

Los suelos marinos de la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco, Golfo de México

Diego CRUZ^{a,1}, Francisco FLORES^b, Victor M. TABOADA^c
y Antonio RUVALCABA^a

^a*Instituto Mexicano del Petróleo, México*

^b*Ingenieros Geotecnistas Mexicanos, México*

^c*Instituto Geotécnico Noruego, USA*

Resumen. En la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco, Golfo de México, se han realizado más de mil sondeos geotécnicos y dos mil estudios geofísicos. Los sondeos tienen diversos objetivos, tales como: diseño de cimentaciones para plataformas marinas tipo jacket, el análisis de penetración de la cimentación de plataformas autoelevables (Jack up), la evaluación de peligros de perforación somera o el diseño de conductores para aguas profundas. Los tirantes de agua en donde se han realizado las perforaciones van desde 7 m, hasta los 3000 m de profundidad y se han llevado a penetraciones de 40 m, hasta 180 m bajo el fondo marino. Los estudios geofísicos se realizan para corredores de ductos o para la instalación de plataformas marinas.

En estos sondeos se han detectado perfiles de suelo: arenoso, arcilloso y suelo estratificado. Así mismo se han encontrado suelos que por sus características, pueden llegar a afectar la capacidad de carga de las cimentaciones de estructuras marinas, tales como arenas y arcillas carbonatadas, arcillas de consistencia muy blanda y arcillas de baja plasticidad. En los estudios geofísicos se incluyen datos de muestreo geotécnico de los suelos superficiales

En este trabajo se presenta parte de los resultados del procesamiento de datos de estos estudios geotécnicos, con los cuales se definieron zonas con arenas carbonatadas, zonas de suelos muy blandos o arenosos en el fondo marino, así como algunas características de las propiedades geotécnicas del fondo marino y de una zona cuya estratigrafía se compone principalmente por suelos arcillosos.

Palabras Clave. Sondeos marinos, Sonda de Campeche, Caracterización Geotécnica.

1. Introducción

Los primeros sondeos geotécnicos marinos en México fueron realizados en la década de los 70's; a partir de entonces se han realizado más de mil estudios geotécnicos para diferentes fines en las zonas de explotación de hidrocarburos del Golfo de México, de los cuales se cuenta con 900 sondeos en tirantes de agua de 7 a 250 m. Del total de sondeos, 850 se localizan en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco, el resto en zona Norte. El objetivo principal de estos sondeos ha sido el diseño de pilotes para plataformas marinas, por lo que su profundidad varía de 100 a 130 m bajo el fondo marino. Se han

¹ Corresponding Author; E-mail: dcruz@imp.mx.

realizado sondeos para otros fines, como son el análisis de penetración de cimentaciones para plataformas autoelevables marinas, en cuyo caso se llevan hasta 60 m de profundidad, o bien para la caracterización de los rasgos geológicos que representan algún riesgo para las instalaciones existentes o futuras, donde se ha llegado hasta una penetración de 180 m bajo el fondo marino.

En los reportes de estos sondeos se presenta la estratigrafía del sitio y las propiedades índice y parámetros de resistencia de los suelos de cada estrato presente a lo largo del perfil, así como resultados de pruebas de laboratorio y los análisis geotécnicos respectivos, de acuerdo al objetivo del sondeo. Los datos de resistencia al esfuerzo cortante que se incluyen en todos los sondeos son obtenidos de pruebas triaxiales (UU), de veleta miniatura, de torcómetro y de penetrómetro y a partir del año 1993 se presentan resultados de pruebas de campo de Cono Penetrómetro (CPT) y de veleta de campo. Para el caso de los suelos granulares, se presenta su compacidad, determinada por el número de golpes de la prueba de percusión o bien de los resultados del CPT.

Adicional a los sondeos geotécnicos, en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco se han realizado más de dos mil estudios geofísicos para definir los rasgos geológicos y morfología del fondo marino, en los cuales se incluyen datos geotécnicos de los suelos superficiales en las áreas de exploración.

