



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN  
GEOTÉCNICA PARA OBRAS  
PORTUARIAS**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**OSCAR ALBERTO SIFUENTES HERNÁNDEZ**

**ASESOR DE INFORME**

**ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ**



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**

**ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PARA OBRAS PORTUARIAS**  
**INDICE**

**INTRODUCCIÓN**.....

**1. ANTECEDENTES**.....

    1.1    **IMPORTANCIA DE LOS PUERTOS EN MÉXICO**.....

    1.2    **PUERTO DE TUXPAN**.....

**2. AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE TUXPAN**.....

**3. MUELLE GRANELERO NO.3**.....

**4. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS COMO PARTE DE LA INGENIERÍA BÁSICA EN EL DISEÑO DE OBRAS DE ATRAQUE**.....

    4.1    **RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**.....

    4.2    **EXPLORACIÓN DE CAMPO**.....

    4.3    **LABORATORIO**.....

    4.4    **GABINETE**.....

**5. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA EN EL PUERTO DE TUXPAN, VERACRUZ**.....

**6. RESULTADOS**.....

**7. RIESGOS**.....

**8. CONCLUSIONES**.....

**9. REFERENCIAS**.....

## INTRODUCCIÓN

Trabajo en una empresa dedicada a la Mecánica de Suelos, la cual lleva como razón física el nombre de “Antonio Sifuentes Valles”, quien es un Ingeniero Civil recibido en ésta prestigiosa universidad.

Comenzó su carrera como Ingeniero Civil laborando durante varios años en GEOTEC, empresa geotécnica dedicada a la maquila de pruebas de laboratorio, y otros años más trabajando en el ISSSTE.

En 1985 sucede el terrible sismo en la ciudad de México, y a raíz de éste incidente decide poner su propia empresa dedicada a **Estudios de Mecánica de Suelos para Cimentaciones y Pavimentos**, misma que sigue hasta el día de hoy.

Comienzo a laborar en la empresa del Ing. Antonio Sifuentes Valles como Auxiliar de Supervisor. Después de varios estudios a lo largo del litoral mexicano, se me otorga la confianza de ser el supervisor de un estudio geotécnico en el Puerto de Topolobampo, Ahome, Sinaloa, para trabajos de dragado y para la proyección estructural del muelle de posición #3. A raíz de dicho estudio he continuado como supervisor de Exploraciones Geotécnicas.

Como Supervisor tengo como responsabilidad que la o las brigadas no detengan sus labores por ningún motivo, a menos que sea causado por fenómenos naturales o como en muchas ocasiones pasa, por imposiciones administrativas.

También, es labor del supervisor que con ayuda de la brigada y con los datos capturados en gabinete se realice el inventario de todo lo que se llevará a la exploración.

Se realiza una revisión a detalle de las máquinas perforadoras, herramienta menor y muy importante, **equipo de seguridad en buenas condiciones.**

Los trabajos de exploración geotécnica se realizan a lo largo de la República Mexicana. Los sitios de estudio pueden estar ubicados en tierra o en agua con el fin de diseñar la cimentación y/o llevar a cabo acciones como dragado, rehabilitaciones, tablestacado, etc.

En el tiempo que llevo laborando he tenido la oportunidad de conocer algunos puertos de México, como son; el puerto de Tuxpan, Veracruz, el Nuevo puerto de Veracruz, Lázaro Cárdenas Michoacán, Puerto Progreso en Yucatán, el puerto de Topolobampo en Sinaloa y el Puerto de Mazatlán en Sinaloa.

De dichas exploraciones geotécnicas en los distintos puertos de México tomaré una de ellas que tuve la oportunidad de supervisar, en el Puerto de Tuxpan, Veracruz, con el **objetivo de exponer cómo fue llevado a cabo, y los riesgos que existen a lo largo de la exploración.**

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1 IMPORTANCIA DE LOS PUERTOS EN MÉXICO**

Los puertos son un conjunto de instalaciones y servicios que permiten la realización del intercambio de mercancías entre medio terrestre y acuático a nivel nacional e internacional. Es la puerta por donde pasa la mayoría de los productos del comercio económico internacional, al igual de ser la interface entre el transporte terrestre y marítimo. El transporte marítimo es el modo más eficiente del comercio internacional, con menos daños al medio ambiente y movimientos económicos de gran escala.

Los puertos son parte fundamental de la cadena de transporte internacional y del comercio mundial.

En el pasado la mayoría de los puertos fueron administrados por los gobiernos. La tendencia de los últimos años a nivel internacional es que los puertos se privaticen y se concesionen ciertas áreas a empresas para la construcción de nuevos muelles.

Los puertos son fundamentales en la política económica de los países, ya que permiten hacer más eficiente el sistema de transporte de los mismos, fomentan el crecimiento del comercio con otros países, alivian la congestión de los principales corredores terrestres, mejoran los enlaces marítimos con las regiones insulares y

periféricas de un país y refuerzan el transporte multimodal y la logística del transporte.

El aumento del transporte de mercancías por vía marítima, y la ventajosa posición geográfica de México al tener más de 11,000 kilómetros de costa en los litorales del Pacífico y Atlántico, brindan a los puertos mexicanos la oportunidad de explotar el tráfico marítimo en ambas costas.

El movimiento nacional de carga ha ido incrementándose cada año, y si comparamos la carga total nacional de agosto del 2013 a agosto del 2018 se pueden ver un incremento de casi el 12%, de 191, 680,153 toneladas en 2013, a, 214, 223,741 toneladas al año en curso. El movimiento total nacional incluye a los puertos de cabotaje y de altura, los cuales se describirán más adelante. En la siguiente figura se muestra la densidad del transporte marítimo comercial.

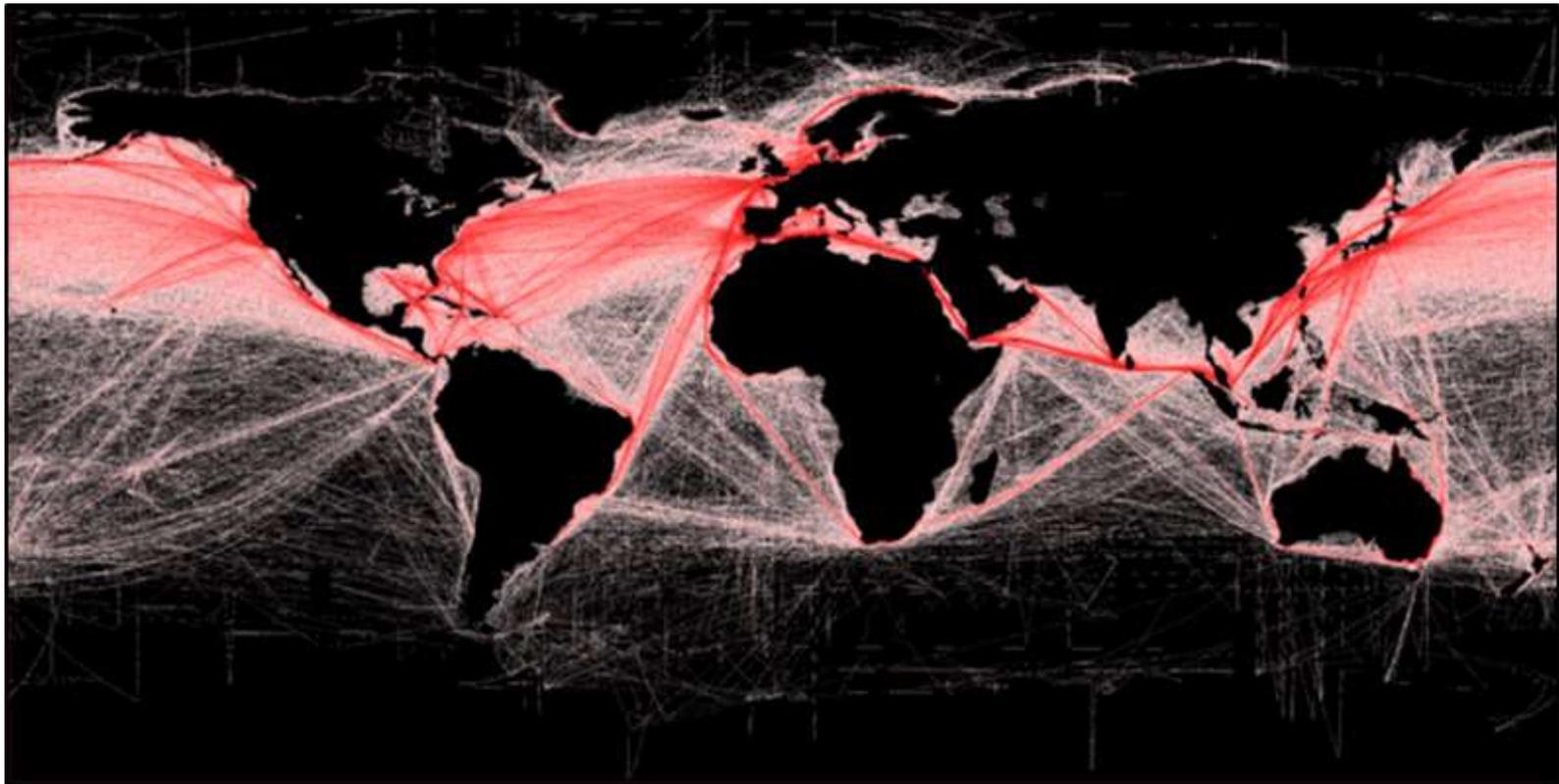


FIG.01 DENSIDAD DEL TRANSPORTE MARÍTIMO COMERCIAL.

