



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

---

---

**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA  
RECIPROCANTE EN UNA BATERIA DE SEPARACION  
DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA  
TABASCO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

CESAR MARTINEZ BURGOS

DIRECTOR: ING GABRIEL RUIZ GONZALEZ



MEXICO D.F.

MAYO 2012.

# AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta dedicado a las personas que a lo largo de mi vida me han apoyado en mi formación profesional:

MIS PADRES AMADA Y MARIO:

Por los tesoros mas valiosos que los padres pueden dar a sus hijos; un hogar feliz y la oportunidad de ser universitario, para superar los retos de la vida.

EDGAR:

Por dejar trazado el camino a seguir, con dignidad y firmeza se deben pelear todas las batallas hasta el final, hasta el último momento.

MAIRA BERENICE Y KAREN:

Por la comunicación y apoyo que siempre nos tendremos y por compartir nuestros sentimientos, proyectos, logros y tropiezos.

MI ESPOSA JOHALLI:

Por ser el muelle donde acallar y fomentar el deseo de superación y triunfo en la vida.

A MIS PROFESORES:

Por su valioso tiempo y experiencia.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A MI DIRECTOR DE TESIS:

Por su apoyo, confianza y ser la luz en el túnel.

A LA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS:

Gracias.

Por mi raza hablara el espíritu.



# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1: ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
1.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO.	4
1.2. TIPO DE ESTRUCTURA Y DESTINO.	6
1.3. UBICACIÓN GENERAL.	7
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.	9
1.5. DATOS GENERALES DE DISEÑO POR SISMO.	10
1.6. NORMAS Y ESPECIFICACIONES.	12
1.7. REPORTE FOTOGRAFICO.	13
<b>CAPITULO 2: DESARROLLO DE ESTUDIO GEOTECNICO</b>	<b>17</b>
2.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.	17
2.1.1. RECONOCIMIENTO DEL SITIO.	17
2.1.2. EXPLORACIONES.	17
2.2. SONDEOS.	19
2.2.1. PENETRACIÓN ESTÁNDAR CON TUBO DE PARED DELGADA.	19
2.3. PRUEBAS DE LABORATORIO.	26
2.3.1. DENSIDAD DE SÓLIDOS.	26
2.3.2. LIMITES DE PLASTICIDAD.	27
2.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS.	40
2.3.4. PRUEBA TRIAXIAL RÁPIDA NO CONSOLIDADA NO DRENADA (UU).	53
2.3.5. PRUEBA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL.	59
2.4. ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO.	62
<b>CAPITULO 3: ANALISIS Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN</b>	<b>66</b>
3.1. LIMITES DE MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA.	66
3.2. CRITERIO DE ANÁLISIS DINÁMICO.	72
3.3. ACCIONES.	81
3.4. ESTADO LIMITE DE FALLA (LOSA DE CIMENTACIÓN).	84
3.5. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (LOSA DE CIMENTACIÓN).	86
3.6. ESTADO LIMITE DE FALLA (PILOTES DE PUNTA).	93
3.7. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (PILOTES DE PUNTA).	98
3.8. ESTADO LIMITE DE FALLA (PILOTES DE FRICCIÓN).	101
3.9. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (PILOTES DE FRICCIÓN).	102
3.10. ESTADO LIMITE DE FALLA EN CONDICIONES DINÁMICAS.	104
3.11. REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DINÁMICAS.	107
3.12. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.	110
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>115</b>

# INDICE DE FIGURAS

FIGURA.- 1.1 VISTA EN PLANTA DEL EQUIPO DE BOMBEO DE TRASIEGO.....	4
FIGURA.- 1.2 ALZADO DEL EQUIPO DE BOMBEO DE TRASIEGO .....	5
FIGURA.- 1.2 FOTO DE UN EQUIPO DE BOMBEO SIMILAR.....	5
FIGURA.- 1.3 DATOS DE LOCALIZACIÓN. ....	7
FIGURA.- 1.4 UBICACIÓN EN EL TERRITORIO NACIONAL. ....	8
FIGURA.- 1.6 ESPECTRO DE DISEÑO OBTENIDO POR EL PROGRAMA PRODISIS. ....	10
FIGURA.- 1.7 FOTO 1 VISTA GENERAL DEL TERRENO DE PROYECTO. ....	13
FIGURA.- 1.8 FOTO 2 ALTURA DE VEGETACIÓN POCO MAYOR A LOS DOS METROS. ....	13
FIGURA.- 1.9 FOTO3 TIRANTE DEL AGUA ENTRE 50 Y 70 CM EN ALGUNOS SONDEOS. ....	14
FIGURA.- 1.10 FOTO 4 Balsa UTILIZADA PARA EL TRASLADO ENTRE ALGUNOS SONDEOS. ....	14
FIGURA.- 1.11 FOTO 5 DESPALME DE VEGETACIÓN. ....	15
FIGURA.- 1.12 FOTO 6 LUGAR DEL SONDEO SPE10. ....	15
FIGURA.- 1.13 FOTO 7 EQUIPO LONG YEAR MODELO 24. ....	16
FIGURA.- 1.14 FOTO 8 SONDEO SPE10 A 35.40 M.....	16
FIGURA.- 2.1 LOCALIZACIÓN DE SONDEOS.....	17
FIGURA.- 2.2 ESQUEMA TÍPICO DE UN APARATO TRIAXIAL.....	53
FIGURA.- 2.3 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN. ....	58
FIGURA.- 2.4 CURVA DE COMPRESIBILIDAD. ....	61
FIGURA.- 3.1 LÍMITES GENERALES DE AMPLITUDES .....	69
FIGURA.- 3.2 LÍMITES MÁXIMOS PARA MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES. ....	70
FIGURA.- 3.3 MODOS DE MOVIMIENTOS DE CIMENTACIONES DE MAQUINAS. ....	74
FIGURA.- 3.4 CALCULO DE LA CONSTANTE DE RESORTE. ....	78
FIGURA.- 3.5 RADIO EQUIVALENTE EN CIMENTACIONES RECTANGULARES.....	78
FIGURA.- 3.6 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO. ....	79
FIGURA.- 3.7 RELACIÓN ENTRE EL FCD Y LA RELACIÓN DE FRECUENCIAS.....	80
FIGURA.- 3.8 CALCULO DE F1 Y F2 EN LAS FÓRMULAS DE STEINBRENNER. ....	87
FIGURA.- 3.9 CONDICIONES DEL SUBSUELO. ....	88
FIGURA.- 3.10 CALCULO DE $W_0$ EN ÁREA RECTANGULAR UNIFORMEMENTE CARGADA. ....	89
FIGURA.- 3.11 GRAFICA DE PRESIONES. ....	90
FIGURA.- 3.12 CONDICIONES DEL SUBSUELO PARA PILOTES DE PUNTA. ....	93
FIGURA.- 3.13 CORRELACIÓN $N$ Y $\phi$ .....	96
FIGURA.- 3.14 VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE $C_p$ .....	99
FIGURA.- 3.15. CONDICIONES DEL SUBSUELO PARA PILOTES DE FRICCIÓN. ....	101

## INTRODUCCIÓN

Las estructuras de cimentación transmiten al suelo de desplante los sistemas de cargas y peso propio que presentan las superestructuras así como el peso propio de la misma subestructura.

Las cimentaciones para equipos o maquinaria que generan sistemas de cargas dinámicas se distinguen de otras subestructuras por requerir procedimientos de análisis y comprobaciones adicionales en su diseño.

En términos económicos el costo de una estructura de cimentación para equipo en relación con el costo del propio equipo con accesorios e instalación, representa un pequeño porcentaje, sin embargo, la falla de la estructura de cimentación por causa de un diseño incorrecto o construcción defectuosa puede generar importantes pérdidas económicas, he aquí .la importancia de hacer los procedimientos necesarios para obtener una estructura que responderá adecuadamente a las condiciones críticas.

**Objetivo General:** Determinar el diseño de la cimentación desde el punto de vista geotécnico para un sistema de bombeo de tipo reciprocante, evaluando las condiciones críticas para falla y servicio así como el comportamiento dinámico de la estructura.

**Objetivo personal:** Resaltar la importancia de hacer las pertinentes consideraciones acerca de las características del sistema de cargas al cual se somete la estructura de cimentación de este equipo y en forma general la metodología para lograr un óptimo diseño de subestructuras que soporten maquinaria que genere cargas dinámicas a las cimentaciones y estructuras colindantes que para tales casos se realizan análisis y comprobaciones adicionales.

**Alcance:** Determinar si la estructura propuesta es segura en las condiciones críticas para falla y servicio así como evaluar la estructura propuesta con los fundamentos teóricos de la "Teoría del semi-espacio elástico" y determinar si cumple la normatividad aplicada al caso para su comportamiento dinámico.

**Utilidad:** actualmente el ingeniero geotécnico recién egresado puede en algún momento enfrentar la determinación de alguna subestructura sometida a condiciones análogas a las presentadas en este trabajo.

Dichas condiciones pueden ser generadas por diversos tipos de maquinaria como lo pueden ser: equipos de bombeo, generadores, transformadores, etc. Aunque este trabajo está enfocado a un caso específico en particular, se puede hacer una analogía en la metodología del mismo para aplicarlo a otros equipos que indudablemente tendrán diferencias tanto en su funcionamiento como en los sistemas de cargas que generan.

En este punto es donde el diseñador puede establecer la analogía más simple representada por un sistema de un grado de libertad que consta de un elemento de masa, un resorte y un amortiguador, conociendo la masa, la constante de resorte y la relación de amortiguamiento, la respuesta del sistema puede determinarse para cualquier tipo de sollicitación dinámica.

El problema principal radica en la determinación de valores confiables de la masa, la constante de resorte y la relación de amortiguamiento, Por lo que el uso de la “Teoría del Semi-Espacio Elástico” determina valores más confiables en la evaluación de estos parámetros.

Si bien no se muestran todos los procedimientos para tratar los seis tipos de movimientos que puede presentar una subestructura sometida a vibraciones forzadas con amortiguamiento, el procedimiento descrito se puede aplicar a los demás casos, es decir, primeramente se busca que la estructura sea segura ante condiciones de falla y servicio y después que se encuentre dentro de límites marcados por la normatividad que aplique al caso, en sus parámetros de comportamiento dinámico.

Este trabajo puede ser una guía para tener una visión general e introductoria sobre el tema de las cimentaciones para maquinaria, por lo tanto sirve a estudiantes que deseen especializarse en geotecnia y en general a profesionales en diseño geotécnico y estructural.

Por ultimo cabe mencionar que la eficiencia del diseñador se traduce en una reducción de los tiempos de análisis y diseño utilizados, por lo que el empleo de algoritmos de análisis y programas computarizados para la simulación de modelos tridimensionales representativos de las condiciones reales para la obtención y/o comprobación de resultados, son herramientas que desarrolla con la experiencia y la continua actualización de su medio.

A continuación se hace una breve descripción del contenido del trabajo:

**Capítulo 1:** Se hace una descripción detallada del equipo, su ubicación general, geografía de la zona, requerimientos y especificaciones de proyecto, y en general los datos descriptivos de la zona que serán útiles en el diseño de la cimentación.

**Capítulo2:** Posteriormente se hace referencia a la exploración del subsuelo, con la que se obtiene una descripción detallada en términos estratigráficos conforme al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), así como las pruebas de laboratorio efectuadas para la obtención de parámetros que serán críticos en el diseño de la cimentación.

