de la depresión aplicada y existe un gradiente que disminuye dicha depresión con la profundidad.


En cuanto a la medición de las depresiones de vacío aplicadas, en el sistema con membrana, Menard Vacuum, los vacuómetros se colocan directamente bajo dicha membrana lo que resulta en un método certero para saber la magnitud de la carga que realmente se está aplicando en el terreno y se asegura que ésta se aplica de forma regular. La medición del vacío en el sistema Dren a Dren, se realiza sobre la bomba o en una tubería, pero no asegura que la magnitud de la depresión medida se esté realmente transmitiendo al suelo. Por otro lado, la medición de la depresión en una tubería en particular no asegura que no existan desconexiones en otras, por lo que no se asegura que la depresión se transmita de forma regular en el suelo. En ocasiones sucede también, que cuando el asentamiento se genera, las tuberías verticales se desconectan de los drenes verticales.

Vale la pena hacer mención también que, después de los resultados observados de los dos sistemas en el terreno del aeropuerto, se comprueba que no es necesario generar barreras impermeables para aislar el suelo a consolidar, sino que la propia arcilla circundante hace esta función debido a sus características de baja permeabilidad.

Finalmente, es importante resaltar que el sistema Menard Vacuum tiene la ventaja enorme de que puede conservar el vacío bajo la membrana aún con las bombas apagadas. Se comprobó mediante un procedimiento sencillo, con duración de dos semanas, que el vacío que ha sido generado bajo la membrana se puede mantener varios días sin la operación de las bombas y sin utilización de energía eléctrica, generando continuidad en el proceso de consolidación de las arcillas. Esta condición evidentemente da oportunidad a poder hacer reparaciones, mantenimientos o reemplazos a las bombas durante el proceso, o bien, de hacer cambios, ajustes o reparaciones en el sistema, sin detener el proceso de consolidación. Esto representa una gran diferencia con respecto al sistema Dren a Dren cuyo funcionamiento depende al 100% de que las bombas estén prendidas y consumiendo energía en todo momento, haciendo paros en el proceso de consolidación cuando cualquier eventual problema o imprevisto se suceda en el sistema de bombeo.

Con lo anteriormente explicado, se entiende el porqué las fugas que eventualmente pudieran generarse por rotura de la membrana, no representan una desventaja real en el sistema Menard Vacuum, puesto que éstas no generan una pérdida instantánea de la depresión aplicada en el suelo, y debido a que son fácilmente detectables gracias al monitoreo de los vacuómetros, no representan un factor que impacte de manera súbita en la

MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003 rev 1_18-06-07

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional (de la Ciudad) de México	Pag. 150 de	152
TÍTULO:	Resultados obtenidos en la operación del Sistema de Consolidación Acelerada por Vacío con Membrana (Menard Vacuum) en un panel de prueba para el Nuevo Aeropuerto Internacional de (la Ciudad de) México (NAICM - NAIM)			

eficiencia del sistema. Por el contrario, cuando en el sistema Dren a Dren se presentan pequeñas fugas o entradas de aire o agua en las tuberías, conexiones o drenes, éstas no son fácilmente detectables y producen el paro instantáneo del proceso de consolidación, local o globalmente.