En las siguientes tablas se muestra el movimiento nacional de carga del mes de enero al mes de agosto en los años 2013-2014 y 2017-2018, cifras obtenidas de la SCT

MOVIMIENTO NACIONAL DE CARGA ENERO-AGOSTO TONELADAS									
TIPO DE CARGA	ALTURA			CABOTAJE			TOTAL		
	2013	2014	%	2013	2014	%	2013	2014	%
GENERAL SUELTA	7,316,288	7,365,486	0.7	6,759,480	6,824,118	1.0	14,075,768	14,189,604	0.8
GENERAL CONTENERIZADA	26,867,802	26,933,065	0.2	-	30	N/C	26,867,802	26,933,095	0.2
GRANEL AGRICOLA	8,395,743	9,671,803	15.2	214,023	237,177	10.8	8,609,766	9,908,980	15.1
GRANEL MINERAL	31,942,931	30,051,223	5.9	20,635,174	22,235,307	7.8	52,578,105	52,286,530	0.6
OTROS FLUIDOS	7,847,071	9,175,679	16.9	166,622	101,376	39.2	8,013,693	9,277,055	15.8
PETROLEO Y DERIVADOS	60,249,690	57,695,050	4.2	21,285,329	21,142,391	0.7	81,535,019	78,837,441	3.3
TOTAL	142,619,525	140,892,306	1.2	49,060,628	50,540,399	3.0	191,680,153	191,432,705	0.1

FIG.02 MOVIMIENTO NACIONAL DE CARGA, SCT 2013-2014

MOVIMIENTO NACIONAL DE CARGA ENERO-AGOSTO TONELADAS									
TIPO DE CARGA	ALTURA			CABOTAJE			TOTAL		
	2017	2018	%	2017	2018	%	2017	2018	%
GENERAL SUELTA	9,278,938	9,610,734	3.6	8,109,587	8,632,820	6.5	17,388,525	18,243,554	4.9
GENERAL CONTENERIZADA	33,004,036	35,106,390	6.4	29,209	30,100	3.1	33,033,245	35,136,490	6.4
GRANEL AGRICOLA	11,410,112	11,866,399	4.0	173,100	170,650	1.4	11,583,212	12,037,049	3.9
GRANEL MINERAL	30,692,137	34,435,215	12.2	17,496,711	17,109,819	2.2	48,188,848	51,545,034	7.0
OTROS FLUIDOS	8,756,821	9,079,496	3.7	113,657	282,753	148.8	8,870,478	9,362,249	5.5
PETROLEO Y DERIVADOS	69,141,371	76,660,947	10.9	15,236,057	11,238,418	26.2	84,377,428	87,899,365	4.2
TOTAL	162,283,415	176,759,181	8.9	41,158,321	37,464,560	9.0	203,441,736	214,223,741	5.3

FIG.03 MOVIMIENTO NACIONAL DE CARGA, SCT 2017-2018

México cuenta con 102 puertos y 15 terminales distribuidos en sus 11,500 kilómetros de territorio nacional. En conjunto suman 117 puntos, en donde diariamente se realizan movimientos portuarios nacionales e internacionales.

En la figura siguiente se muestra el Sistema Portuario Nacional.



De acuerdo con la Organización Mundial de Comercio, **más del 80%** de las mercancías que se comercializan a nivel mundial se transportan por vía marítima, siendo los puertos quienes permiten realizar los intercambios.

Las 117 instalaciones portuarias en México realizan actividades comerciales, industriales, petroleras, pesqueras, turísticas, además son utilizadas con fines militares y de seguridad nacional.

Gracias al dinamismo en el crecimiento de los mercados de servicios portuarios y marítimos, en la última década, recursos públicos y privados han invertido y se han comprometido a que los puertos sean cada vez más eficientes y en condiciones óptimas.

Los puertos y terminales se clasifican en dos grupos, **de altura** y **de cabotaje**:

1.- **De altura.** Atienden flujos marítimos nacionales e internacionales.

Un puerto de altura se le asigna a aquel que está en condiciones de recibir embarcaciones de gran calado, es decir, de grandes cantidades de carga, esto por su alto Dragado, así como mantener relaciones comerciales, se caracteriza por enviar y recibir embarcaciones internacionales.

En México destacan puertos de altura que son manejados por Administraciones Portuarias Integrales (API's) las cuales están a cargo de la Secretaria de Comunicaciones y transportes (SCT) dentro de esta institución los 16 principales puerto de altura manejados por este organismo son los siguientes: Guaymas, ensenada, Topolobambo, Mazatlán, Puerto Vallarta, Manzanillo, Lázaro cárdenas,

Salina Cruz, Acapulco, Ciudad del Carmen, Altamira, Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coahuila, Dos bocas y Puerto Progreso.

En la siguiente figura se observa el Puerto de Altura de la Ciudad de Manzanillo, Colima.



**FIG.05 Puerto de altura. Manzanillo, Colima.**

2.- **De cabotaje.** Atienden movimientos marítimos únicamente entre puertos nacionales.

En términos navales cabotaje es el transporte de carga y pasajeros entre puertos de un mismo país, navegando relativamente cerca de la costa; etimológicamente significa navegar de cabo en cabo y proviene del vocablo francés «caboter», que se refiere a la navegación realizada entre cabos.

Esta categoría de puertos es más abundante que los de altura. En este tipo de puertos se puede recibir solo a embarcaciones de menor tamaño esto en consecuencia a su limitada capacidad de carga y mediano dragado, por lo general y por la capacidad de las embarcaciones solo se realizan viajes de puerto a puerto cercano dentro del mismo país.

Actualmente se cuenta con más de 40 puertos de cabotaje entre los cuales destacan: San José del Cabo, Puerto Peñasco, Zihuatanejo, Puerto Escondido, Matamoros, Campeche, Isla Mujeres y Chetumal.

Se puede observar en la figura siguiente el Puerto de Cabotaje en la Isla de “Isla Mujeres”.



**FIG.06 Puerto de cabotaje. Isla Mujeres**

**NOTA:** La mayoría de los puertos de Altura, también dan servicio de cabotaje.

Después de años, donde los puertos se encontraban saturados, lo que frenaba el comercio internacional, era urgente dar un impulso histórico al desarrollo de infraestructura portuaria que permitiera a México aprovechar al máximo las ventajas competitivas del país, como son sus 11 mil kilómetros de litoral que nos **conectan con más de 145 países.**

La infraestructura del país debe estar un paso adelante del crecimiento de la economía.

Actualmente la SCT trabaja en 25 proyectos portuarios y la construcción de 5 nuevos puertos en el Golfo de México: 3 ya por concluir —Matamoros, Seybaplaya y **Tuxpan**— y se continuará en la construcción del Nuevo Puerto de Veracruz y de Ciudad del Carmen.

El Puerto Lázaro Cárdenas cuenta ya con tres nuevas terminales: de Contenedores II, de Granel Agrícola y la Especializada de Automóviles; en total se han concretado las 15 obras que correspondían a la modernización del puerto, lo que aumenta su capacidad instalada de 27 a 47 millones de toneladas al año.

También destaca la construcción del Nuevo Puerto de Veracruz, la obra portuaria nacional más importante de los últimos 100 años en la que se invierten más de 31 mil millones de pesos. Esta magna obra implica la construcción de 5 nuevas terminales y, en su última etapa, el puerto cuadruplicará su capacidad instalada para pasar de 24 a más de 96 millones de toneladas.

En el Puerto de Manzanillo se concluyó la Terminal Especializada de Contenedores II y la construcción de la Terminal de Usos Múltiples. Además, pronto iniciará la construcción de la Terminal de Carga General y de Manejo de Automóviles.

El desarrollo de infraestructura portuaria ha colocado a México en el centro de la atención internacional. En julio de 2016 nuestro país asumió la presidencia de la Comisión Interamericana de Puertos de la OEA para el periodo 2016-2018. En 2017 la CEPAL ubicó a Manzanillo como el 4° puerto más importante de América Latina, en movimiento de contenedores, y a los de Lázaro Cárdenas y Veracruz dentro de los primeros 15. En el Índice de Competitividad Global del Foro Económico Mundial, nuestro país avanzó 18 posiciones en infraestructura portuaria, del lugar 75 en 2012 al 57 en 2017.

**Cabe mencionar relevantes proyectos como el Nuevo Puerto de Tuxpan, puerto estratégico para el transporte de contenedores y carga comercial por ser el más cercano a la Ciudad de México y a las conexiones automotrices de la región Centro del país. Hoy el puerto puede recibir buques con capacidad de hasta 9 mil contenedores y de más de 50 mil toneladas. El Puerto ha pasado de una capacidad instalada de 13 a más de 24 millones de toneladas.**

## 1.2 PUERTO DE TUXPAN

El puerto de Tuxpan, se localiza en el centro del litoral del Golfo de México, en el Municipio de Tuxpan de Rodríguez Cano, al norte del Estado de Veracruz. El recinto portuario se ubica sobre ambas riberas del río Tuxpan, con un canal de navegación de 11 km, en la margen derecha desde el puente de Tuxpan y, en la margen izquierda, a partir del estero de La Calzada hasta la desembocadura del río.

Se muestra la ubicación de Tuxpan, Veracruz en la siguiente figura.



FIG.07. Ubicación de Tuxpan, Ver.

En el área del Río, el recinto portuario abarca una superficie terrestre de 570,169 m<sup>2</sup>. Asimismo, cuenta con una superficie de agua en zona federal marítima de 57, 883,127.00 m<sup>2</sup>, correspondiente al área de boyas y fondeo. Además de una zona marítima en el lugar conocido como Chile Frío, que comprende un área de 2, 682,854.116 m<sup>2</sup>, localizada a 14.8 km al sur de las escolleras del río Tuxpan. Y en la Isla de Lobos se cuenta con un área total de 376,265.12 m<sup>2</sup>, incluyendo la zona de fondeo. Así, el puerto comprende 64, 070,155 m<sup>2</sup> de espacios terrestres y de agua.

En la siguiente figura se observa el Puerto de Tuxpan.



FIG.08 Puerto de Tuxpan, Veracruz

Tuxpan es el puerto comercial más cercano a la capital del país y de su área metropolitana (333 kilómetros), lo cual le da ciertas ventajas frente a Veracruz y Tampico-Altamira.

En cuanto al manejo de carga, el puerto es multipropósito ya que permite el manejo de diferentes tipos de productos, aunque hasta ahora el tráfico predominante ha sido de combustibles petroleros de importación destinados al centro del país.

La mayoría de las terminales e instalaciones del puerto son de uso particular operadas por empresas graneleras, de fluidos, carga general y combustibles. Los muelles de uso público son operados por la Administración Portuaria Integral de Tuxpan (APITUX).

**Actualmente, el puerto cuenta con espacios terrestres limitados para el desarrollo portuario.** En la margen izquierda del río, existen asentamientos humanos (ubicados antes de que la API recibiera el Título de Concesión de la SCT); mientras que, en la margen derecha, los terrenos colindantes al frente de agua concesionada a la API pertenecen a particulares y los frentes de agua, en su mayoría, están concesionados a ellos, lo que **implica la insuficiencia de superficies para el desarrollo de nuevos negocios.**

En ambos márgenes del río se encuentran 16 atracaderos de uso particular, 3 estaciones para el suministro de combustibles, 1 muelle para el atraque de embarcaciones pesqueras y 1 atracadero al servicio de los pilotos de puerto.

El puerto tiene como área de influencia las regiones Centro, Centro Norte, Centro Sur y Bajío del país. Tuxpan es un puerto que hasta ahora ha observado un dinamismo moderado, pero que presenta perspectivas positivas de expansión tanto en sus niveles de operación como en su zona de influencia y en la penetración en los mercados de carga de ésta a partir de la mejora de sus enlaces terrestres con dicha región, así como del crecimiento económico esperado en la misma.