**Capítulo3:** Teniendo la información necesaria tanto del equipo como del suelo y las características requeridas de la estructura se hace el análisis de la cimentación donde queda establecido el criterio de diseño y las revisiones necesarias correspondientes a los estados límite de falla y de servicio incluyendo el análisis del comportamiento dinámico de la estructura y una descripción del respectivo procedimiento de construcción.

**Finalmente,** se enlistan las conclusiones del trabajo así como las recomendaciones que pueden implementar las personas que por primera ocasión tengan que realizar el diseño de una cimentación que particularmente esté sometida a vibraciones forzadas con amortiguamiento.

Cesar Martinez Burgos.



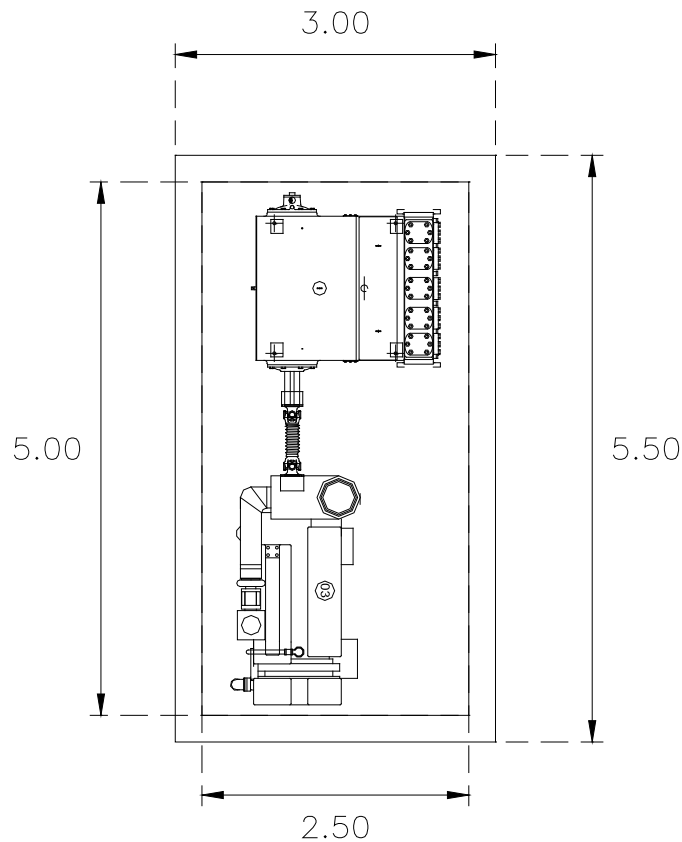
## CAPITULO 1: ANTECEDENTES

### 1.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO

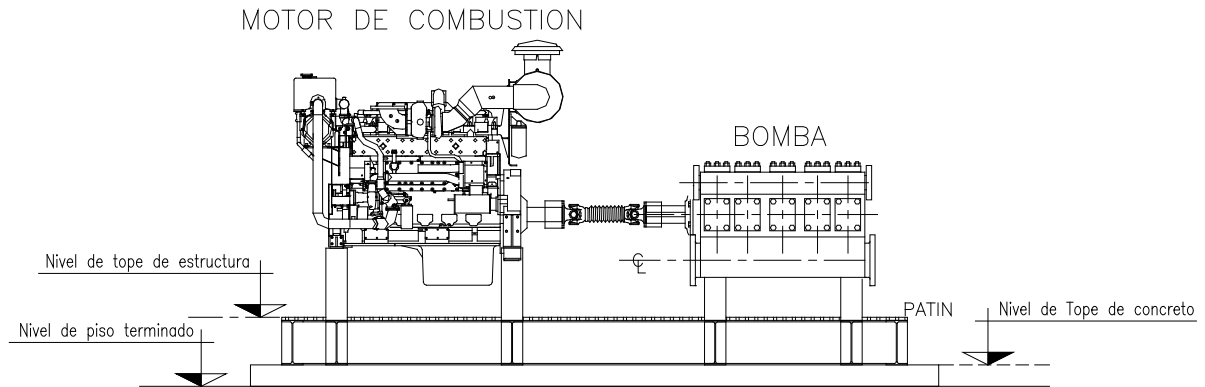
El sistema de bombeo de trasiego, está compuesto de dos masas principales que son la bomba reciprocante y el motor de combustión interna, mediante este sistema se enviarán los líquidos almacenados en un Tanque de Medición Atmosférico hasta un Cabezal General de Descarga de Aceite.

La bomba tendrá la capacidad de manejar 10.0 MBPD [millones de barriles por día] x 1.1 de líquidos (Mezcla Aceite-Agua), a una presión de descarga máxima de 65 Kg/cm<sup>2</sup>man.

Del proyecto arquitectónico y el arreglo de tuberías se tiene que el equipo esta montado en un patín estructural (skid) de 5 m de largo por 2.5 m de ancho, y una base estructural de concreto de 5.5 m de largo por 3 m de ancho, y la cual será considerada como el área de desplante del equipo en lo posterior del análisis.



**Figura.- 1.1 Vista en planta del equipo de bombeo de trasiego.**



**Figura.- 1.2 Alzado del equipo de bombeo de trasiego**

Se sabe que el sistema de bombeo montado en el patín estructural tendrá un peso alrededor de 12 ton incluyendo los accesorios correspondientes y el cual se tomara como peso de diseño del equipo en lo posterior del análisis.

El límite de vibración sin filtrar para la bomba debe ser máximo de 6.3 mm/s (0.25 pulg/s) velocidad pico.



**Figura.- 1.2 Foto de un equipo de bombeo similar.**



## 1.2. TIPO DE ESTRUCTURA Y DESTINO

Se trata de un predio que tendrá un mejoramiento por medio de un terraplén y sobre el cual se desplantaran diversas edificaciones entre las cuales se encuentra la cimentación para el equipo de bombeo de trasiego.

Del manual de diseño de obras civiles de la comisión federal de electricidad en su tomo de diseño por sismo edición 2008, según su destino la estructura se clasifica como perteneciente al grupo A, ya que su falla estructural representaría un peligro significativo por contener sustancias inflamables además de las consecuentes pérdidas económicas.

Las dimensiones en planta de la cimentación han sido definidas por el proyecto arquitectónico.

Por normatividad del cliente se requiere un mínimo de 0.30 m sobresalientes del Nivel de piso terminado, de la estructura de concreto de cimentación, además en la misma reglamentación se requiere un mínimo de 0.30 m como profundidad de desplante de la propia estructura.

Tomando las dimensiones mínimas requeridas por las normas señaladas se tiene un espesor mínimo de 0.60 m que será de aquí en adelante igual al espesor de diseño de la estructura de cimentación.

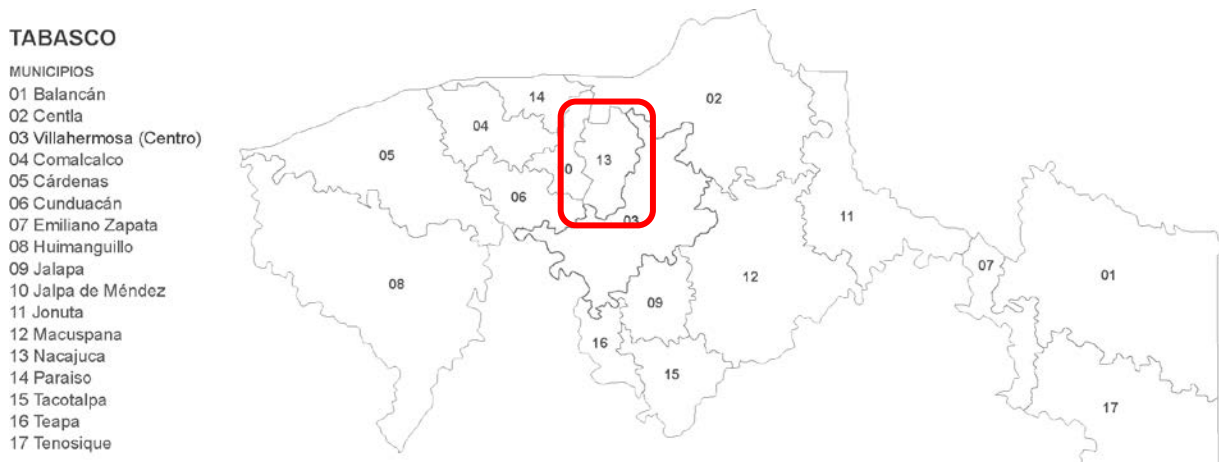
Por lo que las dimensiones mínimas requeridas para la estructura son 3 metros de ancho por 5.5 metros de largo por 0.60 metros de espesor que conforman la losa que se analizara en las futuras revisiones.

### 1.3. UBICACIÓN GENERAL

La ciudad de Nacajuca es cabecera municipal del municipio homónimo de Nacajuca el cual es una de las cabeceras municipales con menor población del Estado de Tabasco ya que cuenta con 8,213 habitantes; sin embargo, cuenta también con una de las mayores concentraciones de población indígena que habla maya - chontal en todo el estado.

La ciudad está ubicada a solo 24 km al noroeste de la ciudad de Villahermosa capital del estado y a 5 km al sur de la ciudad de Jalpa de Méndez, entre los paralelos 18° 09" de latitud Norte y 93° 01" de longitud Oeste.

Colinda al Norte con los municipios de Jalpa de Méndez, Centla y Centro; al Este con el municipio de Centro; al Sur con los municipios de Centro y Cunduacán; y al Oeste con los municipios de Cunduacán y Jalpa de Méndez.



ESTADO:	TABASCO
UBICACIÓN:	18°09'05"N 93°01'06"O
ALTITUD:	10 MSNM
POBLACION (2005):	8213 HABITANTES
GENTILICIO:	NACAJUQUENSE
HUSO HORARIO:	TIEMPO DEL CENTRO, UTC-6
CODIGO POSTAL:	86220

**Figura.- 1.3 datos de localización.**

El sitio donde se proyecta la batería de separación de hidrocarburos es un predio pantanoso donde prevalece el monte con altura por arriba de los 2 metros, con desnivel inapreciable, donde el nivel freático varía de 1.50 metros de profundidad hasta por arriba del nivel del terreno natural ya que es una zona inundable dependiendo de la precipitación y la temporada fluvial. Cabe aclarar que no se tiene la presencia de árboles en esta zona.



**Figura.- 1.4 Ubicación en el territorio nacional.**

#### **1.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA**

La extensión territorial del municipio es de 488.37 kilómetros cuadrados, los cuales corresponden al 2.1 % respecto del total del Estado., ocupa el 13° lugar en la escala de extensión municipio.

Su división territorial está conformada por: 1 ciudad., 11 pueblos, 28 Rancherías, 14 ejidos, 3 congregaciones y 3 fraccionamientos rurales.

En el municipio se ubican 6 centros de desarrollo regional en los que se desarrollan la mayoría de las actividades económicas y sociales, que son: Lomitas, Sandial, Taxco, Oxiacaque, Guatacalca y Mazateupa.

Este municipio es de relieve completamente bajo, careciendo de elevación alguna, ésta característica hace que el municipio sea uno de los que tienen mayor superficie inundable en el Estado Tiene una altitud de 10 Metros Sobre el Nivel del Mar.

El territorio está regado por una gran cantidad de ríos, arroyos y lagunas. Los ríos de mayor importancia son: Carrizal, Samaria, Cunduacán, Nacajuca, González, Calzada, San Cipriano y Jahuactal.

