

Anejo II. Geología y geotécnica

Proyecto básico de emisario submarino para la ampliación de la
desaladora Al-Gubrah (Omán)



ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Localización pozos de sondeo	3
3. Pruebas de campo	4
3.1. Prueba de penetración estándar (SPT).....	4
3.2. Ensayo de permeabilidad.....	5
3.2.1. Método de la carga variable creciente	5
3.2.2. Ensayo de carga constante	6
4. Ensayos de laboratorio.....	8
4.1. Propiedades físicas.....	8
4.1.1. Análisis Granulométrico.....	8
4.1.2. Límites de Atterberg.....	8
4.1.3. Ensayo de resistencia al corte.....	9
4.2. Los análisis químicos de la muestra de suelo	9
4.2.1. El contenido de cloruro y el contenido orgánico	10
5. Las condiciones del subsuelo y la capa freática.....	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:pozo de sondeo	3
Figura 2:pozo de sondeo	5
Figura 3:Ensayo de carga constante	6
Figura 4: Ensayo de carga constante	7
Figura 5: Mapa sísmico de la zona de Emiratos Árabes	12



1. Introducción

El proyecto a realizar hace referencia a la ejecución de un emisario submarino para la ampliación de la desaladora ubicada en Al-ghubrah (Omán). En este anejo se pretende dar una visión del contexto geotécnico en el que se desarrollará el proyecto. Sin embargo, debido a que la ubicación del proyecto es un país extranjero, los medios y la ausencia de un instituto geológico del país en cuestión, imposibilita el estudio de las características geológicas en que se desarrollará el proyecto.

Para el estudio geotécnico, se consideran adecuados los datos y resultados obtenidos en el estudio geotécnico realizado para el “diseño y construcción de los emisarios submarinos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Nueva Darsait y de la estación de bombeo de Auzaibah” ya que, al tratarse de un trabajo académico, no se dispone de los medios necesarios para realizar los ensayos requeridos.

Los resultados de este estudio geotécnico se consideran como válidos debido a la proximidad existente entre la zona de ejecución del estudio y la zona de actuación de este proyecto básico.



1. Localización pozos de sondeo

El emplazamiento del pozo se sitúa en la costa de Auzaibah, a aproximadamente 5 km de la desaladora de Al-Ghubrah, en las coordenadas:

Longitud	Latitud
23°36'11.86"N	58°22'39.62"E



Figura 1: pozo de sondeo



2. Pruebas de campo

Para posibilitar los ensayos del estudio geotécnico se realizó un pozo de sondeo de diámetro 101mm con una profundidad de perforación de 10m.

El pozo se perforó empleando un taladro de oruga C6 XP con cabeza rotativa de Casagrande. La unidad de perforación estaba equipada con bomba de presión hidráulico que emplea la circulación de suspensión de bentonita.

3.1. Prueba de penetración estándar (SPT)

Es un ensayo realizado para determinar la resistencia del suelo a la penetración. Consiste en contar el número de golpes necesarios para la introducción de un muestreador a una determinada profundidad.

Se trata de un muestreador estándar con un diámetro externo de " 50 ± 1 mm", impulsado por una maza con un peso de 63,5 kg cuyo impulso es la caída por gravedad desde una altura de 0,76m.

El ensayo se realiza a partir de cierta profundidad del pozo perforado, que debe limpiarse adecuadamente antes de comenzar el ensayo.

La cuchara de cilindro partido se ubica al fondo del pozo, se introduce hasta una distancia de 450 mm, y se cuentan los golpes para cada 75 mm de penetración. Al final de la introducción, la cuchara se retira, y la muestra extraída se conserva.

La distancia de penetración es el número de golpes (N) necesarios para introducir la cuchara para los últimos 300 mm de penetración.

La resistencia a la penetración durante los primeros 150 mm de penetración se ignora ya que se considera que el suelo ha sido alterado por la acción de la perforación del pozo.

Este ensayo de penetración SPT estándar se realizó de acuerdo con la normativa British Standard BS 1377: Parte 9: 1990, 3,3; "Métodos de ensayo para suelos para propósitos de ingeniería civil".