Tuxpan es un puerto estratégico para el país. Por él y a través de la infraestructura que lo vincula a su área de influencia, se abastece de gasolina y otros combustibles a los importantes centros de producción y consumo de la República Mexicana, como son la Ciudad de México, el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro, entre otros. Por el puerto, además, se transportan graneles agrícolas, graneles minerales y fluidos, destinados al consumo humano y a la producción industrial en dicha zona. Asimismo, por Tuxpan, se realiza la exportación de diversos productos provenientes de los estados que atiende.

Además de la carga comercial, el puerto también representa un importante centro logístico para las actividades orientadas a la carga y descarga de productos derivados del petróleo, actualmente, el principal rubro de negocio del puerto.

Ante el declive de la producción petrolera en la zona de Cantarell, PEMEX ha reorientado su estrategia de exploración y producción a zonas sub-explotadas en el Golfo de México, tal es el caso de las zonas de Perdido, Lankahuasa y Faja de Oro. Lo anterior abre una posibilidad para que la APITUX impulse el desarrollo de actividades off-shore.

El área de influencia del Puerto de Tuxpan se describe en la figura siguiente.



1

FIG.09 Área de influencia económica del puerto de Tuxpan, Ver.

Otra de las actividades relevantes en el puerto es la construcción y reparación de plataformas petroleras destinadas a las actividades de exploración y extracción petrolera.

En la zona geográfica atendida por el puerto existe una de las zonas con mayor diversidad histórica, cultural y ambiental en el país, lo que le imprime potencial para su incursión en el mercado de cruceros; aunque el desarrollo de esta

actividad depende fundamentalmente de factores externos al puerto, es un elemento a tomar en cuenta a largo plazo.

#### ACTIVIDADES DEL PUERTO POR LÍNEA DE NEGOCIO

- Granel Agrícola
- Granel mineral
- Carga general
- Otros fluidos
- Contenedores
- Petróleo y derivados
- Actividades Logísticas.

Como se ha mencionado, el puerto de Tuxpan aún tiene mucho potencial económico por brindarle a México, y ya están en marcha proyectos para poder concretar la infraestructura requerida para el puerto.

## **2. AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE TUXPAN**

Para la ampliación del Puerto de Tuxpan se realiza un diagnóstico considerando las condiciones de su infraestructura, su desempeño reciente, su vinculación con la economía regional y del país, sus expectativas de crecimiento, el potencial de desarrollo de nuevos negocios, así como su participación en el Sistema Portuario Nacional.

En la elaboración del diagnóstico y la definición de los retos que enfrenta el Puerto de Tuxpan, se analizó la capacidad de su infraestructura y la conectividad del puerto con su mercado relevante; se examinó el balance de oferta-demanda de infraestructura y servicios portuarios a fin de contar con una evaluación de la competitividad integral del puerto, considerando los diversos factores internos y externos que la condicionan; y se estudió la situación financiera del puerto con objeto de dar sustentos a las inversiones viables en infraestructura y equipamiento portuario que se proyectan.

El Puerto de Tuxpan, así como cualquier puerto de altura, debe ir un paso adelante del crecimiento económico, contando con la infraestructura necesaria para poder brindar los servicios que demande el puerto. El programa que se genera para ampliar, rehabilitar, modernizar, etc., se realiza con suficiente tiempo previo y con ayuda de estadísticas que van determinando el rumbo de la

economía del Puerto, de esta manera se pueden tener idea del panorama que requiere el Puerto de Tuxpan en futuro años.

Para la ampliación del Puerto de Tuxpan existe un “Programa Maestro”. Dicho programa se va actualizando por ciclos, es decir, requiere de varios años para ser concluido.

El Programa Maestro 2017-2022 es el documento que ahora está en vigor.

El presente Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Tuxpan (PMDP) establece la planeación estratégica para que el puerto ofrezca infraestructura y servicios para el manejo y traslado eficiente de bienes hacia o desde su región de influencia y los mercados internacionales, así como aproveche sus ventajas competitivas, desarrolle nuevos negocios, fortalezca la coordinación de la comunidad portuaria e impulse el crecimiento de la economía regional.

El motivo de la ampliación del Puerto de Tuxpan está basado en el siguiente objetivo:

“Garantizar el acceso y ampliar la cobertura de infraestructura y servicios de transporte y comunicaciones, tanto a nivel nacional como regional, a fin de que los mexicanos puedan comunicarse y trasladarse de manera ágil y oportuna en todo el país y con el mundo, así como hacer más eficiente el transporte de mercancías y las telecomunicaciones hacia el interior y el exterior del país, de manera que

estos sectores contribuyan a aprovechar las ventajas comparativas con las que cuenta México”

Se muestra en la figura 10 el Programa Maestro vigente para el Puerto de Tuxpan.



FIG.10 Programa Maestro de Desarrollo Portuario Vigente (2017-2022)

Si bien lo que la Administración Portuaria de Tuxpan desea es:

- i. Incrementar la infraestructura portuaria, especialmente, la capacidad de manejo de contenedores.
  
- ii. Desarrollar los puertos como parte de un sistema integrado de transporte multimodal que reduzca los costos logísticos para las empresas.

iii. Fomentar la competitividad del sistema portuario, para ofrecer un mejor servicio acorde con estándares internacionales.

iv. Impulsar el desarrollo de los puertos con vocación turística.

El Puerto de Tuxpan es de suma importancia para el traslado y captación de granel agrícola y mineral, por lo que se planea la construcción de un Nuevo Muelle Granelero en la margen derecha del Río Pantepec o también llamado Río Tuxpan. En la siguiente figura se muestra el Río Tuxpan.



FIG.11 Río Pantepec, Tuxpan.

### 3. MUELLE GRANELERO No.3

A petición de la Administración Portuaria Integral de Tuxpan, S.A. De C.V. (APITUX), se tuvo la oportunidad de participar en la ejecución del siguiente trabajo: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL MUELLE GRANELERO No.3, EN EL PUERTO DE TUXPAN, VER.

El Estudio de Mecánica de Suelos se realizó para la construcción del muelle granelero N.3 en el puerto de Tuxpan, Veracruz.

El motivo de este estudio es el proyecto de un muelle marginal para manejo de grano. Este nuevo muelle se ubica sobre la margen derecha del río Tuxpan y colindará al suroeste con el muelle de Transferencias Graneleras (OA12) y al noreste con el muelle de Granelera Internacional de Tuxpan (OA13), tal y como se puede observar en las siguientes figuras 12 y 13.



FIG.12 Imagen Satelital del Sitio destinado al proyecto

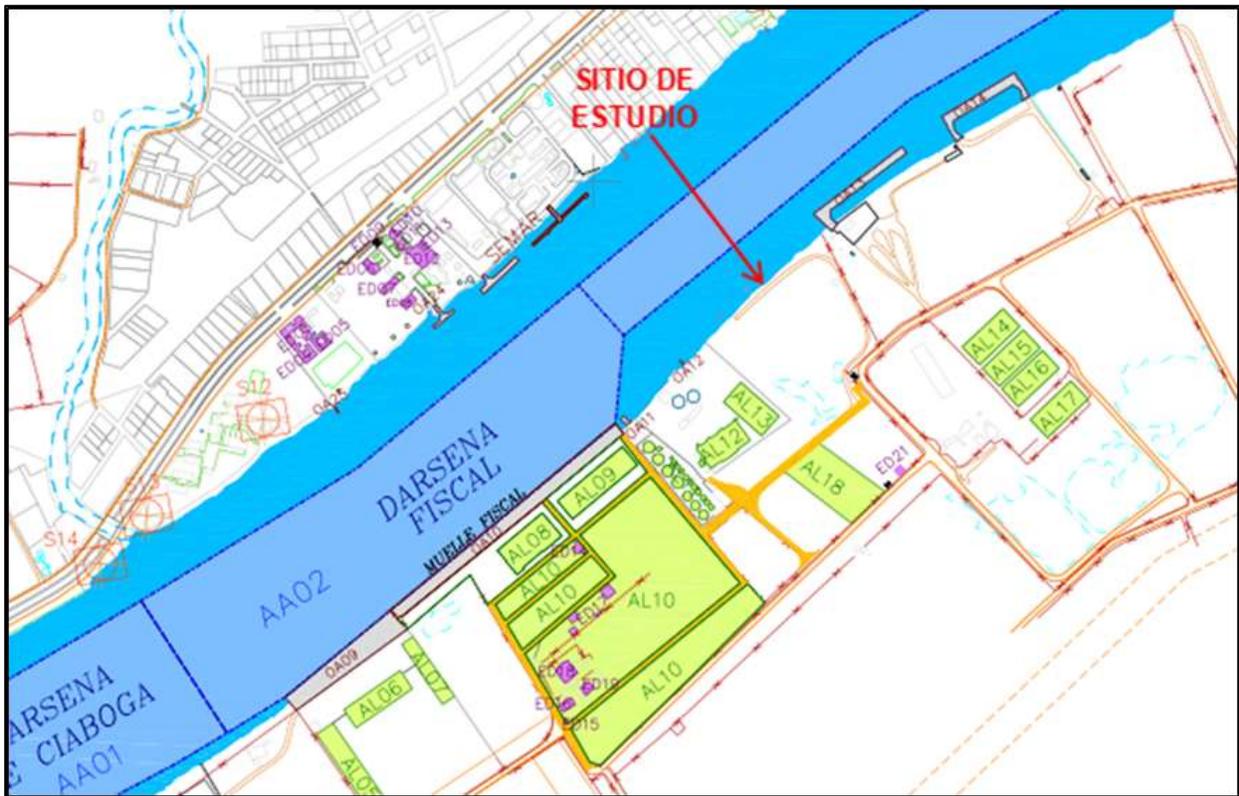


FIG.13 Sitio de Estudio para muelle granelero No.3, (PMDP 2011-2016)

El muelle de proyecto tendrá un frente de atraque de 230 m por 25 m de ancho, tal y como se señala en la siguiente Fig.14 donde se anotan las dimensiones generales del nuevo muelle.



En la misma Fig.14 aparecen los datos batimétricos en la zona de estudio, donde se observa que en el sitio elegido para el muelle el nivel del fondo del río oscila entre las cotas +1 y -7 m respecto del nivel de bajamar media (NBM), aproximadamente. Por otra parte, la cubierta del muelle se prevé a la cota +3 m.

La parte terrestre vecina al muelle reporta elevaciones que varían entre +1 y +2 m, lo que implica que para alcanzar la cota de cubierta del muelle de +3.0 m es necesaria la colocación de rellenos.

De acuerdo a lo planeado, el dragado del material frente al muelle se llevará a la cota -10 m y en un futuro a la cota -12 m (NBM).