El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 26.4° C siendo la máxima media mensual en mayo de 30.8° C y la mínima media en enero con 22.4° C la máxima y la min. Absoluta alcanzan los 44° C y 12° C respectivamente.

El régimen de precipitación se caracteriza por un total de caída de agua de 1,707.2 milímetros con un promedio máximo mensual de 735.8 milímetros en el mes de septiembre y una mínima mensual de 251.2 milímetros en el mes de abril.

La humedad relativa en promedio anual se estima en 82% con máxima de 85% en enero y febrero, y la min. De 78% en mayo y junio.

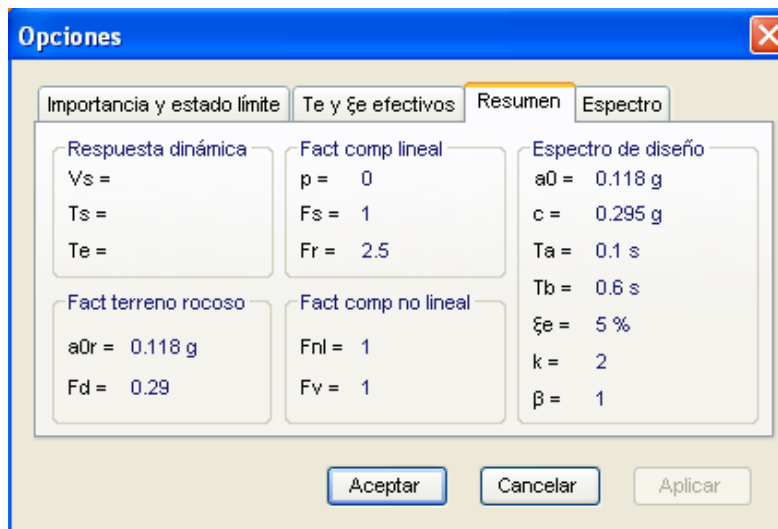
Las mayores velocidades del viento se concentran en los meses de noviembre y diciembre, con velocidades que alcanzan los 32 kilómetros por hora, presentándose en junio y julio, las menores, con velocidades de 20 kilómetros por hora.

## 1.5. DATOS GENERALES DE DISEÑO POR SISMO

Para efectos de este análisis se ha considerado el Manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su tomo de Diseño por sismo, de donde se obtienen los siguientes parámetros:

Clasificación de la construcción según su destino	Grupo A	3.2.2
Clasificación de la construcción según su estructuración	Tipo 13	3.2.3
Zona de regionalización sísmica	Zona B	3.3.1
Clasificación del terreno de cimentación	Tipo II	3.3.2
Coefficiente sísmico básico	$c = 0.295$	PRODISIS
Factor de comportamiento sísmico	$Q = 2$	PRODISIS

Con la última revisión del manual se ha creado un programa de cómputo, llamado PRODISIS, que facilita la obtención del espectro sísmico de diseño; dichos datos se pueden añadir a un modelo tridimensional de análisis para el posterior diseño de los elementos estructurales. Enseguida se muestran los datos obtenidos del programa PRODISIS, para una estructura del Grupo A, localizada en Nacajuca Tabasco.



**Figura.- 1.6 Espectro de Diseño Obtenido por el Programa PRODISIS.**

### CALCULO DEL CORTANTE BASAL Y EL MOMENTO

Ancho de la cimentacion =	3.00 m
Largo de la losa =	5.50 m
espesor de la losa =	0.60 m
peso volumetrico de l concreto clase I =	2.40 Ton/m <sup>3</sup>
Total peso de la losa de cimentacion =	23.76 Ton
Peso del equipo =	12.00 Ton
Carga total =	35.76 Ton

El cortante basal de calcula con la ecuación:

$$V_0 = (c/Q)W_0$$

Donde:

$W_0$ = carga total a nivel de desplante =	35.76 Ton
$c$ = coeficiente sismico basico =	0.295
$Q$ = Factor de comportamiento sismico =	2
Por lo tanto:	
<b>El cortante basal <math>V_0</math> =</b>	<b>5.27 Ton</b>
Altura del NPT al centro de gravedad del equipo =	1.20 m
Espesor de la losa de cimentacion =	0.60 m
<b>Momento por sismo =</b>	<b>9.49 Ton-m</b>



## **1.6. NORMAS Y ESPECIFICACIONES**

El diseño de la cimentación se hizo conforme a los procedimientos marcados por las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el distrito federal.

El diseño estructural de los elementos de concreto se hizo con el manual del instituto americano del concreto, diseño que no se incluye en esta tesis debido a que el diseño estructural de los elementos de concreto es un tema aparte del diseño geotécnico que es el principal tema de esta tesis.

Dado que se trata de una estructura que funcionara en una institución petrolera, se mencionan algunas normas que le competen al diseño geotécnico, y que en particular definen las dimensiones de la estructura.

- Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de cimentaciones (NTC) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) 2004.
- Manual de diseño de obras civiles, Comisión federal de electricidad, diseño por Sismo (MDOC-CFE-SISMO, 2008)
- ACI 318. Instituto Americano del Concreto. Código de Construcción, Requerimientos para concreto Estructural, del comité 318, Edición del año 2008.
- P.2.135.03 Análisis y Diseño de Cimentaciones para Maquinaria, enero 1999. Especificación técnica para proyecto de obras.
- Estudio de Mecánica de Suelos, Junio del 2010.
- NRF-190-PEMEX-2008
- ISO-13710:2004(E)
- NACE-MRO-175
- ISO-15156-3:2003

## 1.7. REPORTE FOTOGRAFICO



***Figura.- 1.7 Foto 1 Vista general del terreno de proyecto.***



***Figura.- 1.8 Foto 2 Altura de vegetación poco mayor a los dos metros.***



**Figura.- 1.9 Foto3 Tirante del agua entre 50 y 70 cm en algunos sondeos.**



**Figura.- 1.10 Foto 4 Balsa utilizada para el traslado entre algunos sondeos.**



**Figura.- 1.11 Foto 5 Despalme de vegetación.**



**Figura.- 1.12 Foto 6 Lugar del sondeo SPE10.**



**Figura.- 1.13 Foto 7 Equipo Long Year modelo 24.**



**Figura.- 1.14 Foto 8 Sondeo SPE10 a 35.40 m.**

## CAPITULO 2: DESARROLLO DE ESTUDIO GEOTECNICO

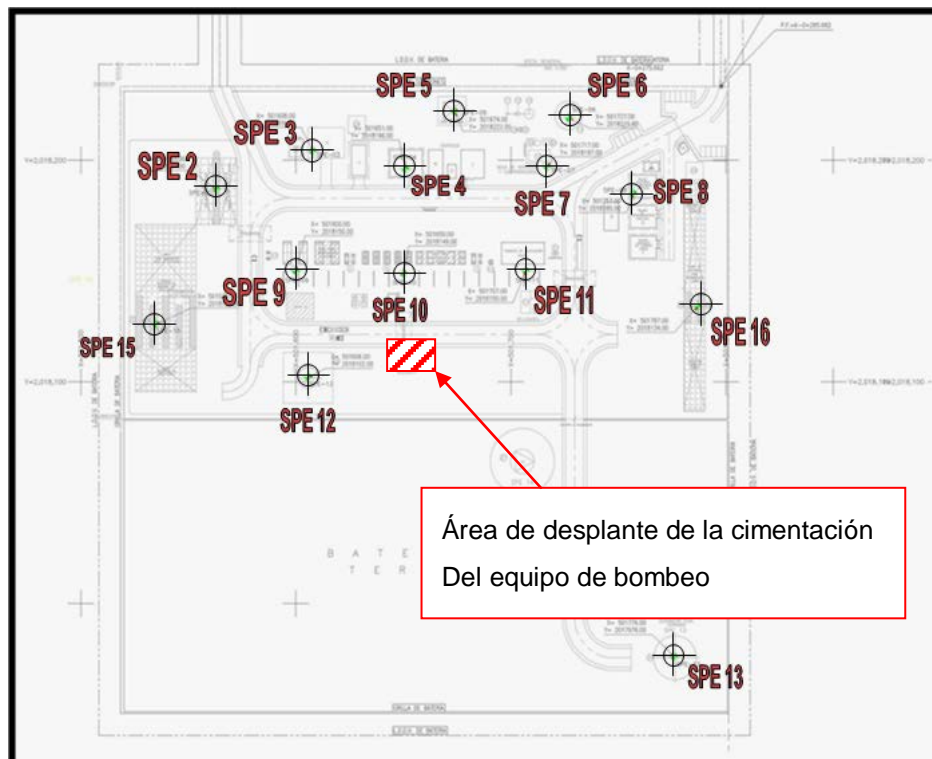
### 2.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

#### 2.1.1. Reconocimiento del sitio

De acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE el predio en el que se desplantará la batería de separación de hidrocarburos "Terra " se encuentra dentro de la zona B de mediana intensidad y para el análisis de la cimentación se considerara un material tipo II.

#### 2.1.2. Exploraciones

Para determinar la secuencia estratigráfica y propiedades físicas del sub-suelo en el área de estudio, se procedió a la elaboración de un programa de exploración geotécnica en donde se incluyó la realización de diecisiete (17) sondeos con prueba de penetración estándar, en los sitios que se indican en la siguiente figura:



*Figura.- 2.1 Localización de sondeos.*

Ubicación de sondeos en batería Terra; en esta área se realizaron en total 14 sondeos hasta una profundidad de 35 metros. Cabe mencionar que los sondeos se realizaron en los lugares donde se desplantaran las principales estructuras de la batería.

- SPE No. 1 (Coordenadas X 501487 Y 2018590).
- SPE No. 2 (Coordenadas X 501563 Y 2018187).
- SPE No. 3 (Coordenadas X 501608 Y 2018204).
- SPE No. 4 (Coordenadas X 501651 Y 2018196).
- SPE No. 5 (Coordenadas X 501674 Y 2018222).
- SPE No. 6 (Coordenadas X 501674 Y 2018222).
- SPE No. 7 (Coordenadas X 501717 Y 2018197).
- SPE No. 8 (Coordenadas X 501757 Y 2018185).
- SPE No. 9 (Coordenadas X 501600 Y 2018150).
- SPE No. 10 (Coordenadas X 501650 Y 2018149).
- SPE No. 11 (Coordenadas X 501707 Y 2018150).
- SPE No. 12 (Coordenadas X 501606 Y 2018102).
- SPE No. 13 (Coordenadas X 501776 Y 2017976).
- SPE No. 15 (Coordenadas X 501535 Y 2018126).
- SPE No. 16 (Coordenadas X 501787 Y 2018134).
- SPE No. 17 (Coordenadas X 503963 Y 2019224).
- SPE No. 18 (Coordenadas X 506839 Y 2019031).

El área donde se desplantara la cimentación del equipo de bombeo tiene al sondeo 10 como el más cercano, por lo que en adelante será el que se tomará como referencia para los datos de cálculo.

## 2.2. SONDEOS

### 2.2.1. Penetración estándar con Tubo de pared delgada

Este sondeo consiste en el empleo de tubos de pared delgada que permite obtener muestras del subsuelo relativamente inalteradas. Para fines prácticos esta técnica debe aplicarse selectivamente para suministrar al laboratorio especímenes en los cuales se determinen las características de resistencia y compresibilidad del suelo que se requieren para el diseño de la cimentación.