Profundidad SPT (m)	Número de golpes SPT (N)
0,50	32
2,00	45
3,50	47
5,00	>50
6,50	>50

Tabla 1: Ensayo SPT



3.2. Ensayo de permeabilidad

Se realizaron tres ensayos de permeabilidad in situ, LeFranc, en la ubicación del pozo perforado a diferentes profundidades para determinar el coeficiente de permeabilidad (K).

Al final de este punto se muestra una tabla resumen de los resultados del ensayo.

3.2.1. Método de la carga variable creciente

Este método consiste en dejar fluir el agua dentro del pozo, midiendo la tasa de cambio en el nivel del agua a medida que asciende, hasta que el ascenso del nivel del agua en el pozo se reduzca a valores pequeños. Los intervalos de lectura varían de acuerdo a la permeabilidad del suelo y nunca son menores a 5 minutos.

Toma 1

$$F = \frac{2\pi L}{\log_e \left[(L/D) + \sqrt{1 + (L/D)^2} \right]}$$

F	210.2579
----------	-----------------

$$K = \frac{A}{F \cdot T}$$

D (cm)	A (cm ²)	F	T1 (sec)	K (cm/sec)
10.1	80.078	210.26	14130	2.70E-05

intervalo (mins)	profundidad	altura	Ht/Ho
0,00	0	3,6	1
1,00	0,032	3,57	0,99111
2,00	0,059	3,54	0,98361
3,00	0,081	3,52	0,9775
4,00	0,104	3,5	0,9711
5,00	0,123	3,48	0,965833
10,00	0,25	3,35	0,93055
15,00	0,34	3,26	0,90556
20,00	0,42	3,18	0,8833
30,00	0,55	3,05	0,84722
40,00	0,67	2,93	0,8138
50,00	0,79	2,81	0,78055
60,00	0,91	2,69	0,74722

Tabla 2 Ensayo carga variable:

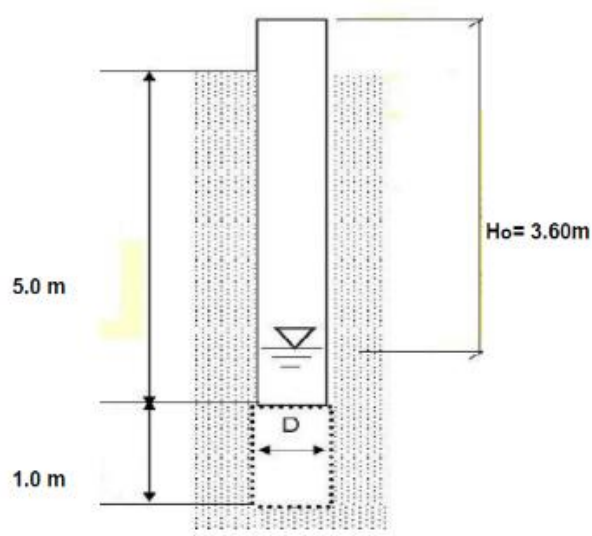


Figura 2: pozo de sondeo



Toma 2

$$F = \frac{2\pi L}{\log_e \left[\frac{(L/D) + \sqrt{1 + (L/D)^2}}{1} \right]}$$

F	210.2579
----------	-----------------

$$K = \frac{A}{F \cdot T}$$

D (cm)	A (cm ²)	F	T1 (sec)	K (cm/sec)
10.1	80.078	210.26	9650	3.95E-05

intervalo (mins)	profundidad	altura	Ht/Ho
0,00	0	4,3	1
1,00	0,04	4,26	0,99069
2,00	0,07	4,23	0,98372
3,00	0,11	4,19	0,9744186
4,00	0,16	4,14	0,9627
5,00	0,19	4,11	0,9558
10,00	0,39	3,91	0,9093
15,00	0,57	3,73	0,8674
20,00	0,75	3,55	0,8255
30,00	0,83	3,47	0,80697
40,00	0,89	3,41	0,793
50,00	0,95	3,35	0,779
60,00	1,02	3,28	0,7627
70,00	1,09	3,21	0,7465