En el 2010 Cruz et al iniciaron la recopilación de los estudios geofísicos y geotécnicos existentes en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco y formaron una base de datos que fue utilizada para desarrollar el Sistema de Información Geofísica y Geotécnica de Suelos Marinos del Golfo de México en 2014^[1]. La base de datos contiene la información estratigráfica, tirante de agua, profundidad de sondeo de cada localización, además de la identificación de suelos carbonatados, espesor del primer estrato de arcilla, identificación de estratos de arena superficial, resistencia al esfuerzo cortante en el fondo marino, además de los datos de la compañía y fecha de ejecución de los sondeos. Esta base de datos se ha ido actualizando con los resultados de los estudios realizados hasta el año 2018

La información contenida en la base de datos fue utilizada para identificar zonas conformadas exclusivamente por suelos cohesivos, suelos granulares y suelos estratificados, así mismo, se identificaron sitios con suelos carbonatados que pueden influir en la capacidad de carga de pilotes de cimentación para plataformas marinas. Por otro lado, para el caso del posicionamiento de plataformas autoelevables, se identificaron zonas con potencial de penetración súbita, así como sitios en dónde se puede presentar una gran penetración de la cimentación o bien escasa penetración de la misma.

En el presente trabajo se incluye un resumen de resultados de los trabajos de procesamiento de la información geotécnica existente en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco, como punto de partida de una serie de trabajos a realizar, con el fin de dar a conocer las condiciones geotécnicas que se presentan en las diferentes zonas de explotación de hidrocarburos costa afuera en la zona sur del Golfo de México

2. Condiciones geotécnicas de la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco

El área de estudio (Sonda de Campeche y Litoral Tabasco) es muy extensa y presenta una gran variabilidad estratigráfica. Existen zonas con depósitos normalmente consolidados, que contienen suelos muy blandos y zonas con suelos granulares muy compactos desde la superficie del fondo marino.

A continuación se hace una breve descripción de la variación estratigráfica en el área de estudio, así como de algunas condiciones geotécnicas que pueden afectar el comportamiento de la cimentación de una PAE o la capacidad de carga de los pilotes de cimentación de una plataforma fija. Estas condiciones pueden ser: zonas de arenas carbonatadas, zonas de suelos muy blandos y zonas estratigráficas con potencial de penetración súbita.

2.1. Variabilidad estratigráfica

Los suelos de la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco están constituidos por sedimentos recientes clásticos carbonatados y térreos, teniendo como dominantes a estos últimos. Los principales rasgos geológicos encontrados son: formaciones arrecifales, montículos carbonatados, paleocanales enterrados, fallas y fracturas. Los sedimentos térreos (arcillas y limos con 25 a 50% de carbonatos) son producto del acarreo de los ríos Grijalva, Usumacinta, San Pedro y la desembocadura de la Laguna de Términos con sus abundantes corrientes fluviales. Los terrígenos se transportan y distribuyen sobre el piso marino acompañados de algunas arenas. Frente a la desembocadura del Río Grijalva, donde los movimientos del mar son turbulentos, se tiene la depositación de arenas finas uniformes. Mar adentro, el flujo se comporta como laminar y de baja velocidad permitiendo la depositación de los sedimentos arcillosos. En la parte norte de la Sonda de Campeche, acercándose al límite de la plataforma continental se presentan grandes depósitos arcillosos, a partir del fondo marino y hasta profundidades mayores a los cien metros, encontrando una zona muy amplia de afloramientos calcareos a 110km al Noreste de Cd. Del Carmen, Campeche.

En la Figura 1 se presenta un mapa de la localización de los sondeos existentes en el área de estudio, en dónde se resaltan tres sitios de diferentes zonas y tirantes de agua que se tomaron para ejemplificar la variación de la estratigrafía en esta extensa zona marina. En la Figura 2 se presenta la estratigrafía de éstos tres sitios. El primer perfil corresponde a un suelo conformado por arenas, en la mayor parte del sondeo; el perfil 2 consiste en un suelo estratificado, conformado por diferentes estratos de arenas, arcillas y limos. Finalmente el perfil 3 muestra un depósito de arcilla a todo lo largo del sondeo.

Además de la variabilidad estratigráfica, el comportamiento de las cimentaciones de plataformas marinas, ya sea fijas o autoelevables, PAE's, se puede ver afectado por otros factores, tales como, la presencia de suelos carbonatados (estratos de arena con contenido de carbonatos mayor al 50%) y estratos de arena compacta en el fondo marino. En el primer caso, la capacidad de carga axial de pilotes se disminuye considerablemente y por otro lado, la presencia de arenas compactas en el fondo marino, ocasionan una escasa penetración de la cimentación de una PAE. A continuación se hace una breve descripción de algunas características de los suelos que pueden afectar el comportamiento de las cimentaciones o la instalación de ductos en el área de estudio.