Para realizar cada uno de los sondeos fue necesario emplear una máquina de perforación Long Year modelo 24, provista de una bomba de 1 pistón marca Köhler, así como las herramientas y accesorios tales como barras de perforación, cables, llaves tipo steelson, etc.

Este equipo fue operado por una brigada de perforación constituida por un operador, 3 ayudantes y un ingeniero supervisor, con los conocimientos necesarios para la correcta ejecución de las siguientes actividades:

- Supervisar que se utilizara la correcta técnica de perforación y muestreo
- La identificación de todas las muestras de suelos obtenidas siguiendo los lineamientos SUCS
- La elaboración del registro de campo de cada sondeo
- La supervisión del correcto almacenamiento, manejo e identificación de las muestras del suelo
- La coordinación de los trabajos geotécnicos de campo con la supervisión destacada.

Los sondeos se realizaron combinando 2 técnicas de penetración, en donde una masa golpeadora o martinete que pesa 63.5 kg se deja caer constantemente desde una altura de 76.0 cm el cual transmite los impactos a través de una tubería de perforación hasta un penetrómetro de 60.0 cm de longitud llamado de media caña o tubo partido, el cual recupera la muestra del suelo.

El número de golpes 'N' es aquel determinado por la cantidad de impactos necesarios para hacer penetrar los 30 cm intermedios del tubo partido, los cuales nos dan algunos parámetros de resistencia del suelo a partir de la prueba de penetración estándar.



Por otro lado, cuando el suelo se encuentra con una consistencia natural muy dura (sobrepasando los 50 golpes en el hincado de los 30 cm intermedios del tubo Partido), se utiliza el tubo dentado; éste es un tubo que tiene un mayor diámetro en comparación del tubo partido, al cual se le hace un recorte tipo zig - zag en el extremo inferior dando así la facilidad de adquirir muestras de suelo mediante el movimiento rotativo del cabezal de la máquina utilizada, y ejerciendo presión para el hincado de la tubería.

En las exploraciones se llevó un registro de las herramientas de muestreo empleadas, el número de golpes necesario para hincar un muestreador de tubo partido en condiciones estandarizadas (N) y la descripción de campo de las muestras recuperadas.

Las muestras obtenidas representativas del suelo, fueron identificadas y protegidas para su posterior traslado al laboratorio central.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados para cada una de las muestras se encuentran inmediatamente después de su descripción.

Luego del examen y descripción de las muestras, éstas fueron envasadas en las bolsas para protegerlas de la pérdida de humedad, para su traslado al laboratorio.

A continuación se muestran los registros obtenidos en el sondeo No. 10:

**EXPLORACION GEOTECNICA**  
**REGISTRO DE CAMPO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
SONDEO No. SPE 10 COORDENADAS: \_\_\_\_\_  
OPERADOR: \_\_\_\_\_ EQUIPO DE PERFORACION: LONGYEAR-24 NIVEL FREATICO: 0.10 m  
SUPERVISOR: \_\_\_\_\_ BOMBA: KOHLER 1 PISTON PROFUNDIDAD DE PROYECTO: 35.00 m  
FECHA DE INICIO 13 de Mayo de 2010 BARRA DE PERFORACION: AW-NQ PROFUNDIDAD ALCANZADA: 35.00 m  
FECHA DE TERMINACION: 14 de Mayo de 2010 ADEME: BENTONITA Y TUBERIA NW OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD EN METROS (AVANCE)		HERRAMIENTA DE MUESTREO	PENETRACION ESTANDAR NORMA ASTM D-1586.67 No. DE GOLPES EN			presión de hincado kg/cm2	RECUPERACION			MUESTRA No.	DESCRIPCION
INICIAL	FINAL		15	30	15		cm	%	ICR %		
0.00	0.60	TP	1	1	1	24			1	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
0.60	1.20	TP	1	PP	PP	23			2	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
1.20	1.80	TP	1	PP	PP	23			3	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
1.80	2.40	TP	1	PP	PP	26			4	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
2.40	3.00	TP	1	PP	PP	22			5	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
3.00	3.60	TP	1	PP	PP	23			6	ARCILLA COLOR NEGRO CON ABUNDANTES RESTOS DE MATERIAL VEGETAL. PRESENTA CONSISTENCIA MUY BLANDA.	
3.60	4.20	TP	1	PP	PP	20			7	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
4.20	4.80	TP	1	PP	PP	19			8	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
4.80	5.40	TP	1	PP	PP	25			9	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
5.40	6.00	TP	1	PP	PP	23			10	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
6.00	6.60	TP	1	PP	PP	20			11	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
6.60	7.20	TP	1	PP	PP	22			12	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	

TP TUBO PARTIDO TD TUBO DENTADO  
TS TUBO SHELBY DB DOBLE BARRIL  
BD BARRIL DENISON ICR =  $\frac{\text{LONGITUD DE FRAGMENTOS DE ROCA } > 10 \text{ cm}}{\text{LONGITUD RECUPERADA}}$

**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

HOJA 2 DE 5

**EXPLORACION GEOTECNICA  
REGISTRO DE CAMPO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
 SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
 SONDEO No. SPE 10 COORDENADAS: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_ EQUIPO DE PERFORACION: LONGYEAR-24 NIVEL FREATICO: 0.10 m  
 SUPERVISOR: \_\_\_\_\_ BOMBA: KOHLER 1 PISTON PROFUNDIDAD DE PROYECTO: 35.00 m  
 FECHA DE INICIO 13 de Mayo de 2010 BARRA DE PERFORACION: AW-NQ PROFUNDIDAD ALCANZADA: 35.00 m  
 FECHA DE TERMINACION: 14 de Mayo de 2010 ADEME: BENTONITA Y TUBERIA NW OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD EN METROS (AVANCE)		SERIALIDAD DE MUESTRO	PENETRACION ESTANDAR NORMA ASTM D-1586.67 No. DE GOLPES EN			presión de hincado kg/cm2	RECUPERACION			MUESTRA No.	DESCRIPCION
INICIAL	FINAL		15	30	15		cm	%	ICR %		
7.20	7.80	TP	1	PP	PP	21			13	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
7.80	8.40	TP	1	PP	PP	20			14	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
8.40	9.00	TP	1	PP	PP	20			15	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
9.00	9.60	TP	1	PP	PP	21			16	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
9.60	10.20	TP	1	4	3	24			17	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
10.20	10.80	TP	3	6	4	23			18	ARCILLA GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.	
10.80	11.40	TP	8	12	7	25			19	ARENA ARCILLOSA GRIS VERDOSO DE BAJA PLASTICIDAD Y COMPACIDAD MEDIA.	
11.40	12.00	TP	5	10	5	22			20	ARCILLA COLOR GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS. PRESENTA CONSISTENCIA NATURAL FIRME.	
12.00	12.60	TP	8	12	9	20			21	ARCILLA COLOR GRIS VERDOSO CON ALGUNAS CONCHILLAS. PRESENTA CONSISTENCIA NATURAL FIRME.	
12.60	13.20	TP	10	23	14	19			22	ARCILLA GRIS VERDOSO CON VETAS AMARILLENAS DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA MUY FIRME.	
13.20	13.80	TP	6	13	5	20			23	ARCILLA GRIS VERDOSO CON VETAS AMARILLENAS DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA MUY FIRME.	
13.80	14.40	TP	9	21	12	23			24A	ARCILLA COLOR ROSA CON VETAS AMARILLENAS DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA MUY FIRME.	
									24B	ARCILLA LIMOSA COLOR AMARILLO CLARO. MUY FIRME.	

TP TUBO PARTIDO TD TUBO DENTADO  
 TS TUBO SHELBY DB DOBLE BARRIL  
 BD BARRIL DENISON ICR =  $\frac{\text{LONGITUD DE FRAGMENTOS DE ROCA } > 10 \text{ cm}}{\text{LONGITUD RECUPERADA}}$

**EXPLORACION GEOTECNICA**  
**REGISTRO DE CAMPO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
SONDEO No. SPE 10 COORDENADAS: \_\_\_\_\_  
OPERADOR: \_\_\_\_\_ EQUIPO DE PERFORACION: LONGYEAR-24 NIVEL FREATICO: 0.10 m  
SUPERVISOR: \_\_\_\_\_ BOMBA: KOHLER 1 PISTON PROFUNDIDAD DE PROYECTO: 35.00 m  
FECHA DE INICIO 13 de Mayo de 2010 BARRA DE PERFORACION: AW-NQ PROFUNDIDAD ALCANZADA: 35.00 m  
FECHA DE TERMINACION: 14 de Mayo de 2010 ADEME: BENTONITA Y TUBERIA NW OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD EN METROS (AVANCE)		TIPO DE MUESTRO	PENETRACION ESTANDAR NORMA ASTM D-1586.67 No. DE GOLPES EN			presión de hincado kg/cm2	RECUPERACION			MUESTRA No.	DESCRIPCION
INICIAL	FINAL		15	30	15		cm	%	ICR %		
14.40	15.00	TP	10	20	12	20			25	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
15.00	15.60	TP	8	18	9	20			26	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
15.60	16.20	TP	8	20	13	21			27	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
16.20	16.80	TP	10	23	11	20			28	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
16.80	17.40	TD	****	****	****	28			29	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
17.40	18.00	TP	9	21	13	18			30	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
18.00	18.60	TP	9	23	12	18			31	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
18.60	19.20	TP	9	24	18	22			32	ARENA ARCILLOSA COLOR AMARILLO CON VETAS GRIS CLARO. SE ENCUENTRA EN ESTADO SEMICOMPACTA.	
19.20	19.80	TP	6	14	8	21			33	ARENA ARCILLOSA COLOR AMARILLO CON VETAS GRIS CLARO. SE ENCUENTRA EN ESTADO SEMICOMPACTA.	
19.80	20.40	TP	6	18	9	19			34	ARENA ARCILLOSA COLOR AMARILLO CON VETAS GRIS CLARO. SE ENCUENTRA EN ESTADO SEMICOMPACTA.	
20.40	21.00	TP	8	19	10	19			35	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON VETAS NEGRAS, DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
21.00	21.60	TD	****	****	****	15			36	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON VETAS NEGRAS, DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	

TP TUBO PARTIDO TD TUBO DENTADO  
TS TUBO SHELBY DB DOBLE BARRIL  
BD BARRIL DENISON ICR =  $\frac{\text{LONGITUD DE FRAGMENTOS DE ROCA } > 10 \text{ cm}}{\text{LONGITUD RECUPERADA}}$