#### **4. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS COMO PARTE DE LA INGENIERÍA BÁSICA EN EL DISEÑO DE OBRAS DE ATRAQUE**

Un Estudio de Mecánica de Suelos recae en la etapa de **Ingeniería Básica**, la cual define los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto. Estas ideas y definiciones son los pilares en los que se basará el proyecto ejecutivo o de la ingeniería a detalle, para la ejecución de los planos constructivos. Son estudios básicos los siguientes.

- Topográfico
- Hidrológico e Hidráulico
- Geológico y **Geotécnico**
- Riesgo Sísmico
- Impacto ambiental, entre otros.

#### **OBJETIVO DEL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Determinar las condiciones estratigráficas del sitio de estudio mediante un programa de exploración y laboratorio acordes a la magnitud del proyecto, de tal manera de proporcionar los elementos geotécnicos necesarios para el diseño de la infraestructura prevista, en condiciones estáticas y bajo sismo.

Un estudio de Mecánica de Suelos está conformado de cuatro etapas:

4.1 Recopilación de Información

4.2 Exploración de Campo

4.3 Laboratorio

4.4 Gabinete

#### **4.1 Recopilación de Información**

La información recopilada nos ayuda para prever las condiciones a las que nos enfrentaremos. Es importante conocer los siguientes puntos.

- Geología (Servicio Geológico Mexicano)
- Sismicidad (CFE, CENAPRED, SCT, SMIS)
- Predicción de mareas y planos de referencia (CICESE, Secretaria de Marina, Servicio Mareográfico, UNAM)
- Catastro Portuario SCT (Sitio Web)
- Estratigrafía en literatura técnica (SMIG)
- Imágenes satelitales (Google earth)
- Artículos en la Web
- Información aportada por el cliente

## 4.2 Exploración de Campo

Es importante aclarar lo que es un "Sondeo". Se le llama sondeo, al barreno o perforación que se realiza para llevar a cabo la exploración, los sondeos pueden alcanzar profundidades diversas, todo dependerá de la información que se requiera del subsuelo para cada obra.

También están los llamados Pozos a Cielo Abierto (PCA's), para obtener información del suelo a una profundidad de más menos 3.50 m, normalmente empleados para diseño de pavimentos.

Para poder desarrollar una exploración eficaz, hay que considerar varios aspectos de los cuales dependerá el alcance de la misma, como, por ejemplo:

- Condiciones físicas del sitio
- Condiciones Impuestas por el proyecto

En proyectos portuarios es importante conocer las condiciones físicas del sitio respecto a la protección de oleajes y corrientes. Hay zonas protegidas que permiten maniobrar y realizar la exploración, y otras dónde el impacto del mar, viento entre otros, superan las condiciones en cuanto a estabilidad de la plataforma en el mar y no es posible llevar acabo la exploración.

## **Sitios Protegidos**

- Dentro del Puerto
- Proyecto interior (tierra adentro)

Para llevar a cabo la exploración en Sitios Protegidos se utiliza una balsa o chalán, en la cual se monta el equipo de perforación y la brigada puede trabajar sin mayor problema. Otra forma de trabajo es realizar la exploración desde el muelle (“volando el equipo”).

En las siguientes figuras 15 a 17 se exponen ejemplos de sitios protegidos.



FIG.15 Exploración en Nuevo Puerto de Veracruz usando balsa o chalán.



FIG.16 Exploración en el muelle de CTT, Tuxpan, Ver. (Equipo volado)



FIG.17 Exploración en el Nuevo Puerto de Veracruz (tierra adentro)

### **Sitios No Protegidos**

- Fuera del puerto
- Naturalmente expuestos

Para la exploración en Sitios No protegidos, se utiliza una plataforma auto elevable (tipo jack up), con la cual se puede librar tirantes de agua de hasta 14 metros.

Cabe mencionar que la plataforma puede tener problemas de operación debido a corrientes fuertes marinas.

El equipo de agua tipo plataforma requiere para su descarga del apoyo de montacargas o similar, y de grúa para su botado preferentemente desde un muelle.

En las siguientes figuras 18 y 19, se exponen ejemplos de sitios No protegidos.



FIG.18 Exploración en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa con Plataforma tipo Jack-Up



FIG.18 Exploración para efectos de dragado en mar abierto con Plataforma tipo Jack-Up Puerto Progreso, Yucatán.

### **Condiciones impuestas por el proyecto**

- Obra nueva
- Ampliación del muelle existente
- Incremento de calado

## TIPOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

- PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)
  - MUESTRAS INALTERADAS (TUBO SHELBY)
  - BARRIL CON BROCA DE DIAMANTE EN ROCAS O GRAVAS
  - BARRIL DENISON
- 
- PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

La prueba de penetración estándar o SPT por sus siglas en inglés (Standard Penetration Test) es una prueba dinámica. Quiere decir que para su realización requiere de un martinete que va golpeando la herramienta de muestreo y así ir hincando el muestreador hasta la profundidad deseada.

El tipo de muestra que se obtiene es alterada, pero representativa del tipo de suelo. Es decir, la estructura original del suelo ha sido alterada debido a los golpes que la prueba requiere, no obstante, de este tipo de muestras se pueden obtener propiedades índices del suelo, como son: clasificación del suelo (SUCS), granulometría, límites de consistencia, etc.

Se aplica para suelos granulares (arenas y arenas con pocas gravas) y suelos cohesivos. **No es adecuado para gravas y boleos.**

La SPT es una prueba que mide la resistencia al hincado del penetrómetro.

El número de golpes se mide para los 30 cm correspondientes al tramo intermedio del penetrómetro. El tamaño del penetrómetro es de 60 cm y es llamado normalmente tubo partido. En la siguiente figura se puede apreciar.



FIG.19 Tubo Partido

A continuación, se muestra la recuperación de suelo usando el tubo partido.



FIG.20 Obtención de muestra alterada con método de Penetración Estándar (SPT). Mazatlán, Sinaloa

- MUESTRAS INALTERADAS TUBO SHELBY O DE PARED DELGADA

Con este tipo de exploración se obtienen muestras que podemos llamar inalteradas y es aplicable para suelos cohesivos de consistencia blanda a firme.

Para que se les llame muestras inalteradas, deberán de cumplir con las siguientes especificaciones.

El Tubo Shelby es un tubo de acero sin costura que debe ir hincado a presión.

En el momento en el que el Tubo Shelby se ha hincado a la profundidad deseada, ya con la muestra de suelo dentro, usualmente éste se deja reposar un tiempo pertinente (0.5 a 1 hora) para que el suelo se adhiera al Tubo Shelby y no se pierda la muestra al extraerlo.

Aun cumpliendo con dichas especificaciones, no es una muestra completamente inalterada, en la manipulación de la muestra, en el transporte de la misma, etc.

Existen factores que harán que la muestra sufra ciertas alteraciones.

De este tipo de muestras, se obtienen las propiedades mecánicas del suelo, es decir, los parámetros de resistencia y compresibilidad.

Los tubos de pared delgada pueden ser de 2 a 4" de diámetro, poseen un extremo afilado y se recomienda que de longitud tenga 1 metro.

A continuación, se muestra cómo es un Tubo Shelby.



FIG.21 Muestreo con Tubo Shelby o pared delgada de 4". Puerto de Altamira, Tamps.



FIG.22 Obtención de muestra inalterada con Tubo Shelby de 4".

- MUESTRA INALTERADAS BARRIL DENISON

Con este tipo de muestreo, se obtienen muestra semi-inalterada del suelo, y es aplicable para suelo cohesivos de consistencia dura a muy dura o cementados con pocas gravas.

Este muestreador consta de dos tubos concéntricos. El tubo exterior gira para cortar al suelo mientras que el interior (Shelby) permanece sin girar y por presión recibe la muestra.

Se dice que es una muestra semi-inalterada debido a que opera a presión y rotación, lo que implica cierta alteración en la muestra.

El tubo interior de pared delgada puede ser de 2.5 a 4" de diámetro, y el tramo de muestreo en México es de 1 metro.

En la figura siguiente se ilustra cómo es el Barril Denison.



FIG.23 Barril Denison

- BARRIL CON BROCA DE DIAMANTE

El tipo de muestra obtenida son núcleos de roca. Es aplicable para rocas sanas y con menor éxito en depósitos de gravas y roca alterada.

El barril muestreador está equipado de una broca de diamante o de carburo de tungsteno en su extremo inferior. El barril más adecuado para propósitos geotécnicos es el llamado doble barril giratorio, el cual permite recuperar la máxima longitud posible de muestra, según lo permita la intensidad del fisuramiento y grado de alteración de la roca perforada.

Se recomienda que el barril tenga un diámetro interior no menor de 57 mm, con el fin de reducir el deterioro de las muestras que se producen en los muestreadores de diámetro menor. Se recomienda un tramo de muestreo de 1 a 1.5 metros.

En la siguiente figura se muestra como es una broca de diamante.



FIG.23 Broca de Diamante

A continuación, se observa en la figura el Doble Barril Giratorio con pescador.



FIG.24 Doble barril giratorio con pescador. Mazatlán, Sinaloa

En la figura siguiente se muestra la obtención de una muestra de roca, usando el doble barril giratorio y broca de diamante.



FIG.25 Muestra de Roca con Doble Barril Giratorio HQ. Mazatlán, Sinaloa.

## SONDEOS GEOTÉCNICOS

Hablando de obras portuarias, para saber cuántos sondeos, cuánta separación uno del otro y la profundidad, existen algunas referencias.

### Separación en planta:

- Estratigrafía ± Homogénea
  - Separación de 70 a 90 metros
  - Separación de 50 a 100 metros (Japón, 2009)
  
- Estratigrafía Errática
  - Separación de 35 a 50 metros
  - Separación de 10 a 30 metros (Japón, 2009)

### Profundidad:

- Muelles fijos: Predominio de fuerzas verticales y horizontales
  - No menos de 20 a 25 m bajo la cota de dragado
  - O hasta encontrar estrato con  $n \geq 40$  golpes en 8 a 10 m espesor
  - Algunos metros con  $n > 30$ , en instalaciones menores (Japón, 2009)
  - Algunos metros con  $n > 50$ , en instalaciones mayores (Japón, 2009)
  
- Muelles flotantes: Predominio de fuerzas horizontales
  - No menos de 10 a 12 m bajo la cota dragado.

### 4.3 LABORATORIO

Las muestras obtenidas de la exploración en campo, son llevadas al laboratorio, dónde serán sometidas a distintas pruebas.

-Para el caso de los **suelos** existen dos propiedades de interés:

- **PROPIEDADES ÍNDICE**

Las Propiedades Índice permiten clasificar el suelo en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La clasificación correcta del material permite la creación del modelo geotécnico del subsuelo, fundamental para valorar las características de resistencia y deformación del terreno en estudio.