2.2. Suelos en el fondo marino.

En el diseño de ductos marinos y placas de apoyo temporal de plataformas fijas, así como para el posicionamiento de una PAE en un sitio determinado, es de gran importancia conocer el tipo de suelo que se presenta en el fondo marino, así como la identificación del espesor del estrato blando en dónde serán instaladas estas estructuras. Como parte

del procesamiento de los datos geotécnicos contenidos en la base de datos, se analizaron los perfiles estratigráficos someros para generar un mapa de los diferentes tipos de suelos que se pueden encontrar en el fondo marino de la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco.

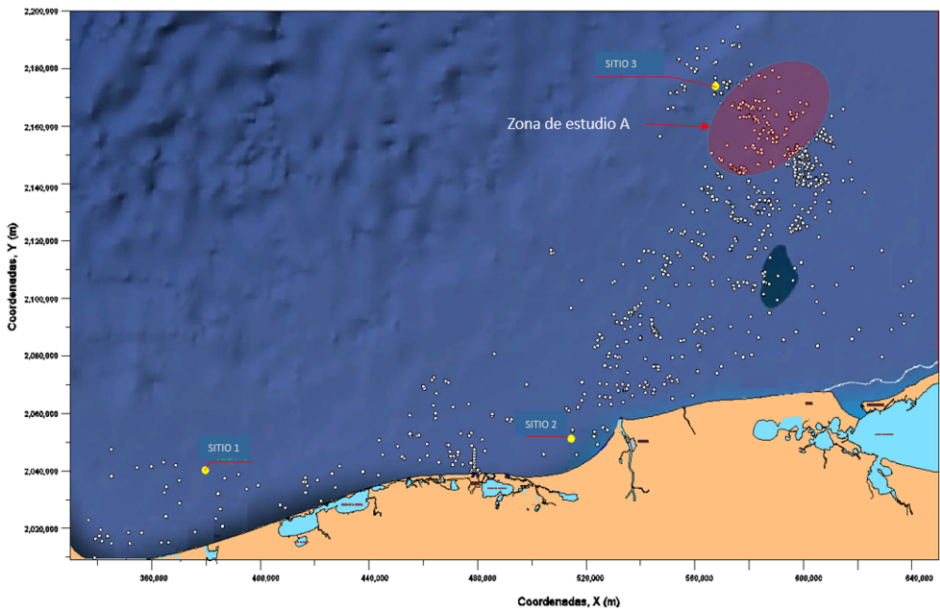


Figura 1. Localización de sondeos existentes en el área de estudio.

Para identificar el tipo de suelo que se presenta en el fondo marino, se utilizaron tanto los registros de sondeo, como los datos estratigráficos de las muestras de suelo obtenidas en los estudios geofísicos. En los registros que fue posible identificar el espesor del primer estrato blando se obtuvo este valor y se generaron curvas de profundidad de estos suelos, identificando de igual forma las zonas en donde se presentan suelos arenosos en el fondo marino, que corresponden a la curva de espesor de suelo blando con valor de cero. En la Figura 3 se presentan las curvas de espesor de los suelos blandos.

2.3. Resistencia al esfuerzo cortante en fondo marino.

De los estudios geofísicos, se obtuvieron 570 datos de valores de resistencia al esfuerzo cortante de la prueba de veleta miniatura de suelos superficiales, entre profundidades de 0 a 0.6 m. Con estos resultados fue generado el histograma de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos superficiales que se presenta en la Figura 4.

Se puede observar que los valores de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos del fondo marino en la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco se concentran entre 5 y 8 kPa, presentándose escasos valores mayores a 15 kPa.