**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

HOJA 4 DE 5

**EXPLORACION GEOTECNICA  
REGISTRO DE CAMPO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
 SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
 SONDEO No. SPE 10 COORDENADAS: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_ EQUIPO DE PERFORACION: LONGYEAR-24 NIVEL FREATICO: 0.10 m  
 SUPERVISOR: \_\_\_\_\_ BOMBA: KOHLER 1 PISTON PROFUNDIDAD DE PROYECTO: 35.00 m  
 FECHA DE INICIO 13 de Mayo de 2010 BARRA DE PERFORACION: AW-NQ PROFUNDIDAD ALCANZADA: 35.00 m  
 FECHA DE TERMINACION: 14 de Mayo de 2010 ADEME: BENTONITA Y TUBERIA NW OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD EN METROS (AVANCE)		MATERIAL DE MUESTRO	PENETRACION ESTANDAR NORMA ASTM D-1586.67 No. DE GOLPES EN			presión de hincado kg/cm2	RECUPERACION			MUESTRA No.	DESCRIPCION
INICIAL	FINAL		15	30	15		cm	%	ICR %		
21.60	22.20	TP	10	28	14	19			37	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON VETAS NEGRAS, DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
22.20	22.80	TD	****	****	****	18			38	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON VETAS NEGRAS, DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.	
22.80	23.40	TP	12	35	19	20			39	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO CON VETAS NEGRAS, DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
23.40	24.00	TP	12	42	21	20			40	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
24.00	24.60	TP	14	43	23	18			41	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
24.60	25.20	TP	15	38	20	23			42	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
25.20	25.80	TP	15	40	21	23			43	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
25.80	26.40	TD	****	****	****	19			44	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
26.40	27.00	TP	12	36	18	21			45	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
27.00	27.60	TP	11	30	18	20			46	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
27.60	28.20	TP	9	29	17	20			47	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
28.20	28.80	TP	10	25	17	20			48	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	

TP TUBO PARTIDO TD TUBO DENTADO  
 TS TUBO SHELBY DB DOBLE BARRIL  
 BD BARRIL DENISON ICR =  $\frac{\text{LONGITUD DE FRAGMENTOS DE ROCA } > 10 \text{ cm}}{\text{LONGITUD RECUPERADA}}$

**EXPLORACION GEOTECNICA**  
**REGISTRO DE CAMPO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
SOLICITANTE: \_\_\_\_\_  
SONDEO No. SPE 10 COORDENADAS: \_\_\_\_\_  
OPERADOR: \_\_\_\_\_ EQUIPO DE PERFORACION: LONGYEAR-24 NIVEL FREATICO: 0.10 m  
SUPERVISOR: \_\_\_\_\_ BOMBA: KOHLER 1 PISTON PROFUNDIDAD DE PROYECTO: 35.00 m  
FECHA DE INICIO 13 de Mayo de 2010 BARRA DE PERFORACION: AW-NQ PROFUNDIDAD ALCANZADA: 35.00 m  
FECHA DE TERMINACION: 14 de Mayo de 2010 ADEME: BENTONITA Y TUBERIA NW OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD EN METROS (AVANCE)		TIPO DE MUESTRA	PENETRACION ESTANDAR NORMA ASTM D-1586.67 No. DE GOLPES EN			presión de hincado kg/cm2	RECUPERACION			MUESTRA No.	DESCRIPCION
INICIAL	FINAL		15	30	15		cm	%	ICR %		
cm DE PENETRACION											
28.80	29.40	TP	9	23	13		21		49	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
29.40	30.00	TP	8	20	14		20		50	ARCILLA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE PLASTICIDAD MEDIA Y CONSISTENCIA NATURAL DURA.	
30.00	30.60	TP	9	20	16		15		51	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
30.60	31.20	TD	****	****	****		15		52	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
31.20	31.80	TP	15	34	20		18		53	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
31.80	32.40	TP	15	37	21		17		54	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
32.40	33.00	TP	17	42	22		17		55	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
33.00	33.60	TP	16	40	22		19		56	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
33.60	34.20	TD	****	****	***		15		57	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
34.20	34.80	TP	19	44	23		15		58	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	
34.80	35.40	TP	20	45	24		15		59	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA EN SU ESTADO NATURAL	

TP TUBO PARTIDO TD TUBO DENTADO  
TS TUBO SHELBY DB DOBLE BARRIL  
BD BARRIL DENISON ICR =  $\frac{\text{LONGITUD DE FRAGMENTOS DE ROCA } > 10 \text{ cm}}{\text{LONGITUD RECUPERADA}}$

## 2.3. PRUEBAS DE LABORATORIO

### 2.3.1. Densidad de sólidos.

Esta prueba consiste en determinar la densidad de sólidos de la muestra de suelo en estudio para conocer la relación entre el peso de los sólidos y el peso de volumen de agua que desalojan.

Los resultados fueron los siguientes:

<b>DENSIDAD DE SOLIDOS</b>
FECHA : <u>01/07/2010</u>

OBRA: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA.
LOCALIZACION: MUNICIPIO DE NACAJUCA, VER.
SOLICITANTE:

SONDEO	MUESTRA	Profundidad	Ss	NOTAS
SPE-10	M-2	0.60-1.20	2.30	ARCILLA
SPE-10	M-6	3.00-3.60	2.39	ARCILLA
SPE-10	M-11	6.00-6.60	2.42	ARCILLA
SPE-10	M-18	10.20-10.80	2.50	ARCILLA
SPE-10	M-21	12.00-12.60	2.45	ARCILLA
SPE-10	M-26	15.00-15.60	2.50	ARCILLA ARENOSA
SPE-10	M-37	21.60-22.20	2.50	ARENA ARCILLOSA
SPE-10	M-43	25.20-25.80	2.59	ARCILLA
SPE-10	M-51	30.00-30.60	2.61	ARENA ARCILLOSA
SPE-10	M-58	34.20-34.80	2.60	ARENA ARCILLOSA

### 2.3.2. Limites de Plasticidad

Con esta prueba se Determina el limite liquido, el limite plástico así como el índice de plasticidad de la muestra de suelo en estudio

El limite liquido lo fija el contenido de agua, expresado en porcentaje del peso seco que debe tener un suelo remoldeado para que una muestra del mismo que se le haya practicado una ranura de dimensiones estándar con la copa de Casagrande al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos se cierre sin resbalar su apoyo.

El limite plástico lo fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo de aproximadamente 3 mm de diámetro al rodarlo en una superficie no absorbente como lo puede ser una placa de vidrio.

Albert Mauritz Atterberg (1846-1916). Consideraba que la plasticidad del suelo quedaba determinada por el límite líquido y por la cantidad máxima de cierta arena que podía ser agregada al suelo estando este con el contenido de agua correspondiente al límite líquido, sin que pierda por completo su plasticidad. Además encontró que la diferencia entre los valores de los límites de plasticidad llamada índice plástico se relacionaba fácilmente con la cantidad de arena agregada, siendo de más fácil determinación por lo que sugirió su uso en lugar de la arena como segundo parámetro para definir la plasticidad.

Los resultados de la prueba fueron los siguientes:



## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-2
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	0.60 - 1.20 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

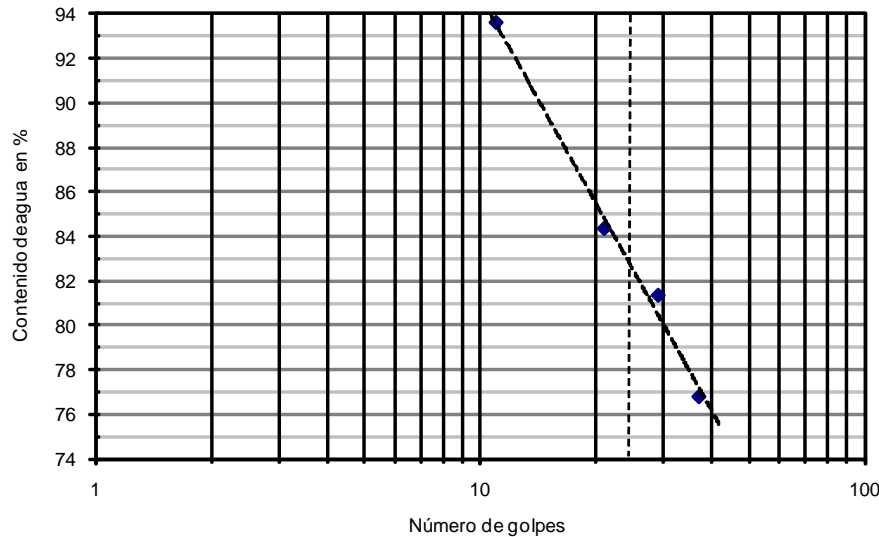
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	37		70.74	53.97	16.77	32.13	21.84	76.79
2	29		72.41	54.05	18.36	31.48	22.57	81.35
3	21		72.14	54.08	18.06	32.67	21.41	84.35
4	11		78.32	56.16	22.16	32.49	23.67	93.62

## LIMITE PLASTICO

5	N/A		42.75	39.71	3.04	32.55	7.16	42.46
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA
VOL. INICIAL Vo	VOL. FINAL Vm	No.



Wn =	
LL =	82.49
LP =	42.46
IP =	40.03
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Fw}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO: ***	NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No. SPE 10	
ENSAYE No.	MUESTRA No. M-7
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD: 3.60 - 4.20 m
FECHA	
OPERADOR	DESCRIPCION:

### LIMITE LIQUIDO

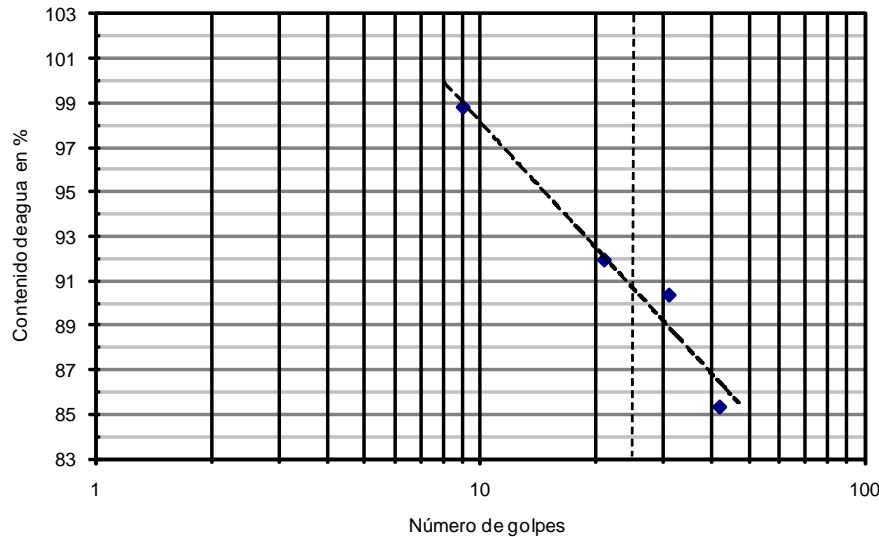
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	42		71.24	52.84	18.40	31.28	21.56	85.34
2	31		75.11	54.95	20.16	32.64	22.31	90.36
3	21		72.73	52.99	19.74	31.52	21.47	91.94
4	9		79.61	55.92	23.69	31.94	23.98	98.79

### LIMITE PLASTICO

5	N/A		41.96	39.25	2.71	32.73	6.52	41.56
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

### CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	90.67
LP =	41.56
IP =	49.11
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Fw}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-13
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	7.20 - 7.80 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