- Contenido de agua y clasificación SUCS
- Granulometría
- Porcentaje de fino
- Límites de consistencia
- Densidad de sólidos

En las siguientes figuras, se muestra parte del equipo utilizado para obtener las propiedades índice.



FIG.24 Copa de Casagrande (Límites)



FIG.25 Granulometría por Mallas

- **PROPIEDADES MECÁNICAS.**

Aplicable fundamentalmente a suelos cohesivos, permiten valorar los parámetros de resistencia y de compresibilidad.

Las propiedades mecánicas de un suelo permiten al ingeniero de cimentaciones llegar a un diseño de la obra civil en la etapa de estudio, considerando los tres grandes problemas a los comúnmente se enfrenta como son: Los estados límite de falla que trata sobre la estabilidad de las estructuras. Los estados límite de servicio que se refiere a los hundimientos totales y diferenciales que sufrirá la cimentación y la superestructura. El flujo de agua a través de los suelos que influye en el comportamiento de los mismos.

Para analizar estos problemas se emplean modelos que se alimentan de los parámetros obtenidos ya sea de pruebas de campo o ensayos de laboratorio de permeabilidad, deformabilidad, resistencia y propiedades dinámicas, en muestras lo menos alteradas posible, o al menos tratando de reproducir en el laboratorio su grado de compacidad en estado natural.

Tipo de Pruebas:

- Compresión simple.
- Compresión triaxial U-U. (No drenada No consolidada)
- Consolidación unidimensional.

En las siguientes figuras se muestran los equipos utilizados para obtener las propiedades mecánicas. Cámara Triaxial y Consolidómetros.



FIG.26 Cámara Triaxial



FIG.27 Consolidómetros

-Para el caso de las **rocas** las pruebas más comunes son:

- Índice de calidad de la Roca (RQD)
- Compresión simple
- Prueba brasileña (tensión)

En la siguiente figura se ejemplifica el Índice de Calidad de la Roca (RQD).

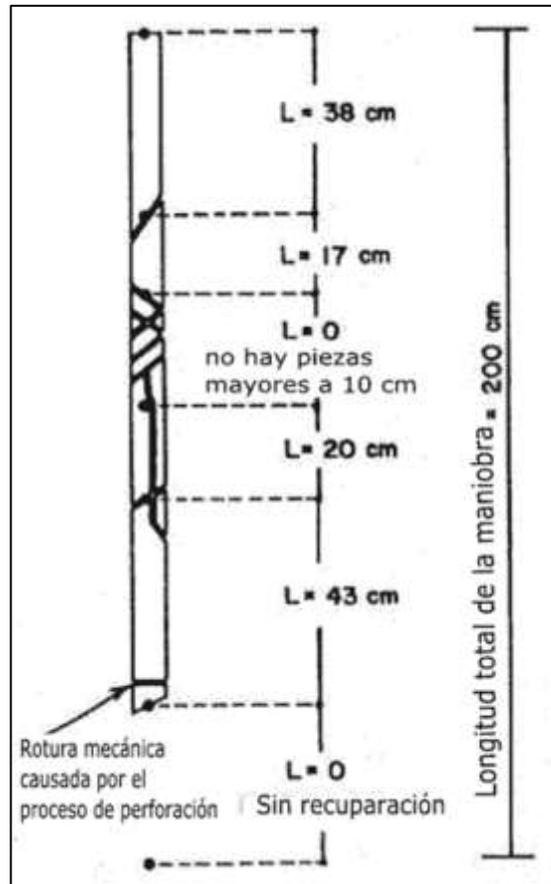


FIG.28 Índice de Calidad de la Roca (RQD).

#### 4.4 GABINETE

En la etapa de gabinete se **definen** las condiciones físicas generales del estudio, como son; fisiografía, geología, regionalización sísmica, etc.

También se **define** la estratigrafía y propiedades del subsuelo, incluyendo perfiles estratigráficos individuales y longitudinales. Se propone aceleración y coeficientes sísmicos. Se valora el potencial de licuación.

- ❖ Para aspectos del dragado, si procede, hay que **definir**:
  - Identificación del material encontrado con fines de dragado (Clasificación de Sedimentos por Dragar, US Army Corps of Engineers, USACE).
  - Recomendaciones del equipo para el dragado del sitio, así como el probable uso, si procede, del material extraído.
  - Revisión de la estabilidad del talud para el dragado previsto.
  
- ❖ Para los muelles:
  - Tipo de cimentación más conveniente: pilotes prefabricados de concreto, pilas coladas “in situ” o pilotes tubulares de acero.
  - Estratigrafía y propiedades elegidas para el análisis de cimentación.

- Características geométricas y físicas del elemento por analizar ( $f^c$ , E, cédula, S).
- Criterios de análisis: carga axial y resistencia lateral.
- Capacidad de carga admisible función de la profundidad de desplante para elementos de diferente diámetro.
- Resistencia lateral.
- Resistencia de grupo: axial y lateral

❖ Para tablestaca:

- Proyecto de rellenos:
  - ✓ Origen del material: nativo (dragado y/o movimiento de tierras) o de banco.
  - ✓ Si procede, mejoramiento masivo del relleno (vibro compactación, vibro sustitución, compactación dinámica, etc.)
  - ✓ Asentamientos: magnitud y proceso de avance (tiempo).
  - ✓
- Presión horizontal de tierras
  - ✓ Criterio de análisis
  - ✓ Estratigrafía seleccionada

- ✓ Aceleración sísmica (reducida)
- ✓ Coeficientes de empuje: activo,
- ✓ pasivo e inclinación de superficie de falla, en condiciones estáticas y de sismo.
- ✓ Sistema de anclaje: coeficientes de empuje y ubicación.

El trabajo de gabinete concluye con **recomendaciones de construcción**.

- Cimientos profundos: Pilote concreto
  - Número de tramos esperado.
  - Cemento adecuado para el sitio de estudio.
  - Chiflón con el hincado al golpe.
  - Instalación continua. Evitar efecto “set-up”.
  - Suspensión de chiflón.
  - Control del hincado (N por cada 0.25 m de longitud)
  - Posición de la cabeza
  - Desviación máxima respecto a la vertical.
  - Seleccionar del martillo a diésel. Referencia preliminar SCT norma N-CTR-CAR-1-06-002/1.
  - Verificar capacidad de carga con pruebas de carga dinámica basadas en la utilización del programa CAPWAP o similar.

➤ Cimientos profundos: Pilas

- Proponer equipo de perforación para las condiciones del terreno.
- La perforación debe garantizar la longitud de penetración solicitada en el proyecto.
- Estabilización de la perforación con lodo bentonítico y/o ademe metálico
- Limpieza del fondo de la perforación
- Colocación del acero de refuerzo.
- Colado del concreto en el lodo bentonítico con el procedimiento de “tubo tremie”.
- Prueba de integridad física (indirecta y se basa en las características de propagación de una onda en un medio heterogéneo).

➤ Tablestacas metálicas

- Uso de vibrohincador: suelo granular suelto a medianamente compacto, e incluso se ha empleado en arcillas y limos blandos.
- Uso de martillo golpeador (de impacto): arcillas o limos blandos; depósitos sueltos de arenas o gravas (sin boleos o frag. de roca).

- Uso prensa hidráulica: arcillas blandas o suelos sueltos (técnica apoyada en chorros de agua para “aflojar” limos y arenas.
- Perforación previa combinada con chiflón (aire o agua) e impactos
- Chifloneo de baja presión ( $20.4 \text{ kg/cm}^2$ ) con el vibrohincador puede ayudar a profundizar la tablestaca en el manto de arenas muy compactas.
- Chifloneo de alta presión ( $250 \text{ a } 500 \text{ kg/cm}^2$ ), con el vibrohincador puede ayudar a profundizar la tablestaca en el manto de arenas muy compactas e incluso de arcillas muy duras.

En la figura siguiente, se muestra el resultado de la interpretación estratigráfica del subsuelo explorado en Tuxpan, Veracruz.



## 5 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA EN EL PUERTO DE TUXPAN, VERACRUZ

### INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Al momento de efectuar los trabajos de exploración estuvo atracado en el sitio de proyecto el buque norcoreano 'Mu Du Bong', anclado en el puerto desde hace más de un año. Se puede observar en la siguiente figura.



FIG.30 Buque Norcoreano “Mu Du Bong” confiscado por APITUX.

La estratigrafía y propiedades del subsuelo se investigaron a partir de los sondeos y ensayos de laboratorio que enseguida se describen.

## EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Para investigar el subsuelo en el área de proyecto se realizaron seis sondeos: cuatro en agua, S-1 a S-4, y dos más en tierra, S-5 y S-6. A continuación se ilustra la ubicación de los seis sondeos.