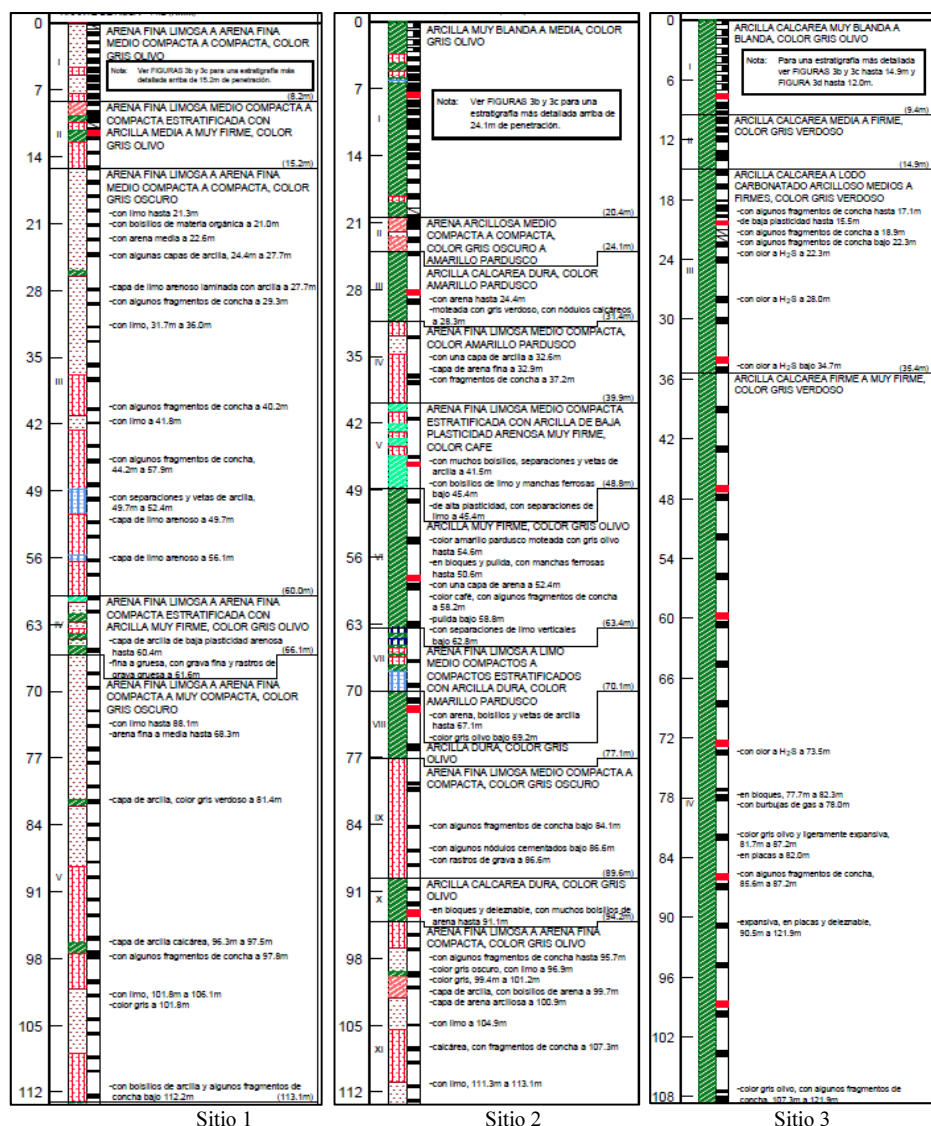


Figura 2. Registros estratigráficos que muestran la variabilidad de los suelos en el área de estudio.

2.4. Zonas con arenas carbonatadas

Existen diversos estudios, en los cuales se documenta que los suelos granulares carbonatados presentan una capacidad de carga menor, respecto a arenas de origen silíceo. Derivado de estos estudios, se han adoptado criterios de reducción de la resistencia por fricción y por punta de las arenas, en función del contenido de carbonatos. Así mismo, se ha determinado un contenido de carbonatos del 50% para aplicar dicha reducción.

Los suelos carbonatados difieren en muchas formas de los suelos ricos en partículas sílicas. Una importante diferencia es que se componen principalmente de carbonatos de calcio, los cuales tienen menor dureza, comparada con el cuarzo que contienen los

sedimentos sílicos. La susceptibilidad de los suelos carbonatados a la desintegración en fracciones más pequeñas a relativamente bajos niveles de esfuerzos, se debe a esta condición. Típicamente tienen mayor porosidad, tanto a nivel partícula, como en su estructura, dando lugar a una alta relación de vacíos y baja densidad, de tal forma que son más compresibles que los depósitos de suelos sílicos.