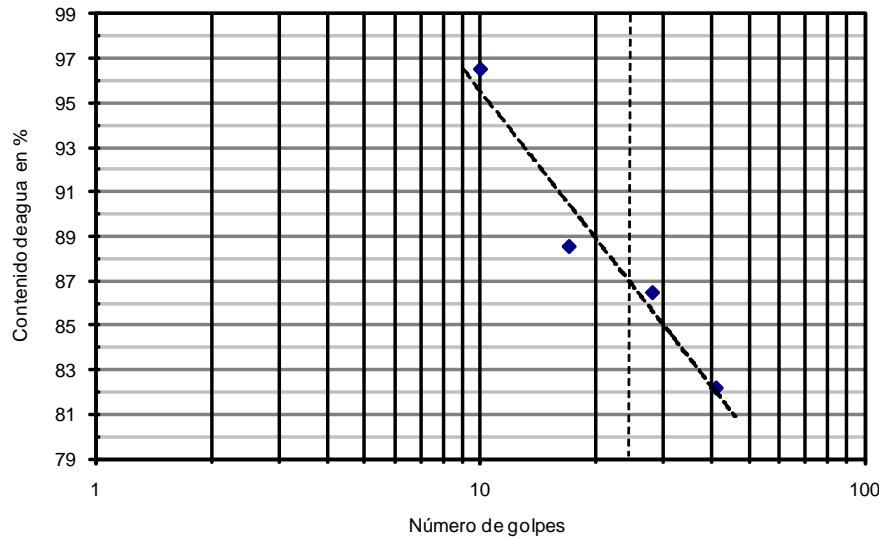
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	41		70.54	52.99	17.55	31.63	21.36	82.16
2	28		75.56	55.44	20.12	32.17	23.27	86.46
3	17		73.09	54.00	19.09	32.44	21.56	88.54
4	10		78.41	55.55	22.86	31.87	23.68	96.54

## LIMITE PLASTICO

5	N/A		41.24	38.19	3.05	31.35	6.84	44.59
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	86.76
LP =	44.59
IP =	42.17
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Ip}{LL - Wo} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO: ***	NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No. SPE 10	
ENSAYE No.	MUESTRA No. M-18
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD: 10.20 - 10.80 m
FECHA	
OPERADOR	DESCRIPCION:

### LIMITE LIQUIDO

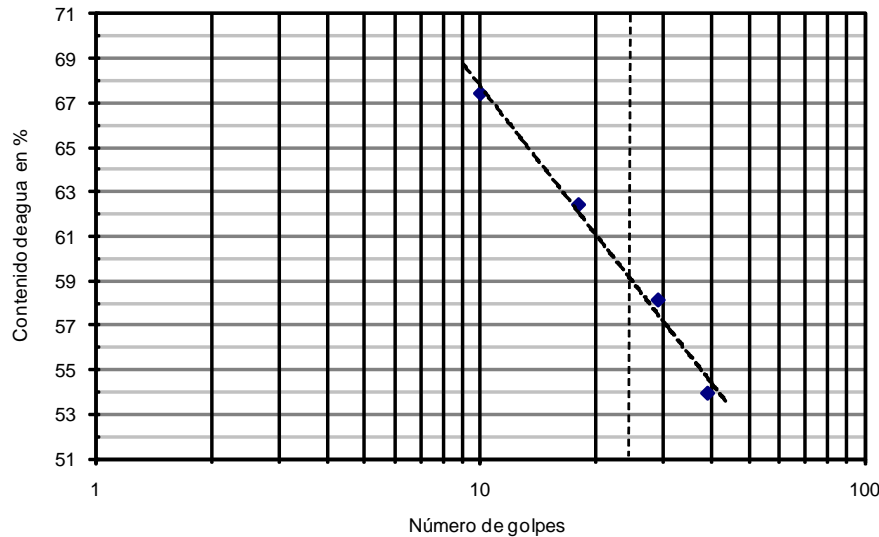
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	39		66.50	54.54	11.96	32.38	22.16	53.97
2	29		64.90	52.53	12.37	31.26	21.27	58.16
3	18		69.34	55.31	14.03	32.84	22.47	62.44
4	10		67.99	53.37	14.62	31.69	21.68	67.44

### LIMITE PLASTICO

5	N/A		39.53	37.91	1.62	31.28	6.63	24.43
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

### CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	58.93
LP =	24.43
IP =	34.50
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Fw}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-23
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	13.20 - 13.80 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

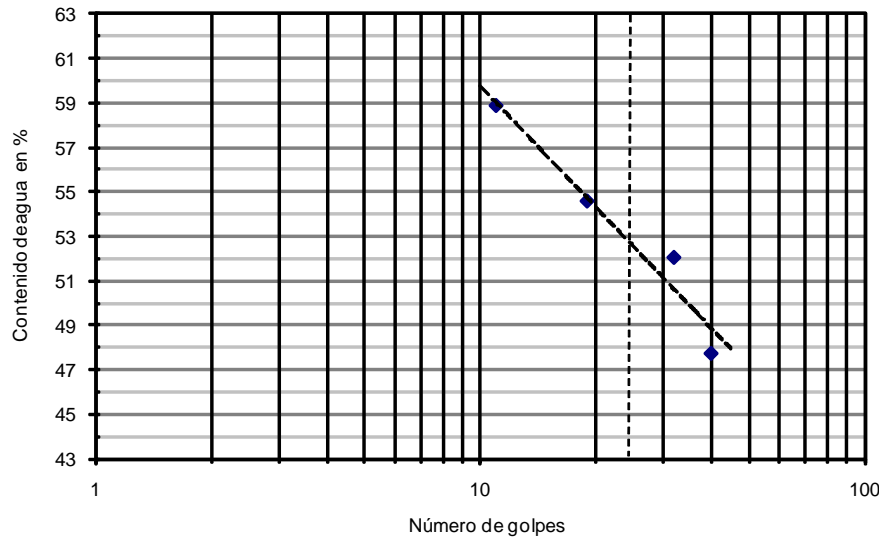
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	40		63.18	52.97	10.21	31.58	21.39	47.73
2	32		66.37	54.65	11.72	32.13	22.52	52.04
3	19		66.06	54.25	11.81	32.61	21.64	54.57
4	11		68.35	54.60	13.75	31.24	23.36	58.86

## LIMITE PLASTICO

5	N/A		40.41	38.83	1.58	32.37	6.46	24.46
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA
VOL. INICIAL Vo	VOL. FINAL Vm	No.



Wn =	
LL =	52.56
LP =	24.46
IP =	28.10
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{LL - Wo}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO: ***	NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No. SPE 10	
ENSAYE No.	MUESTRA No. M-27
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD: 15.60 - 16.20 m
FECHA	
OPERADOR	DESCRIPCION:

### LIMITE LIQUIDO

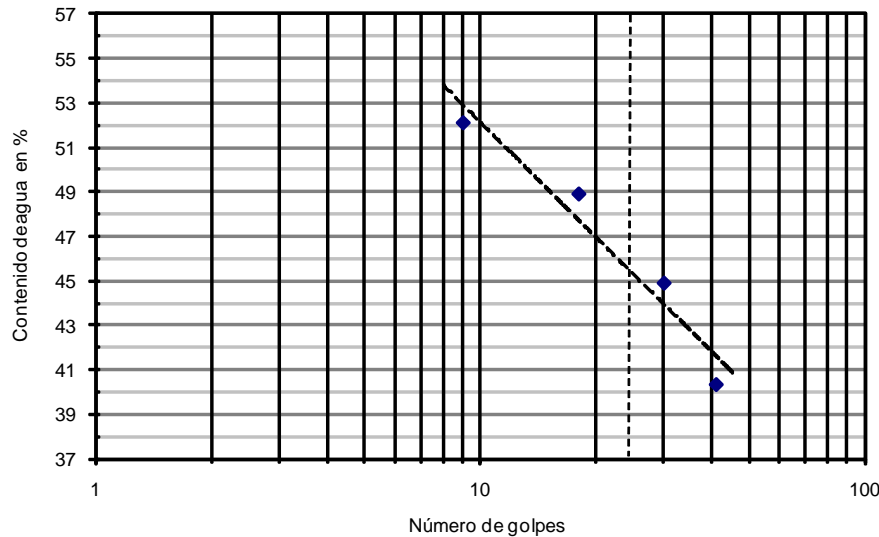
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	41		62.84	54.11	8.73	32.47	21.64	40.34
2	30		64.19	54.10	10.09	31.63	22.47	44.90
3	18		64.70	54.14	10.56	32.55	21.59	48.91
4	9		67.23	54.89	12.34	31.21	23.68	52.11

### LIMITE PLASTICO

5	N/A		39.03	37.81	1.22	31.63	6.18	19.74
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

### CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	45.31
LP =	19.74
IP =	25.57
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{LL - Wo}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-33
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	19.20 - 19.80 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

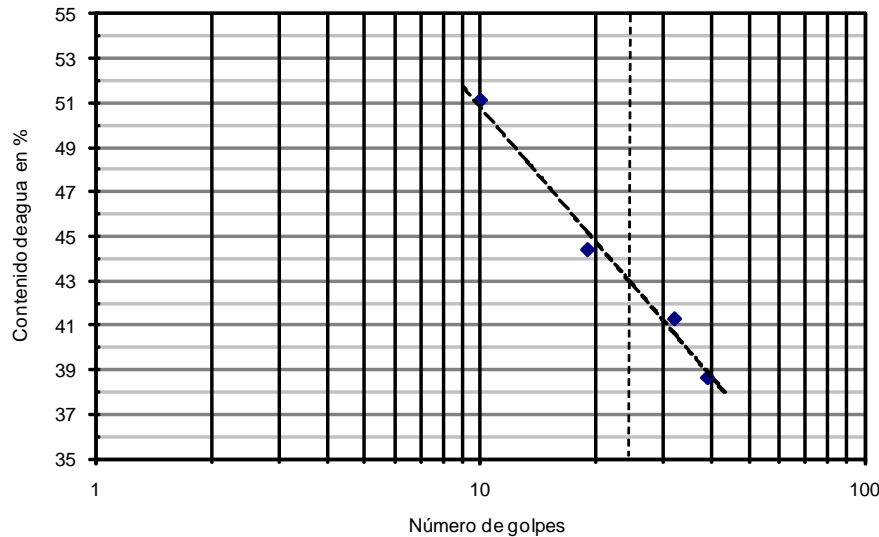
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	39		60.92	52.61	8.31	31.12	21.49	38.67
2	32		64.27	55.02	9.25	32.63	22.39	41.31
3	19		62.36	52.88	9.48	31.54	21.34	44.42
4	10		66.49	54.82	11.67	32.00	22.82	51.14

## LIMITE PLASTICO

5	N/A		40.45	38.78	1.67	31.63	7.15	23.36
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA
VOL. INICIAL Vo	VOL. FINAL Vm	No.