Tabla 3: Ensayo carga variable 2

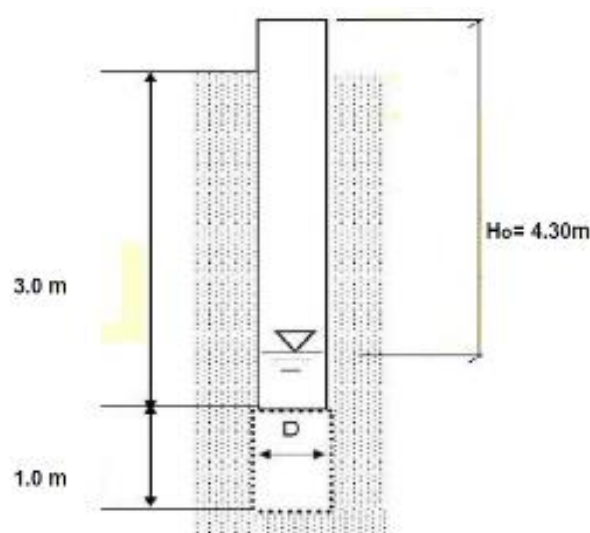


Figura 3: Ensayo de carga constante

3.2.2. Ensayo de carga constante

El método de carga constante se utiliza en aquellos suelos donde los valores de permeabilidad son altos.

Son de interés para el caso de materiales como las arenas o gravas, en donde la extracción de muestras inalteradas para realizar experiencias en laboratorio se torna imposible o muy dificultosa.

En este método el agua es añadida a la perforación en una proporción suficiente como para mantener un nivel de agua constante cercano o en el borde del agujero, por un período no menor a 10 minutos. El agua entrante debe medirse. Las anotaciones deben incluir el gasto de agua a los 5 minutos de haberse iniciado el ensayo y en intervalos de 5 minutos hasta que la variación de cantidad de agua ingresada sea nula (caudal constante).



Las pruebas descritas se realizan a medida que se avanza en la perforación, cada vez que se alcanza el nivel en donde quiere realizarse el estudio, utilizando en dichas perforaciones agua limpia a los fines de evitar la formación de filtros u obstrucción de poros por presencia de sedimentos y eliminando dentro de las mismas todo el material alterado, a través de la utilización de equipo adecuado.

Debe tenerse presente tomar nota de los siguientes datos, obtenidos en el momento del ensayo:

- Profundidad desde la superficie del terreno hasta el nivel freático antes y después del ensayo.
- Diámetro interno de la perforación.
- Profundidad de la perforación bajo la superficie.
- Longitud de la perforación en la sección estudiada.
- Diámetro de la perforación, por debajo del caño de recubrimiento (caño camisa).
- Profundidad desde el fondo del pozo hasta el extremo superior del caño de recubrimiento.
- Profundidad desde el nivel de agua hasta el borde del caño camisa.
- Descripción del material testado.

Ensayo carga constante

intervalo	Volumen	Q	K
mins	litros	Cm3/sec	cm/sec
1	49,5	8,25E+02	4,65E-01
1	60,48	1,01E+03	5,68E-01
1	55,44	9,24E+02	5,21E-01
1	61,99	1,03E+03	5,82E-01
1	50,9	8,48E+02	4,78E-01
2	99,9	8,33E+02	4,69E-01
2	87,3	7,28E+02	4,10E-01
2	94,5	7,88E+02	4,44E-01
2	98,1	8,18E+02	4,61E-01
2	100	8,40E+02	4,74E-01
5	231,84	7,73E+02	4,36E-01
5	270,144	9,00E+02	5,08E-01

Tabla 4: Ensayo de carga constante

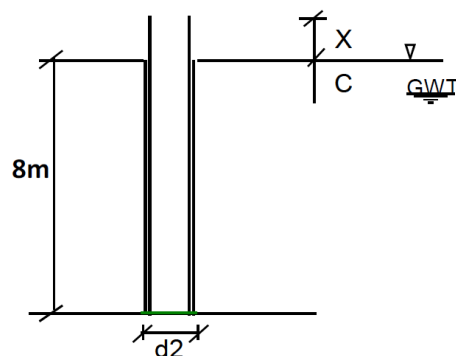


Figura 4: Ensayo de carga constante

Resultado de los ensayos

Profundidad	Tipo de prueba	K Cm/sec
3-4m	Carga variable	3.95x10-5
5-6m	Carga variable	5.7x10-5
7-8m	Carga constante	4.86x10-1

Tabla 5: Resultado de los ensayos



3. Ensayos de laboratorio

Con el fin de determinar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales de tierra, se realizó un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras de suelo seleccionados obtenidos durante el trabajo de campo. La prueba ha sido realizada en conformidad con las Normas y ASTM británico pertinentes, con las especificaciones y cantidades de prueba estándar.