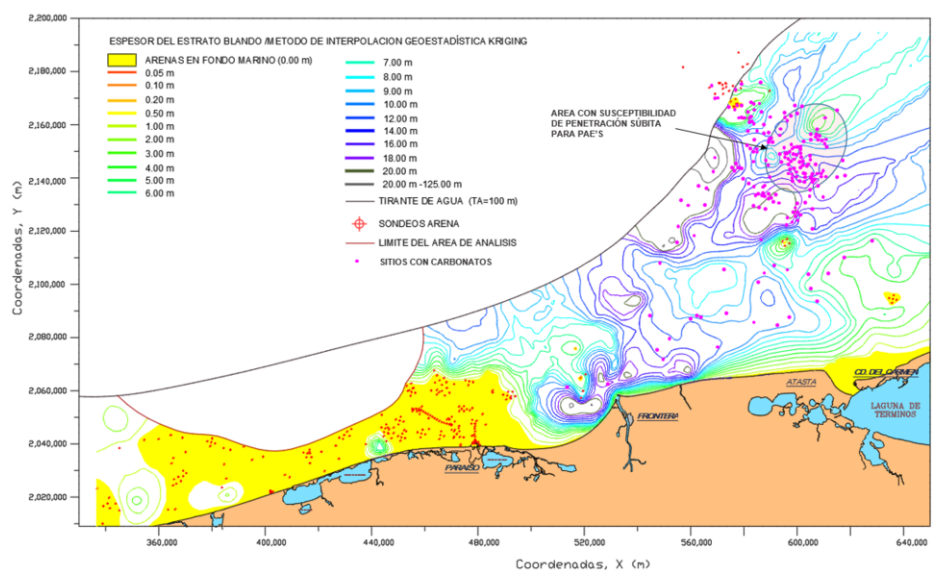


Figura 3. Mapa de espesor de estrato blando, arenas en el fondo marino y sitios con suelos carbonatados.

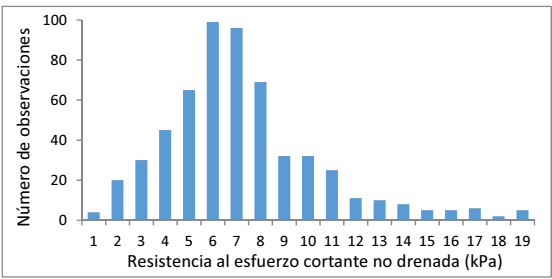


Figura 4. Histograma de resistencia al esfuerzo cortante no drenada de suelos superficiales.

En gran parte de la Sonda de Campeche se ha detectado la presencia de arenas carbonatadas, principalmente al noreste de Cd, del Carmen, en tirantes de agua de 50 a 100 m de profundidad. Para identificar las zonas que presentan arenas carbonatadas dentro del área de estudio, se seleccionaron los sondeos que reportan estratos de arenas con contenido de carbonato mayor a 50% en estratos con un espesor mayor a 5 m y fueron localizados en el mapa del área de estudio, Figura 3.

2.5. Zonas con potencial de penetración súbita

Para definir las áreas con potencial de penetración súbita de cimentaciones de PAE's, inicialmente fueron realizados análisis de penetración de diferentes tipos de

cimentaciones, en sitios con estratos de arena superficiales sobre yaciendo a estratos de arcilla blanda a media y fueron comparados con registros de penetración real en algunos de los sitios analizados. Con lo anterior fue definido un modelo de estratigrafía propicio para que se presente este tipo de falla, calibrado con casos reales de penetración súbita. Una vez que fue identificado el modelo estratigráfico con potencial de penetración súbita, se revisados los sondeos de la base de datos, a fin de identificar las zonas con alto potencial de que se presente este tipo de falla. Las zonas identificadas coinciden con algunos casos reales en los que ya se ha presentado penetración súbita durante el posicionamiento de alguna PAE. En el mapa de la Figura 3 se indica el área en la que se puede presentar este comportamiento durante el posicionamiento de una PAE.

3. Condiciones geotécnicas de una zona de estudio particular (Area A).

De la base de datos se seleccionaron los sondeos ubicados en el área indicada en la Figura 1, como zona de estudio en particular, un total de 58 sondeos. Estos sitios se localizan en tirantes de agua de 60 a 100 m de profundidad y se caracterizan por presentar perfiles estratigráficos compuestos en su mayor parte por suelos arcillosos. Los resultados incluidos en los reportes geotécnicos fueron analizados y procesados para generar los histogramas y gráficas que se indican a continuación. En la Figura 5 se presentan los histogramas de contenido de agua y peso volumétrico sumergido y en la Figura 6 se presenta la gráfica de la variación de resistencia al esfuerzo cortante obtenida de pruebas triaxiales UU, con la profundidad.