Wn =	
LL =	42.79
LP =	23.36
IP =	19.43
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Ip}{LL - Wo} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO: ***	NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No. SPE 10	
ENSAYE No.	MUESTRA No. M-38
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD: 22.20 - 22.80 m
FECHA	
OPERADOR	DESCRIPCION:

### LIMITE LIQUIDO

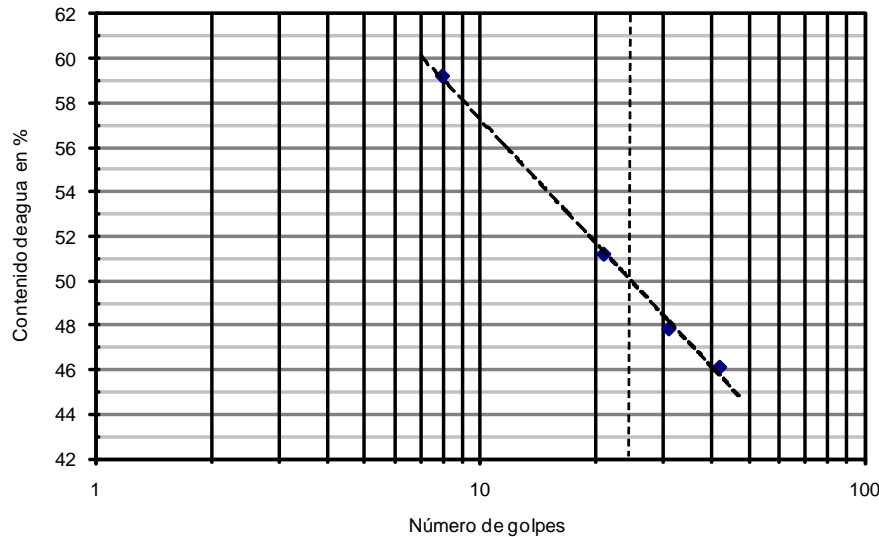
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	42		65.36	55.01	10.35	32.56	22.45	46.10
2	31		62.69	52.57	10.12	31.41	21.16	47.83
3	21		65.44	53.96	11.48	31.53	22.43	51.18
4	8		69.95	55.83	14.12	31.97	23.86	59.18

### LIMITE PLASTICO

5	N/A		39.03	37.29	1.74	30.37	6.92	25.14
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

### CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	49.91
LP =	25.14
IP =	24.77
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Ip}{LL - Wo} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA



## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-44
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	25.80 - 26.40 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

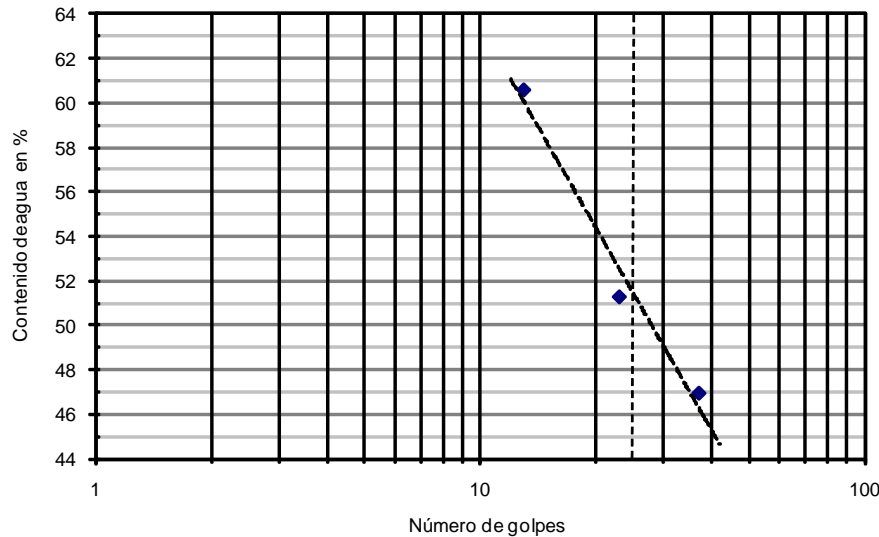
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	37		66.13	55.49	10.64	32.84	22.65	46.98
2	23		63.97	53.00	10.97	31.62	21.38	51.31
3	13		70.43	55.98	14.45	32.14	23.84	60.61

## LIMITE PLASTICO

4	N/A		39.88	38.32	1.56	31.95	6.37	24.49
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	51.45
LP =	24.49
IP =	26.96
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Ip}{LL - Wo} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO: ***	NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No. SPE 10	
ENSAYE No.	MUESTRA No. M-48
DESCRIPCION	PROFUNDIDAD: 28.20 - 28.80 m
FECHA	
OPERADOR	DESCRIPCION:

### LIMITE LIQUIDO

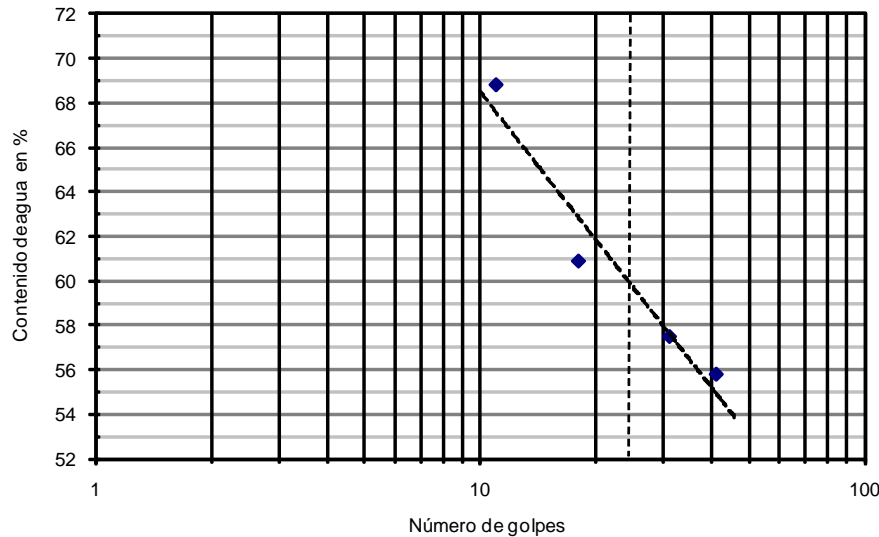
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	41		64.57	52.64	11.93	31.26	21.38	55.80
2	31		67.93	55.01	12.92	32.54	22.47	57.50
3	18		65.12	52.27	12.85	31.17	21.10	60.90
4	11		72.88	56.57	16.31	32.88	23.69	68.85

### LIMITE PLASTICO

5	N/A		41.74	39.79	1.95	32.52	7.27	26.82
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

### CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA
VOL. INICIAL Vo	VOL. FINAL Vm	No.



Wn =	
LL =	59.71
LP =	26.82
IP =	32.89
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{LL - Wo}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

*LIMITES DE CONSISTENCIA*

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-52
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	28.80 - 29.40 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

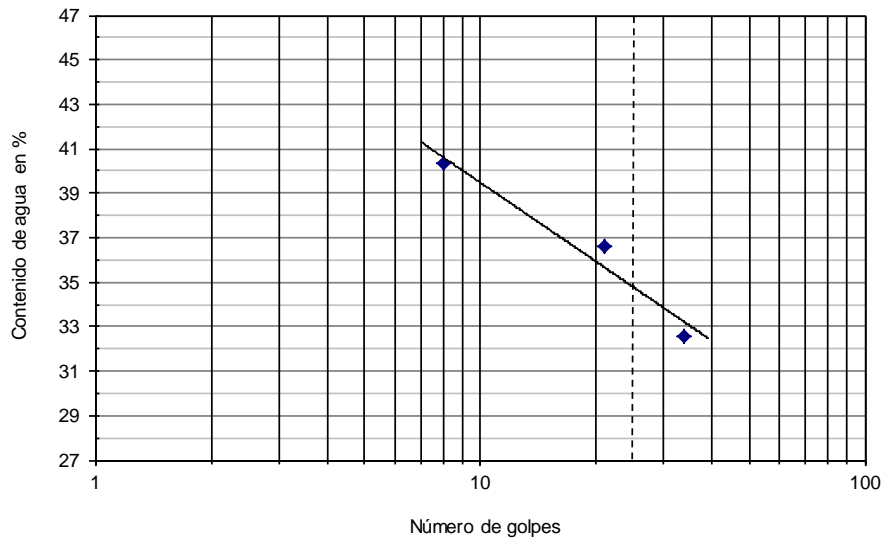
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	34		59.67	52.79	6.88	31.67	21.12	32.58
2	21		62.85	54.63	8.22	32.18	22.45	36.61
3	8		64.80	55.24	9.56	31.53	23.71	40.32

## LIMITE PLASTICO

4	N/A		41.33	39.81	1.52	32.94	6.87	22.13
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA No.



Wn =	
LL =	34.78
LP =	22.13
IP =	12.65
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip}{Fw} =$	
$Cr = \frac{Ip}{LL - Wo} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

## LIMITE LIQUIDO

PROYECTO:	CONFIGURACION DE BATERIA TERRA	LOCALIZACION:	CAMPO SEN POZO TERRA
BANCO	***		NACAJUCA, TABASCO.
SONDEO No.	SPE 10		
ENSAYE No		MUESTRA No.	M-57
DESCRIPCION		PROFUNDIDAD:	33.60 - 34.20 m
FECHA			
OPERADOR		DESCRIPCION:	

## LIMITE LIQUIDO

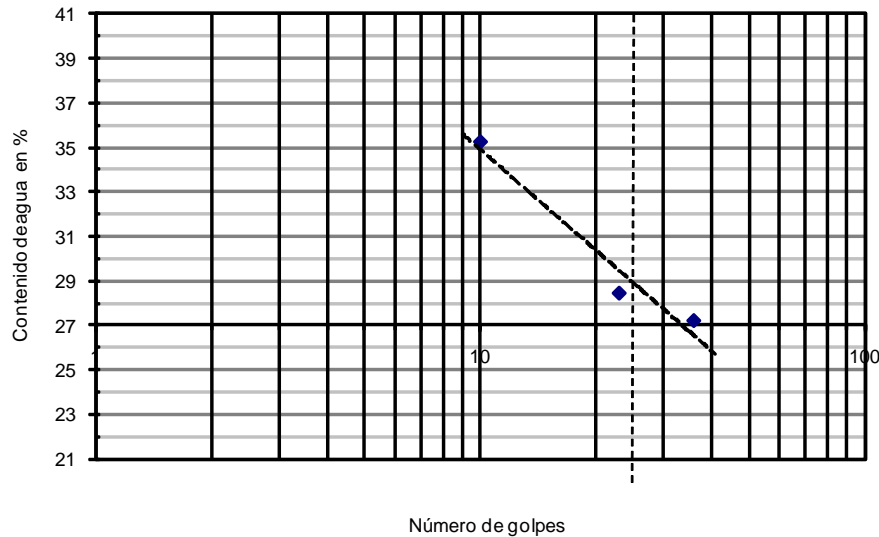
PRUEBA No.	NUMERO DE GOLPES	CAPSULA No	PESO CAPSULA MAS SUELO g	PESO CAPSULA MAS SUELO SECO g	PESO DEL AGUA g	PESO DE CAPSULA g	PESO DEL SUELO g	CONTENIDO DE AGUA (W) %
1	36		60.52	54.49	6.03	32.32	22.17	27.20
2	23		59.10	52.98	6.12	31.46	21.52	28.44
3	10		64.60	56.25	8.35	32.58	23.67	35.28

## LIMITE PLASTICO

4	N/A		38.58	37.39	1.19	31.27	6.12	19.44
---	-----	--	-------	-------	------	-------	------	-------

## CONTRACCION LINEAL

LONG. INICIAL Lo	LONG. FINAL Lf	CAPSULA
VOL. INICIAL Vo	VOL. FINAL Vm	No.



Wn =	
LL =	28.92
LP =	19.44
IP =	9.48
$CL = \frac{Lo - Lf}{Lo} =$	
Fw =	
$Iw = \frac{Ip - Fw}{LL - Wo} =$	
$Cr = \frac{Ip}{Ip} =$	
$IL = \frac{Wo - LP}{Ip} =$	
Clasif. SUCS =	

OBSERVACIONES:

TABLA

LIMITES DE CONSISTENCIA

### 2.3.3. Análisis granulométrico por mallas

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. De esta forma es posible su clasificación mediante sistemas como el SUCS. (Sistema unificado de clasificación de suelos).

El análisis granulométrico es un intento de determinar las posiciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelo dada. Obviamente para mantener un resultado significativo la muestra debe ser estadísticamente representativa del suelo en estudio.