3.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo son de ayuda para verificar la clasificación visual y se pueden usar como una guía para predecir el comportamiento geotécnico, y mecánica del suelo. Las siguientes pruebas se llevaron a cabo en suelos tanto cohesivos, como no cohesivos.

3.1.1. Análisis Granulométrico

El objetivo de este ensayo es la obtención de la distribución por tamaño de partículas de la muestra de suelo, utilizando una serie tamices normalizados y numerados, colocados de forma que se retenga en cada tamiz la proporción de suelo cuyo tamaño sea mayor que los huecos del tamiz. De esta forma se puede clasificar las proporciones de la muestra en grava, arena o finos (arcillas o limos), según su tamaño.

Se llevó a cabo el ensayo para ocho muestras:

- El contenido de grava varió entre 7 a 42% con un promedio de 41%,
- El contenido de arena varió entre el 11 al 54% con promedio 41%,
- Y, el contenido de limo y arcilla variado entre 4% y 32% con un promedio de 18,50%.

Distribución granulométrica de partículas		
Grava %	Arena%	Limos/arcillas%
42	54	4
21	47	32
28	49	23
39	46	15
87	11	2
7	47	46
66	29	5
39	51	10

Tabla 5: Distribución granulométrica



3.1.2. Límites de Atterberg

Este ensayo se lleva a cabo para conocer la plasticidad de una muestra de suelo. Para ello se calculan los límites líquido, plástico y de retracción de la muestra. Los límites de Atterberg determinan la humedad a partir de la cual un suelo se comporta como un lodo (en el caso del líquido), o permanece en estado plástico (en el caso del plástico).

Se realizaron tres pruebas de límites Atterberg en muestras de suelo recogidas de la perforación.

- El límite líquido varió entre 43 y 54% con un promedio de 47%.
- El límite plástico varió entre 28 y 23% con un promedio de 30%.
- El índice de plasticidad varió entre 15 y 21% con un promedio de 17%.

Límites de Atterberg			
Profundidad (m)	LL	LP	IP
1.5-1.8	43	28	15
2.5-3	54	33	21
3-4	44	29	15

Tabla 6: Límites de Atterberg

3.1.3. Ensayo de resistencia al corte

El objetivo de los ensayos de resistencia al corte, es definir la resistencia a fatigas y deformaciones de una muestra de suelo. De esta forma se intenta simular la aplicación de cargas en terreno.

Para conocer esta resistencia, el instrumento más utilizado, es una caja dividida en dos mitades, dentro de la cual se coloca la muestra. Posteriormente se le aplica una carga que provoca el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.

Se realizó un ensayo para la fuerza de corte directo en muestras recogidas de los pozos de sondeo.

*El resultado de C fue 20KPa con un ángulo de fricción interna de $\phi = 32^\circ$

3.2. Los análisis químicos de la muestra de suelo

El deterioro de la base de hormigón puede ocurrir como resultado de diferentes procesos físicos y químicos que tienen lugar. También puede aumentar por la presencia del sulfato y cloruros en la base. El sulfato y cloruros afectan a la durabilidad del hormigón por la agresión química del sulfato en ciertos componentes del hormigón. Por



otro lado, la corrosión del acero, que tiene lugar por el cloruro, provoca cambios de volumen en el acero que finalmente genera fisuras recubrimiento de hormigón.

Se llevaron a cabo análisis químicos para muestras de suelo con el fin de determinar el sulfato, contenidos de cloruro, así como el valor pH.

3.2.1. El contenido de cloruro y el contenido orgánico

Según la guía CIRIA del hormigón en la región del Golfo se considera que un exceso del 5% del contenido de cloruro en el terreno o de las aguas subterráneas puede tener un efecto significativo en el refuerzo, donde no se proporciona la cubierta protectora adecuada. Si se diera el caso de un alto contenido de cloruro en el terreno, el uso de cemento resistente a sulfatos debe ser reemplazado con el cemento Portland ordinario para el hormigón de cemento.