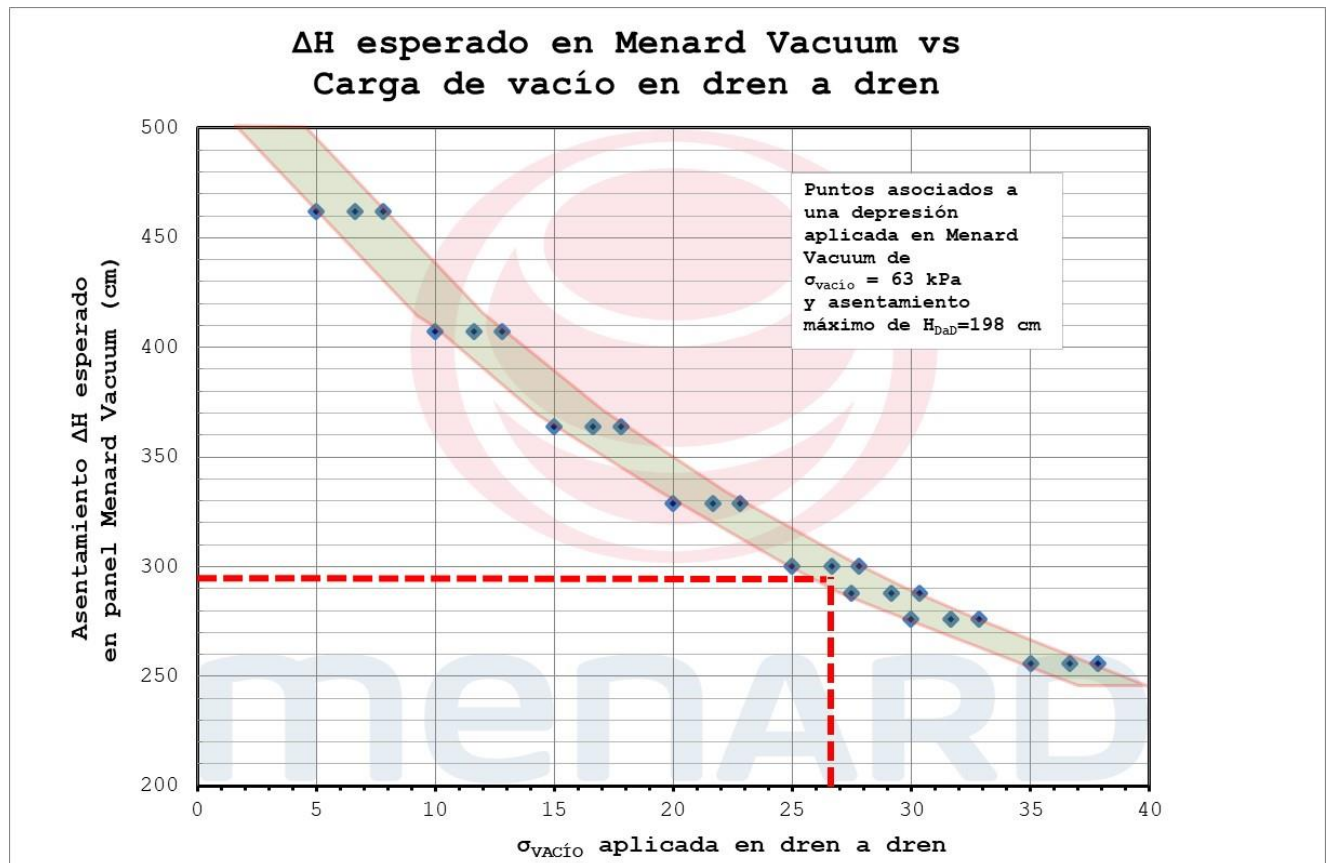

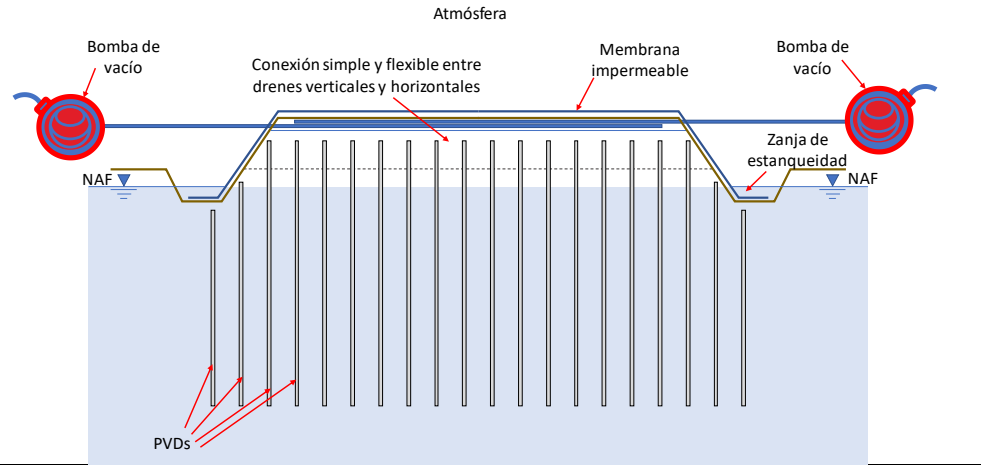
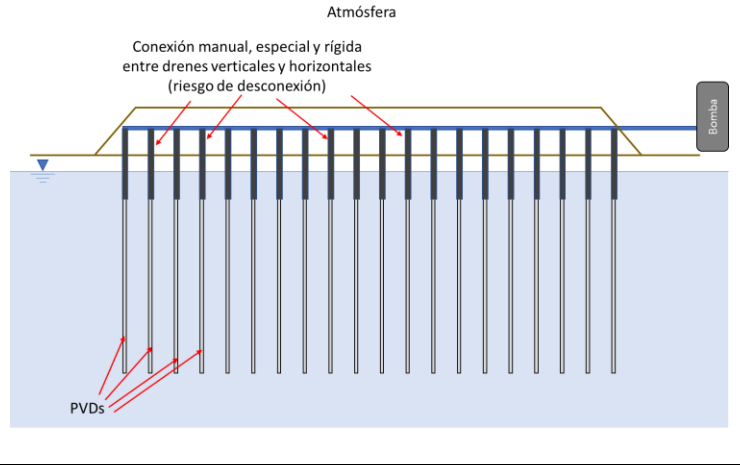