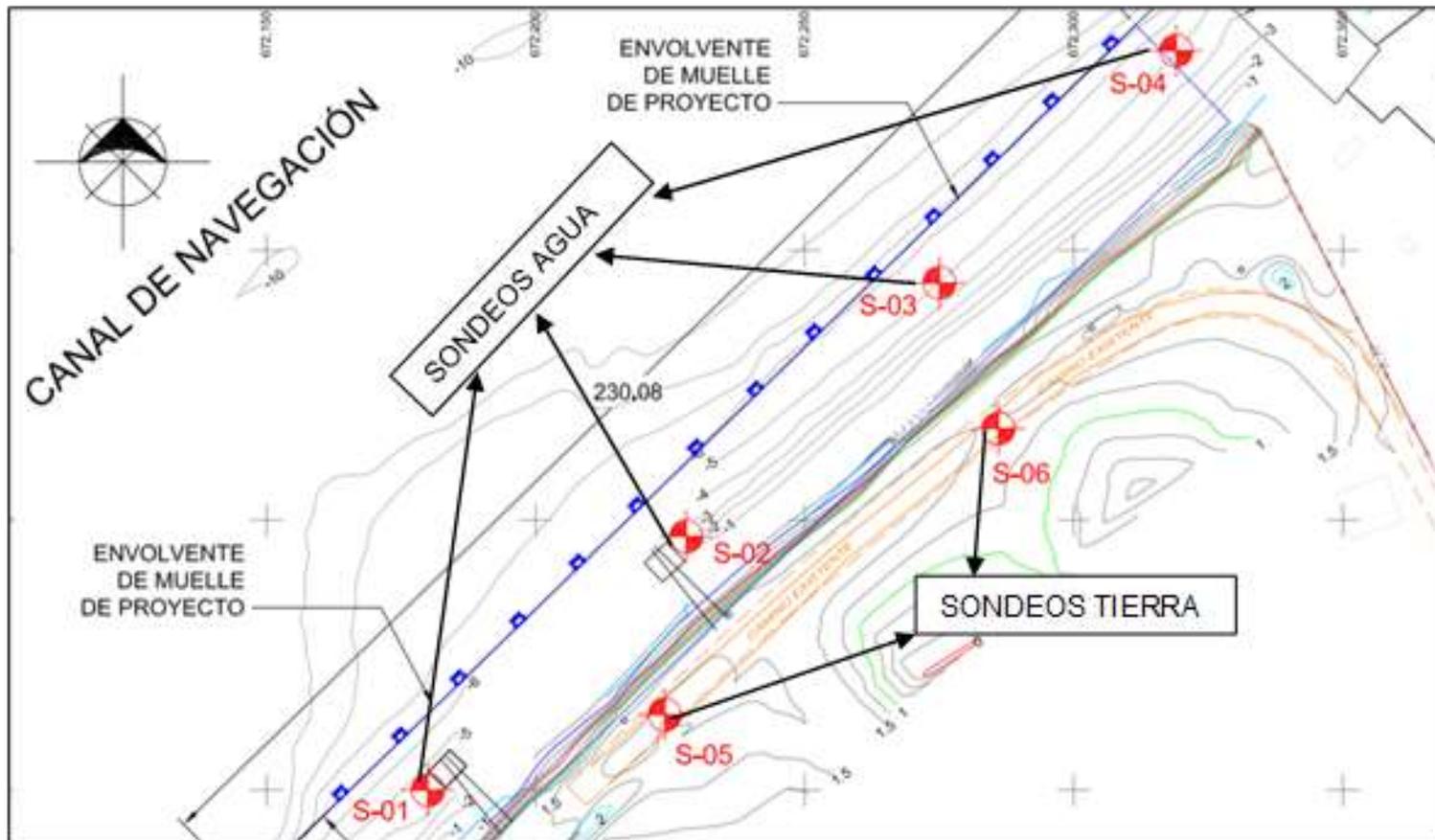


FIG.31 Ubicación de los 4 sondeos en agua y de los 2 sondeos en tierra

Para la ejecución de los sondeos en agua se habilitó una balsa formada con perfiles metálicos y flotadores de poliestireno para después botarla con grúa al río y entonces montar en ella el equipo de perforación. En la figura 22 se aprecia el armado de la balsa.



FIG.32 Habilitación de Balsa (chalan) para los trabajos de exploración en agua.

A continuación, se muestra el “botado” de la balsa al agua mediante una grúa Titán.



FIG.33 Botado de Balsa al agua con ayuda de una grúa "Titán"

En la figura siguiente, se puede ver la el botado del equipo de perforación a la balsa que ya está a flote.



FIG.34 Botado de Equipo de Perforación "Longyear 34"

En la figura siguiente, se puede ver el montaje del equipo de perforación a la balsa.



FIG.35 Colocación de Equipo de Perforación en Balsa (chalan)

Con el auxilio de una lancha motorizada la balsa fue posicionada en los distintos sitios de estudio, donde una vez ubicada la balsa en el punto a explorar, se fija con el auxilio de anclas y de cabos amarrados a los duques de alba o a alguna estructura cercana.

Los sondeos se llevaron a cabo con una Perforadora rotaria marca Longyear 34.

En la figura siguiente, se aprecian los cambios de ubicación.



FIG.36 Equipo de perforación en balsa remolcada con ayuda de una lancha motorizada.

El equipo de perforación usado en los trabajos en agua se muestra a continuación.



FIG.37 Equipo de Perforación Long Year 34.

Para la ejecución de las perforaciones en tierra se empleó una máquina rotaria marca Simco 2400 montada en remolque. Se muestra en las siguientes figuras.



FIG.38 Equipo de Perforación Simco 2400



FIG.39 Equipo de Perforación Simco 2400

La localización en planta de los dos sondeos en agua se indica en la misma Fig.31.

La longitud que los sondeos penetran en el fondo del río, sus coordenadas (X, Y), la elevación estimada del propio fondo en el río (Zfondo) y la elevación en la punta o extremo del sondeo (Zpunta) se tabulan a continuación.

<b>Sondeo No.</b>	<b>Longitud m</b>	<b>X m</b>	<b>Y m</b>	<b>Z<sub>fondo</sub> m</b>	<b>Z<sub>punta</sub> m</b>
S-01	34.70	672,180	2,317,800	-4.20	-38.90
S-02	35.30	672,228	2,317,847	-3.00	-38.30
S-03	33.95	672,275	2,317,894	-4.80	-38.75
S-04	36.30	672,319	2,317,937	-5.10	-41.40
S-05	40.65	672,224	2,317,814	1.75	-38.90
S-06	40.30	672,286	2,317,867	1.50	-38.80

La elevación del fondo en los sondeos (Zfondo) está referida al NBM, y se estimó a partir de la configuración batimétrica proporcionada por el Cliente; además de tomar en cuenta la hora y día de inicio de la exploración y su relación con el calendario gráfico de mareas elaborado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y por la Secretaria de Marina Armada de México.

En la siguiente figura, se aprecia la tabla de mareas realizada por el CICESE que se utilizó en la exploración de campo.





FIG.41 Exploración geotécnica en Sondeo 1

A continuación, se observa la muestra 30 del sondeo 1.



FIG. 42 Muestra Alterada en Tubo Partido (SPT)

En la siguiente figura se puede ver el tipo de tubo shelby que se utilizó en el estudio. Es un tubo shelby de dos pulgadas



FIG.43 Tubo Shelby o Tubo de Pared Delgada de 2" de diámetro.

En la siguiente imagen se puede ver la muestra 19 del sondeo 2.



FIG.44 Muestra Inalterada en Tubo Shelby de 2" de diámetro.

La ubicación del sondeo se realizó mediante el uso de un navegador GPS comercial (Global Position System). Este tipo de GPS's se venden con una aproximación que oscila entre  $\pm 1$  a 3 m, sin embargo, usándolo en campo y tomando como referencia un banco de nivel, la diferencia ha sido de 0.60 metros.

No existe una norma que indique con que aproximación debe contar un sistema de geolocalización para este tipo de estudios, por lo que para fines prácticos se ha decidido usar el GPS a continuación ilustrado.

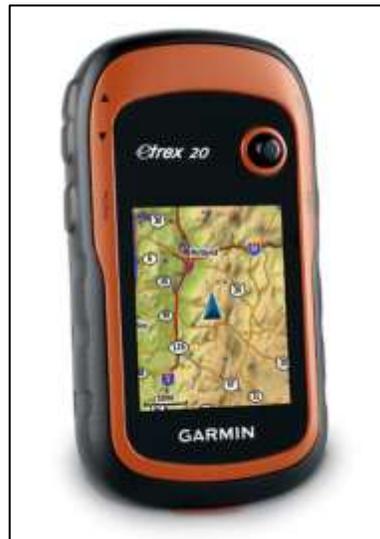


FIG.45 GPS de Mano GARMIN eTrex 2.0

## 6 RESULTADOS

Parte de los resultados, son los registros de campo que el supervisor debe entregar al área de gabinete. Es un registro de campo por cada sondeo. Dicho registro se va capturando conforme el sondeo va avanzando.

Antes de iniciar el registro, se debe anotar la siguiente información del proyecto.

- Nombre del Proyecto
- Ubicación del Proyecto
- Nombre del Supervisor
- Nombre del Perforista
- Tipo de Máquina Perforadora
- Fecha de Inicio y Término del Sondeo
- Tipo de Sondeo
- Número de Sondeo
- Ubicación por Coordenadas UTM indicando el cuadrante
- Profundidad de Ademe (si fuera el caso)
- Nivel de Agua y hora en que se toma.

Una vez llenados los datos mencionados, se inician trabajos y comienza el registro de la exploración.

En el caso de la prueba SPT, se va anotando el número de golpes que se requiere para poder hincar el tubo partido. El conteo se hace cada que penetran 15 cm. Son cuatro tramos que tendrán respectivamente un número de golpes, y así hasta llegar a la longitud de 60cm.

En caso de que el tubo partido no logre bajar algún tramo de 15 cm con un máximo de 50 golpes, se suspende la prueba y se anota la profundidad alcanzada con esos 50 golpes en el tramo que haya sido. Por ejemplo 50/10, lo que significa que con 50 golpes logró bajar 10 centímetros.

En este estudio se realizaron Sondeos Mixtos, lo que quiere decir que se recuperan muestras alteradas e inalteradas.

Para el registro de las Muestra Inalteradas, se anota la recuperación que se obtuvo del metro total que tiene de longitud el Tubo Shelby.

Es importante mencionar que todas las muestras obtenidas, alteradas o inalteradas, llevan su longitud recuperada anotada en el registro de campo, así como su clasificación preliminar de tipo de suelo. Después son llevadas al laboratorio para obtener la clasificación SUCS precisa.

Aparte de los registros de campo por cada sondeo, también se debe realizar una Bitácora de trabajos, ya sea diaria o semanal según se requiera. En esta Bitácora se incluyen todas las actividades y eventos relevantes, por ejemplo: Días perdidos y el motivo del día perdido, algún evento climático que impida continuar con las labores, incidentes con algún trabajador, desperfectos con la maquinaria, detención de labores por parte de algún organismo portuario. Todo lo relevante acontecido en el día deberá estar incluido en dicha Bitácora.

En las tres figuras siguientes, se muestra el registro de campo realizado para el sondeo 3.