Se realizaron análisis químicos de muestras de agua y del total de sólidos disueltos para muestras de aguas subterráneas recogidas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Profundidad (m)	Sulfato soluble (g/l)	Cloruros %CL	pH	Contenido orgánico	Sólidos disueltos mg/l
0.95 – 2	1,70	0,33	7,8	<0,1	-
5 - 6	0,2	0,05	8	0,1	-
Muestra de agua	0,33	1,93	8,1	-	31433

Tabla 7: Resultados de análisis químico



4. Las condiciones del subsuelo y la capa freática

La formación subsuperficial geotécnica en el sitio se compone principalmente de seis capas como se ilustra a continuación:

- 1 Arena densa, de color pardo amarillento, ligeramente limosa, muy áspera, con grava ocasional. (A partir de 0,0 m a 1,0 m)
- 2 Arena Densa, de color pardo amarillento, muy arcillosa limosa, muy áspera con grava ocasional. (A partir de 1,0 m a 4,0 m)
- 3 Grava muy densa, de color pardo amarillento a gris claro, ligeramente arenosa limosa. (De 4,0 a 5,0 m)
- 4 Arena muy densa, de color pardo amarillento a gris claro, muy arcillosa, limosa y áspera. (A partir de 5,0 m a 7,0 m)
- 5 Grava marrón amarillento, limoso arcilloso y muy arenosa. (A partir de 7,0m a 9.0m)
- 6 Arena marrón, limosa y muy áspera. (A partir de 9,0m a 10.0m)



5. SISMICIDAD

En el proceso constructivo de obras marítimas, se deben tener en cuenta los efectos sísmicos que se podrían dar sobre estas. En este caso se debe tener en cuenta en lo que corresponde a vida útil del emisorio, sin embargo, para el proceso constructivo no se contempla.

Muscat está expuesto a un riesgo sísmico inducido por la actividad sísmica de la costa iraní. La obra proyectada está ubicada en la Península Árabe, identificada como la placa de Arabia rígida, que es una zona sin importancia sísmica a nivel local. No obstante, puede ser necesario el diseño sísmico de estructuras no enterradas en el estado de servicio para un nivel de actividad sísmica baja.

La aceleración sísmica horizontal básica corresponde a un sismo de baja probabilidad de ocurrencia, asociado a un periodo de retorno de 475 años.

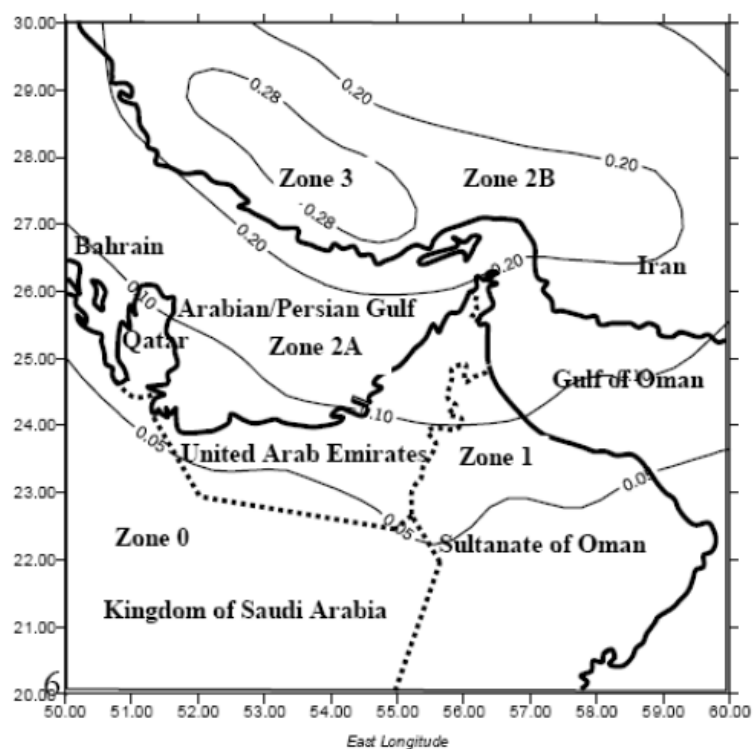


Figura 5: Mapa sísmico de la zona de Emiratos Árabes

Los parámetros para el cálculo asociado a la aceleración sísmica horizontal son:

- Zona sísmica = 1
- $Z = 0,075$
- Factor de importancia = 1,25
- Coeficiente de suelo: Coeficiente asociado a la zona D