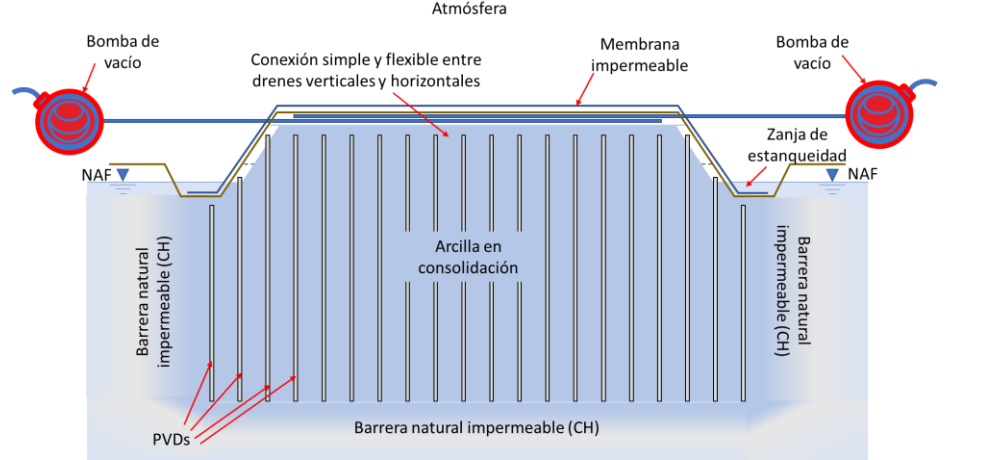
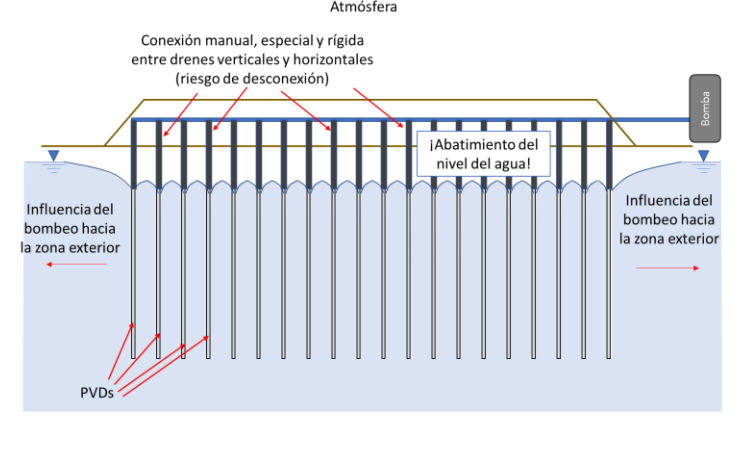