PROYECTO:		MUELLE GRANELERO No.3					 <b>REGISTRO DE CAMPO</b> Ing. Antonio Sifuentes Valles Mecánica de Suelos Cimentaciones y Pavimentos					
UBICACIÓN:		Muelle Duque de Alba de la Administración Portuaria Integral de Tuxpan, Ver.										
SUPERVISOR:		OSCAR SIFUENTES HERNANDEZ		INICIO:		24 09 16		SONDEO.: S-03		PROF. ADEME: 37.50 MTS		
PERFORISTA:		FERNANDO JASSO L.		TERMINAC:		30 09 16		CUADRANTE: X: 672275		Y: 2317894		
MAQUINA:		LONGYEAR 34		HOJA:		1 DE 3		TIRANTE AGUA 5.40 MTS				
TIPO DE SONDEO:		MIXTO					FECHA Y HORA TOMADA: 24 09 16 A LAS 09:40 HRS					
MUESTRA No	PROFUNDIDAD (M)		NUMERO DE GOLPES			C U R S O	MUESTREA- DOR	PENETROM. BOLSILLO	HERRAM. LIMPIEZA	CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN		
	DE	A										
*---	0.00	5.40				*--				TIRANTE DE AGUA 5.40 MTS		
*---	5.40	6.00		PP		S/R	TP		BT 2 15/16	*---		
*---	6.00	6.60		PP		S/R	TP		BT 2 15/16	*---		
1	6.60	7.20		PP		16	TP		BT 2 15/16	C. CON POCO S. GRIS OBSCURO		
2	7.20	7.80		PP		17	TP		BT 2 15/16	C. CON POCO S. GRIS VERDOSO		
3	7.80	8.80	PRESION			76	TS		BT 2 15/16	C. GRIS OBSCURO		
4	8.80	9.40	1	2	2	40	TP		BT 2 15/16	C. CON MO GRIS VERDOSO		
5	9.40	10.00	3	5	4	37	TP		BT 2 15/16	C. GRIS OBSCURO		
6	10.00	10.60	3	8	7	28	TP		BT 2 15/16	C. CON MO GRIS VERDOSO		
7	10.60	11.20	PP	2	3	19	TP		BT 2 15/16	C. CON MO GRIS VERDOSO		
8	11.20	11.80	3	8	5	19	TP		BT 2 15/16	C. CON MO GRIS VERDOSO		
9	11.80	12.40	3	7	3	19	TP		BT 2 15/16	C. CON MO GRIS VERDOSO		
10	12.40	13.00	3	8	5	22	TP		BT 2 15/16	C. GRIS VERDOSO CON PEDACERIA DE CONCHAS		
*---	13.00	13.60	4	7	3	S/R	TP		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE		
11	13.60	14.60	PRESION			69	TS		BT 2 15/16	C. GRIS VERDOSO		
12	14.60	15.20	3	6	4	26	TP		BT 2 15/16	C. GRIS OBSCURO		
13	15.20	15.80	4	9	4	30	TP		BT 2 15/16	C. CON POCO S. GRIS OBSCURO		
14	15.80	16.40	2	5	3	25	TP		BT 2 15/16	C. CON S FINA GRIS OBSCURO		
15	16.40	17.00	1	3	4	24	TP		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
16	17.00	17.60	3	2	1	25	TP		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
17	17.60	18.20	1	22	15	20	TP		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
18	18.20	18.80	4	19	16	24	TP		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
19	18.80	19.40	8	14	6	24	TP		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
20	19.40	20.40	PRESION			75	TS		BT 2 15/16	C. CON S. GRIS VERDOSO		
21	20.40	21.00	4	8	5	37	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSO		
22	21.00	21.60	4	8	5	34	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSO		
23	21.60	22.20	6	14	10	25	TP		BT 2 15/16	C. CON POCO S. GRIS VERDOSO		
24	22.20	22.80	2	7	12	28	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSO		
25	22.80	23.40	4	13	10	25	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSO		
26	23.40	24.00	6	22	16	21	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSO		

SIMBOLOGIA DE CLASIFICACION ABREVIADA: B, boleos; G grava; M, limo; C, arcilla; MO, materia organica  
 SIMBOLOGIA DE EXPLORACION: TP, tubo partido; B, barril; TS, tubo shelby; A, avance; BT, broca triconica; BDN, barril denison;

FIG.46 Registro de Campo del Sondeo 3 en el puerto de Tuxpan, Ver. (HOJA 1)

PROYECTO:		MUELLE GRANELERO No.3								REGISTRO DE CAMPO	
UBICACIÓN:		Muelle Duque de Alba de la Administración Portuaria Integral de Tuxpan, Ver.								Ing. Antonio Sifuentes Valles Mecánica de Suelos Cimentaciones y Pavimentos	
SUPERVISOR:		OSCAR SIFUENTES HERNÁNDEZ		INICIO:		24 09 16		SONDEO.: S-03		PROF. ADEME: 37.50 MTS	
PERFORISTA:		FERNANDO JASSO L.		TERMINAC:		30 09 16		CUADRANTE: X: 672275		Y: 2317894	
MAQUINA:		LONGYEAR 34		HOJA:		2 DE 3		TIRANTE AGUA 5.40 MTS			
TIPO DE SONDEO:		MIXTO						FECHA Y HORA TOMADA: 24 09 16 A LAS 09:40 HRS			
MUESTRA No.	PROFUNDIDAD (M)		NUMERO DE GOLPES			C RE	MUESTREA-DOR	PENETROM. BOLSILLO	HERRAM. LIMPIEZA	CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN	
	DE	A									
27	24.00	24.60	5	18	7	22	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS VERDOSA	
*--	24.60	25.20	7	23	12	S/R	TP		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
*--	25.20	25.40		A		S/R	BT		BT 2 15/16	AVANCE POR REUBICACIÓN DE LA BALSA DEBIDO AL NORTE FRÍO	
28	25.40	26.00	9	25	14	20	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS OBSCURO	
29	26.00	26.60	9	24	15	26	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS OBSCURO	
30	26.60	27.20	11	22	14	29	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS OBSCURO	
31	27.20	27.80	7	15	15	21	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO	
32	27.80	28.40	8	14	15	20	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO	
33	28.40	29.00	PRESION			60	TS		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS OBSCURO	
34	29.00	29.60	10	33	24	26	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO	
35	29.60	30.05	16	50 / 30		24	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO CON PEDACERIA DE CONCHA	
*--	30.05	30.20		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
36	30.20	30.63	15	50 / 28		25	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO CON PEDACERIA DE CONCHA	
*--	30.63	30.80		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
37	30.80	31.40	6	23	20	23	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO CON PEDACERIA DE CONCHA	
38	31.40	32.00	6	21	21	24	TP		BT 2 15/16	S. GRIS OBSCURO CON PEDACERIA DE CONCHA	
39	32.00	32.40	18	50 / 25		23	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO M. GRIS OBSCURO	
*--	32.40	32.60		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
40	32.60	32.98	19	50 / 23		25	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO M. GRIS OBSCURO	
*--	32.98	33.20		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
41	33.20	33.50	21	50 / 15		26	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO M. GRIS OBSCURO Y PEDACERIA DE CONCHA	
*--	33.50	33.80		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
42	33.80	34.05	34	50 / 10		20	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO G. GRIS OBSCURO	
*--	34.05	34.40		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
43	34.40	34.70	20	50 / 15		19	TP		BT 2 15/16	G. CON S. GRIS OBSCURO	
*--	34.70	35.00		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
44	35.00	35.15	50 / 15			15	TP		BT 2 15/16	S. GRIS COMPACTO	
*--	35.15	35.60		A		S/R	BT		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS COMPACTO	
45	35.60	35.85	25	50 / 10		20	TP		BT 2 15/16	S. CON POCO C. GRIS COMPACTO	
*--	35.85	36.20		A		S/R	BT		BT 2 15/16	IDEM POSIBLE	
SIMBOLOGIA DE CLASIFICACION ABREVIADA: B, boleos; G, grava; S, arena; M, limo; C, arcilla; MO, materia orgánica											
SIMBOLOGIA DE EXPLORACION: TP, tubo partido; B, barril; TS, tubo Shelby; A, avance; BT, broca tric IDEM (POSIBLE)											

FIG.47 Registro de Campo del Sondeo 3 en el puerto de Tuxpan, Ver. (HOJA 2)



Se ocuparon tres hojas de registro para poder concluir el Sondeo 3, llegando a la profundidad de 39.35 metros a partir del espejo de agua.

Una vez concluido el registro de campo, se envía a gabinete para que le den seguimiento a la información recabada. Con el número de golpes se obtiene un perfil donde se va observando la variación de golpes respecto a la profundidad del sondeo.

En la siguiente figura se muestra el formato en que son vaciados los números de golpes, es un formato programado en AutoCAD. Cabe mencionar que en dicho formato se anotan los resultados del laboratorio; ya sea granulometrías, límites, relación de vacíos, peso volumétrico, y el perfil estratigráfico con clasificación y descripción.

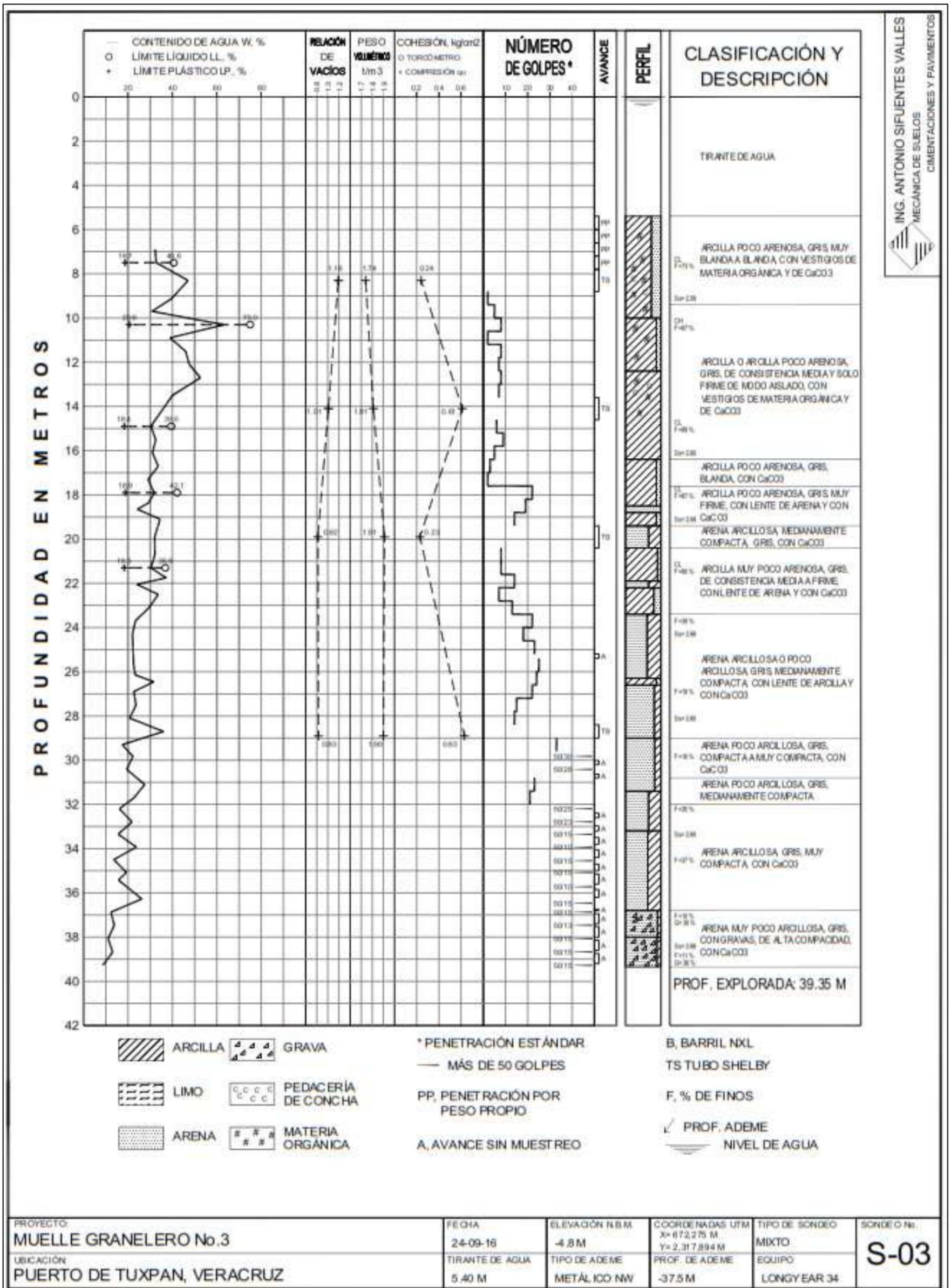


FIG.49 Estratigrafía y Propiedades del Subsuelo (Sondeo 3)

## 7 RIESGOS

A lo largo de mi experiencia laboral en los diferentes estudios geotécnicos, me he enfrentado a distintos factores que retrasan los trabajos de exploración.