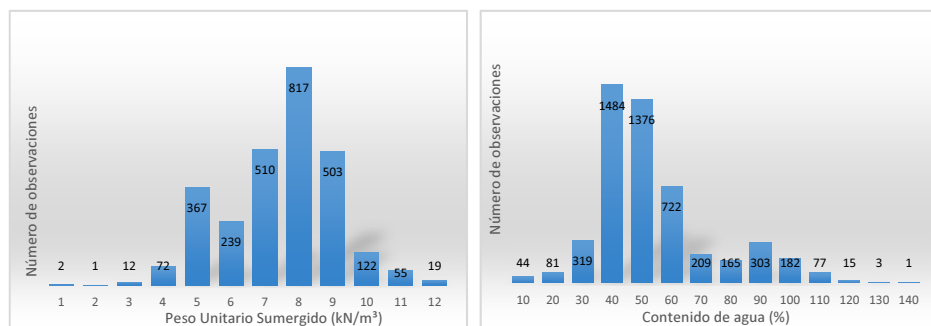


Figura 5. Histograma de contenido de agua y peso volumétrico sumergido en el área particular.

4. Conclusiones.

Se presentan un panorama general de los suelos de la Sonda de Campeche y Litoral Tabasco, tratando de abarcar ciertos temas que pueden influir en el diseño de cimentaciones de estructuras marinas.

Se mencionan algunos datos geotécnicos de un área específica, de suelos básicamente arcillosos, como un ejemplo que puede aportar datos para una zonificación del área de estudio, en conjunto con el resto de información que se presenta en los mapas incluidos en este trabajo

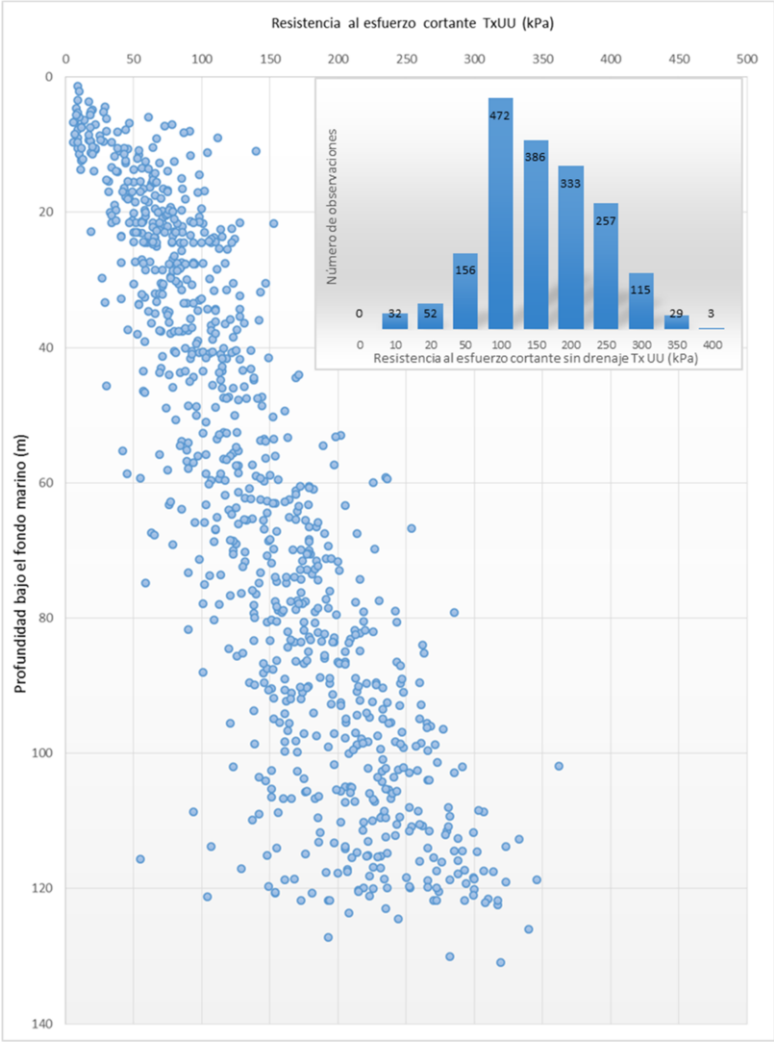


Figura 6. Valores de resistencia al esfuerzo cortante versus profundidad, de los suelos del Área A.

References

[1] Diego Cruz, Marcelino López, Francisco A. Flores, Prócoro Barrera, Eduardo Rojas, Rita Torres, Dinorah Monroy, Manuel Cervantes, Juan M. Hernández y Sergio Renovato, Sistema de Información Geofísica y Geotécnica de suelos marinos del Golfo de México, *XXVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica SMIG*, (2014).