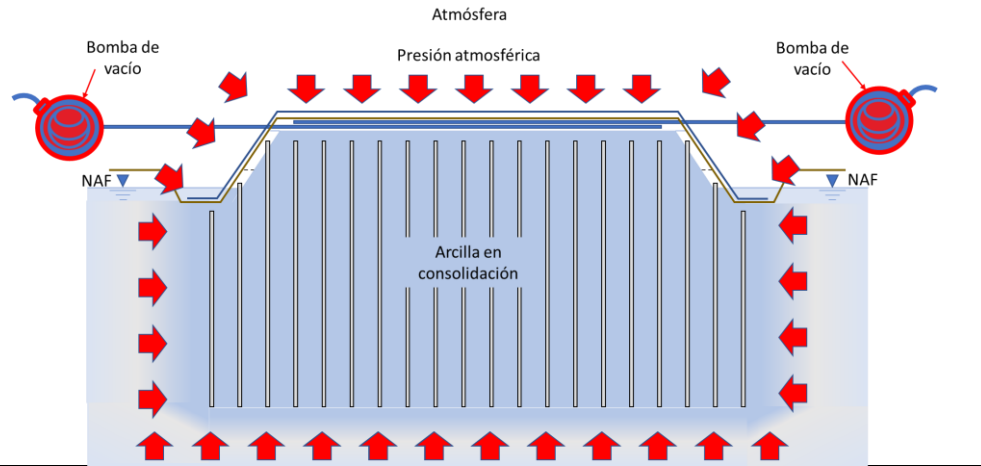
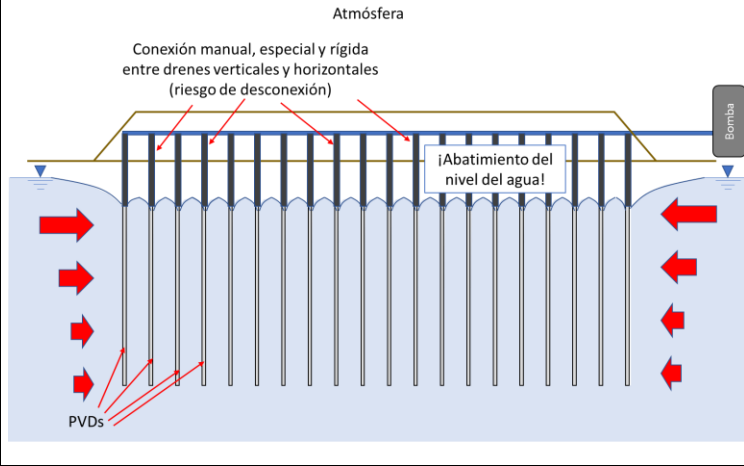
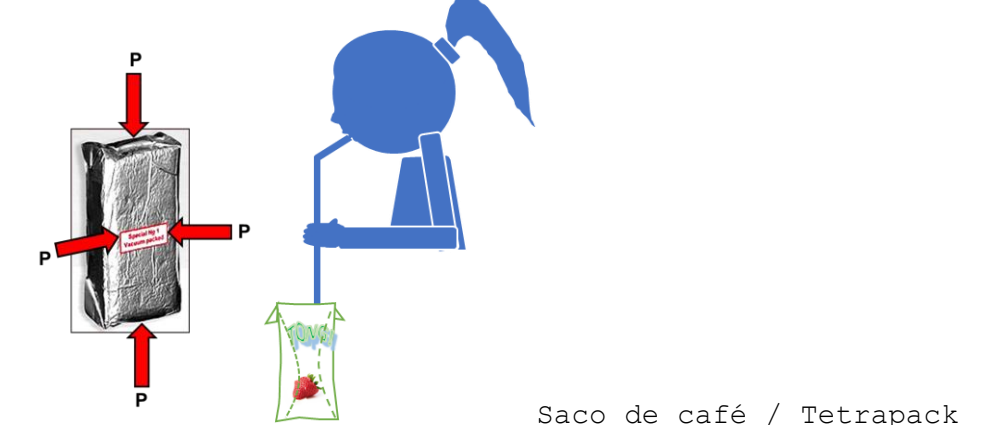
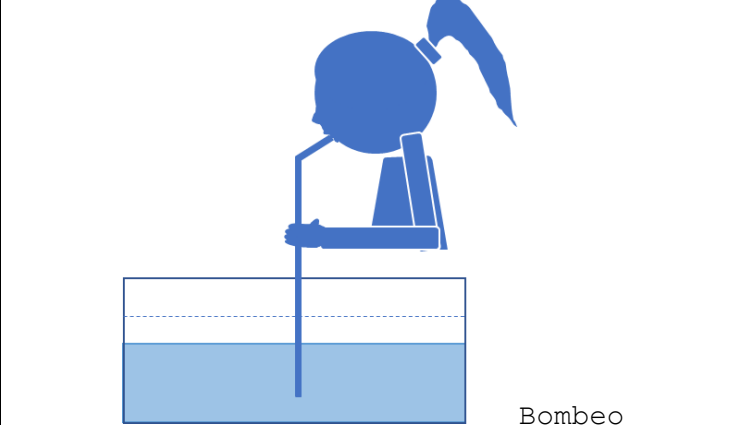
Figura D.1. "Relación de cargas aplicadas al suelo en el panel Dren a Dren vs los asentamientos obtenidos en el panel Menard Vacuum. La carga máxima aplicada al suelo con el bombeo en el panel Dren a Dren no es superior a los 27 kPa"

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 151 of	152

D.2 COMPARACIÓN GRÁFICA DE LOS SISTEMAS DE CONSOLIDACIÓN POR VACÍO CON MEMBRANA Y BOMBEO AL VACÍO DREN A DREN

Etapa	Sistema vacío con membrana	Bombeo con vacío dren a dren
Inicial		
Se prenden las bombas / Manejo del agua		

	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS Y MEJORAMIENTO DE SUELOS		MENARD-ING-NAICM-VAC-NDC-003	
	CLIENTE: Grupo Aeroportuario Ciudad de México		Rev.	1 07-06-2018
	OBRA:	Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Page 152 of	152

Presiones de consolidación		
Analogía	 <p style="text-align: center;">Saco de café / Tetrapack</p>	 <p style="text-align: center;">Bombeo</p>