Ha dichos factores los llamo riesgos, y los clasifico en tres tipos.

**Riesgos naturales;** todo lo relacionado con fenómenos climáticos, **riesgos administrativos;** son los ocasionados por los órganos encargados de los recintos portuarios, y **riesgos por operación;** a los accidentes que ocurren realizando labores, ya sea al personal de trabajo o algún desperfecto de la maquinaria.

Cualquiera de estos tres tipos de riesgos puede retrasar la exploración por horas o por días.

### **Riesgo Naturales**

Los riesgos en cuanto al clima y sobre todo en las costas de México son un tema constante. Las depresiones tropicales, huracanes, frentes fríos y todo este tipo de eventos afectan directamente los trabajos de exploración. Es muy importante tener pronósticos meteorológicos diario para poder prever el mal clima y programar la exploración con mayor certeza.

En caso de tener alguno de estos eventos en la exploración, la única opción que queda es esperar a que pase el mal tiempo y reanudar labores en cuanto sea posible. Son riesgos que se tienen que incluir en el programa de exploración ya que pueden ser varios días perdidos y es muy posible que recaiga en sanciones económicas por parte del cliente. Por eso es muy importante aclarar en qué condiciones se puede trabajar y en cuáles no.

## **Riesgos Administrativos**

En México existen dos órganos principales encargados de cada puerto; una Administración Portuaria Integral, encargada de las concesiones de proyectos y de generar obras, y, por otra parte, está la Capitanía de Puerto, encargada de hacer valer las leyes y reglamentos de la Secretaria de Marina. Es importante aclarar que dichos órganos no trabajan en conjunto, y es en gran medida lo que complica los accesos, permisos y demás oficios que se requieren para poder trabajar en zonas portuarias federales.

Todo el trámite de permisos, accesos, etc. para poder trabajar en los recintos portuarios son generados por parte de la Administración Portuaria Integral, según sea el puerto. El problema no es obtener los permisos por parte de la API, sino que una vez realizado los trámites oportunos por la API donde avala los trabajos a realizar, puede llegar algún personal de la Marina o embarcación a suspender labores, y la única forma de continuar trabajando es dirigirse a la Capitanía de Puerto y entablar una conversación con el Capitán, explicando a detalle el programa de los trabajos a realizar. Si el Capitán está de acuerdo con los trabajos y con la documentación presentada emitirá un oficio dónde autorice los trabajos a concretar.

Muchas veces dependerá del carácter de las personas y su criterio para poder continuar con los trabajos. Este tipo de retrasos también puede generar días perdidos, por lo que también se tiene que contemplar en el programa de exploración.

## **Riesgos por Operación**

Los riesgos por operación, son aquellos que ocurren mientras se está llevando a cabo la exploración, es decir, accidentes al personal o a la maquinaria. En ocasiones entre el mismo personal pueden provocarse lesiones debido al manejo de la herramienta de trabajo, ya que son llaves Stilson de 24 y 36 pulgadas, y aún con la experiencia y la fuerza que han adquirido se les pueden zafar de las manos y provocar algún accidente, por lo que es muy importante estar pendiente del personal y de su área de trabajo.

Otro caso probable de riesgo por operación, es al estar trabajando en zonas marinas, puede ocurrir que algún integrante de la brigada caiga al agua, por lo que es importante contar con chalecos salvavidas en buenas condiciones y un aro salvavidas con rabiza.

No son los únicos casos que pasan en una exploración, pero a mi parecer son de los más frecuentes y hay que extremar precauciones.

Por otra parte, están los equipos de perforación, que dependiendo la magnitud del proyecto o celeridad que se desee, puede ser un equipo de perforación o varios.

Es tarea del supervisor y de la brigada revisar las máquinas dando el mantenimiento necesario para tener los equipos en óptimas condiciones y así prever alguna descompostura que pudiera retrasar las labores de exploración.

Aun revisando los equipos debidamente, la probabilidad que algún desperfecto pueda suceder es muy grande, la diferencia, es que cuando se revisan los equipos, los desperfectos que ocurren no deben de llevar más de un par de horas en repararse ya que suelen ser problemas comunes que ya se sabe cómo solucionarlos.

## 8 CONCLUSIONES

Una vez explicado el objetivo de este trabajo, el cual era exponer como fue llevada a cabo la exploración geotécnica en el Puerto de Tuxpan y los riesgos que conlleva, me gustaría concluir con algunas recomendaciones, que pienso, pueden ser útiles para futuras exploraciones geotécnicas, principalmente portuarias.

Como se menciona, API es la responsable, tanto adjudicar proyectos para fomentar el crecimiento de los puertos, como de generar y administrar los permisos, accesos, oficios, etc., a las empresas que vayan a trabajar en sus recintos portuarios. Por lo que recomiendo iniciar estos trámites con tiempo suficiente para que salgan a tiempo, y no haya retrasos en la exploración. Recomiendo entablar comunicación con la API, según sea el puerto, para iniciar los trámites **mínimo** dos semanas antes del día que se planea empezar los trabajos de exploración.

Una vez con los accesos listos y toda la documentación brindada por API en tiempo y forma, se podría pensar que ya no habrá problema para empezar con los trabajos, lo cual no es verdad. Aún queda un asunto pendiente muy importante, el permiso de la Capitanía de Puerto.

La Capitanía de Puerto tiene otro objetivo muy distinto al de API, por lo que también se necesita el visto bueno del Capitán de Puerto. Es obligación del Supervisor o encargado ir con el Capitán de Puerto para exponer los trabajos que se tienen planeados realizar.

**NO** hay que llegar con el Capitán de Puerto sin algún documento oficial que avale los trabajos a desarrollar, en este caso hay que llevar un documento que expide API que respalda los trabajos a efectuar. También es importante llevar un escrito como contratista, donde se exponga e ilustre con imágenes la manera en que será llevada a cabo la exploración. Por ejemplo: tipo de maquinaria a emplear, dimensiones de balsa (chalan) o plataforma y su documentación (matrícula, certificado de seguridad), equipo de seguridad tanto de la brigada como de la embarcación, número de empleados, ubicación de los trabajos, programa de trabajo y tiempo en concluir.

Toda la información que uno brinda al Capitán de Puerto debería agilizar la autorización por parte de ellos, y en la mayoría de los casos es así, aunque, nunca faltará alguna excepción donde el Capitán por alguna razón no esté de acuerdo con los trabajos. En ese caso, no hay más cubrir con las exigencias que el Capitán demande, y que por supuesto estén en nuestras posibilidades.

Una vez que el Capitán de autorización a los trabajos, hay que conciliar una cita con el Supervisor Naval para que vaya a inspeccionar la balsa o plataforma, según sea el caso. El inspector Naval requiere que la embarcación cuente con algunos elementos de seguridad, principalmente; extintor de 4 kilos, chalecos salvavidas de trabajo, aro salvavidas con rabiza, lámpara de mano, luces destellantes para señalar la embarcación, radio VHF de banda marina, certificado de seguridad vigente de embarcación, matrícula en documento y rotulado en la embarcación, y el equipo de seguridad de la brigada (botas, cascos, lentes y guantes).

Normalmente conciliar la cita con el Inspector Naval toma de uno a tres días, por lo que hay que hacerlo lo antes posible. El Inspector querrá ver la embarcación ya habilitada, flotando, con el equipo de perforación montado y ubicada en dónde se harán los trabajos, de esta manera podrá visualizar como se desenvuelve en el agua. Con esta inspección se renueva el certificado de seguridad en caso de no haberlo tenido, lo que es importante es traer el certificado de seguridad original anterior y pagar unas pequeñas multas para que se pueda renovar el certificado.

Concluida la inspección, si se cumplió con lo anterior mencionado, no debería haber problema para que el Inspector autorice a que la embarcación, ya sea balsa o plataforma, prosiga a realizar los trabajos. Ya con el visto bueno del Capitán y del Inspector Naval, se puede tener certeza que la exploración no será detenida por razones administrativas.

Cabe mencionar que, en una ocasión, en el puerto de manzanillo, no se pudo conciliar un acuerdo con el Capitán y toda la exploración fue suspendida. Es muy lamentable que este tipo de obras dependa de gente que no tiene idea de lo que se está llevando a cabo y de los beneficios que conlleva.

Hablo de todo este trámite con la capitanía, porque me parece que es de los riesgos que se pueden evitar actuando en el momento indicado, siendo de los que más podrían retrasar los trabajos.

Desgraciadamente no sólo hay negativas por parte de la Capitanía de Puerto. Las API's cuentan con distintos edificios, recintos, predios, etc., y en ocasiones por falta de comunicación los guardias de seguridad niegan el acceso, aun teniendo

los permisos emitidos por la misma API. Son detalles que debe de tomar en cuenta cada Administración Portuaria del país.

Por otra parte, para tratar de mitigar los riesgos en operación, recomiendo llevar las refacciones de las piezas que se sabe suelen fallar. Y sobre todo revisar y dar mantenimiento a las máquinas antes de los trabajos.

En el 95% de los estudios en que he participado ha habido fallas mecánicas en los equipos de perforación, siempre en distintas magnitudes, pueden ser retrasos de treinta minutos, como pueden ser de dos días. Es una gran ventaja contar con personal que tenga conocimientos de mecánica en general, o nociones de, así la misma brigada puede reparar los desperfectos y continuar con las labores.



FIG. 50 BRIGADA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

## 9 REFERENCIAS

- [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx)
- <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/puertos-de-mexico/>
- <https://www.puertotuxpan.com.mx/apitux/quienes/pmdp.html>
- Presentación del Ingeniero Antonio Sifuentes para la Asociación

Mexicana de Infraestructura Portuaria, Marítima y Costera.

## Agradecimientos:

Agradezco a mis Padres, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, sin duda alguna, son ejemplos de vida que he seguido.

Agradezco al Ingeniero Marcos Trejo Hernández, por su gran ayuda a lo largo de mi carrera, y también, por su compromiso y soporte que ofrece a todos los estudiantes de Ingeniería.