De los distintos métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, quizá el más utilizado sea la tamización con tamices acoplados en cascada. Para realizarlo se coloca un juego de tamices en cascada, es decir, ordenados de arriba hacia abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla. El producto a analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete el conjunto a un movimiento vibratorio.

Teóricamente se debe cumplir que  $B = C + R$ , siendo B la cantidad a analizar o producto bruto, C el cernido y R la suma de todos los rechazos.

El SUCS cubre tanto los suelos gruesos como los finos, distinguiendo a ambos por el cribado de la malla 200, las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino si más de la mitad de sus partículas en peso, son finas.

Una vez que se hace la identificación del suelo, se pueden conocer en forma cualitativa las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo al cual correspondan sus características.

Los resultados obtenidos de esta prueba son presentados en las siguientes graficas:

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA  
LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
AREA, BANCO, SONDEO: SPE-10  
FECHA: JULIO 2010 LABORATORISTA:

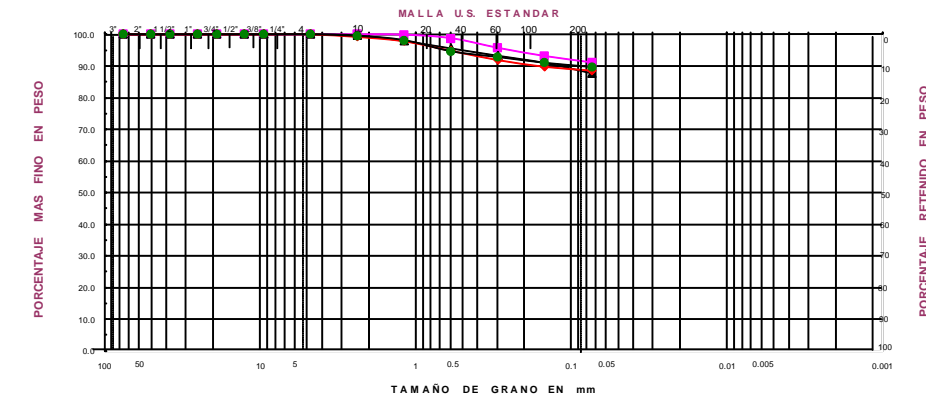
SONDEO POZO KM No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-1				M-2				M-4				M-5				
PROF. m	0.00 - 0.60				0.60 - 1.20				1.80 - 2.40				2.40 - 3.00				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco g	
MUESTRA TOTAL Ws	69.8			69.8	74.2			74.2	96.7			96.7	86.3			86.3	
GRAVA TOTAL Wg	69.8			69.8	74.2			74.2	96.7			96.7	86.3			86.3	
FRACCION FINA REPRESENTATIVA ANTES DE LAVAR Wa + Wf'	69.8			69.8	74.2			74.2	96.7			96.7	86.3			86.3	
FRACCION FINA REPRESENTATIVA DESPUES DE LAVAR Wa	69.8			69.8	74.2			74.2	96.7			96.7	86.3			86.3	
PERDIDA POR LAVADO Wf'	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	
MALLA No.	RETENIDOS		PORCENTAJE QUE PASA		RETENIDOS		PORCENTAJE QUE PASA		RETENIDOS		PORCENTAJE QUE PASA		RETENIDOS		PORCENTAJE QUE PASA		
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUMULADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUMULADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUMULADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUMULADO	
3"	76.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
2"	59.8	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	38.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1"	25.4	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.7	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.5	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
No. 4	4.76	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
10	2.98	0.0	0.0	100.0	0.3	0.4	0.4	99.6	0.8	0.8	0.8	99.2	0.4	0.5	0.5	99.5	
20	1.96	0.1	0.1	99.9	1.2	1.7	2.1	97.9	1.3	1.4	2.2	97.8	1.1	1.3	1.8	98.2	
40	0.98	0.8	1.1	98.9	1.8	2.4	4.5	95.5	2.9	3.0	5.2	94.8	3.0	3.5	5.3	94.7	
60	0.297	2.2	3.1	95.7	1.7	2.3	6.8	93.2	2.8	2.9	8.1	91.9	1.6	1.8	7.1	92.9	
100	0.149	1.8	2.6	6.9	93.1	1.7	2.3	91.1	90.9	2.1	2.1	10.3	89.7	1.6	1.8	8.9	91.1
200	0.074	1.4	2.0	91.0	2.5	3.3	12.4	87.6	1.2	1.2	11.5	88.5	1.1	1.3	10.2	89.8	
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 0	A = 9	F = 91		G = 0	A = 12	F = 88		G = 0	A = 11	F = 89		G = 0	A = 10	F = 90		
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA COLOR CAFE OSCURO				ARCILLA COLOR CAFE OSCURO				ARCILLA COLOR CAFE OSCURO				ARCILLA COLOR CAFE OSCURO				
CLASIFICACION SUCS	GRAVA 1				GRAVA 1				GRAVA 1				GRAVA 1				
FRACCIONES DE GRAVA	GRAVA 1	GRAVA 2	GRAVA 3	GRAVA 4	GRAVA 1	GRAVA 2	GRAVA 3	GRAVA 4	GRAVA 1	GRAVA 2	GRAVA 3	GRAVA 4	GRAVA 1	GRAVA 2	GRAVA 3	GRAVA 4	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS

Tamaños entre 3" y 12". Están referidos al material en greda

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA  
LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.

FRAGMENTOS DE ROCA: GRAVA, ARENA, ARCILLA Y/O LIMO



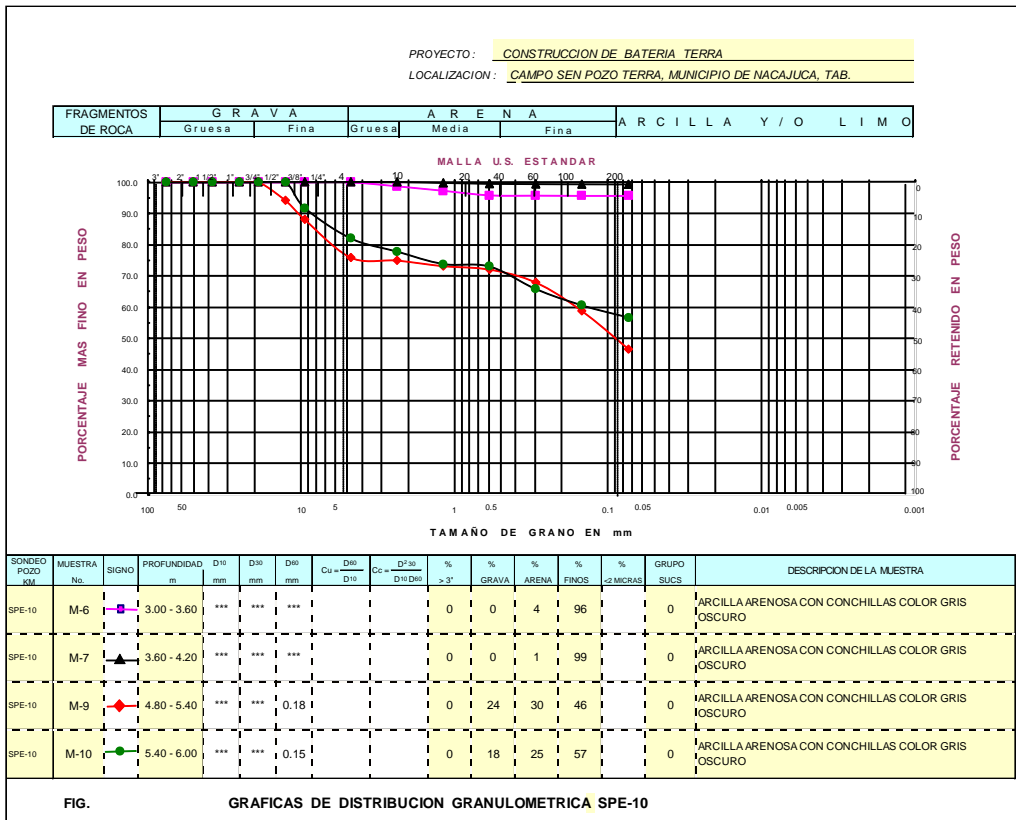
SONDEO POZO KM	MUESTRA No.	SIGNO	PROFUNDIDAD m	D10 mm	D30 mm	D60 mm	Cu = D60/D10	Cc = D30^2 / (D10 * D60)	% < 3"	% GRAVA	% ARENA	% FINOS < 2 MICRAS	GRUPO SUCS	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
SPE-10	M-1	■	0.00 - 0.60	***	***	***			0	0	9	91	0	ARCILLA COLOR CAFE OSCURO
SPE-10	M-2	▲	0.60 - 1.20	***	***	***			0	0	12	88	0	ARCILLA COLOR CAFE OSCURO
SPE-10	M-4	◆	1.80 - 2.40	***	***	***			0	0	11	89	0	ARCILLA COLOR CAFE OSCURO
SPE-10	M-5	●	2.40 - 3.00	***	***	***			0	0	10	90	0	ARCILLA COLOR CAFE OSCURO

FIG. GRAFICAS DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA SPE-10

**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB. AREA, BANCO, SONDEO: SPE-10 FECHA: JULIO 2010 LABORATORISTA:																	
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-6				M-7				M-9				M-10				
PROF. m	3.00 - 3.60				3.60 - 4.20				4.80 - 5.40				5.40 - 6.00				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	
MUESTRA TOTAL	82.5			82.5	81.7			81.7	93.2				93.2	72.6			72.6
GRAVA TOTAL	82.5			82.5	81.7			81.7	93.2				93.2	72.6			72.6
ANTES DE LAVAR	82.5			82.5	81.7			81.7	93.2				93.2	72.6			72.6
DESPUES DE LAVAR	82.5			82.5	81.7			81.7	93.2				93.2	72.6			72.6
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0					0.0				0.0
RETENIDOS	SUELO				SUELO				SUELO				SUELO				
RETENIDO PARCIAL	RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL				
RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO				RETENIDO ACUMULADO				RETENIDO ACUMULADO				RETENIDO ACUMULADO				
FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA	FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA				FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA				FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA				FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA				
MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. </td></td></td></td>	MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. </td></td></td>				MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. </td></td>				MALLA No. <td colspan="4">MALLA No. </td>				MALLA No.				
ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm </td></td></td></td>	ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm </td></td></td>				ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm </td></td>				ABERTURA mm <td colspan="4">ABERTURA mm </td>				ABERTURA mm				
RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g </td></td></td></td>	RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g </td></td></td>				RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g </td></td>				RETENIDO g <td colspan="4">RETENIDO g </td>				RETENIDO g				
RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % </td></td></td></td>	RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % </td></td></td>				RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % </td></td>				RETENIDO % <td colspan="4">RETENIDO % </td>				RETENIDO %				
FRACCION FINA REPRESENTATIVA	FRACCION FINA REPRESENTATIVA				FRACCION FINA REPRESENTATIVA				FRACCION FINA REPRESENTATIVA				FRACCION FINA REPRESENTATIVA				
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %				CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %				CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %				CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %				
ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO	ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				
CLASIFICACION SUCS	CLASIFICACION SUCS				CLASIFICACION SUCS				CLASIFICACION SUCS				CLASIFICACION SUCS				
FRACCIONES DE GRAVA	FRACCIONES DE GRAVA				FRACCIONES DE GRAVA				FRACCIONES DE GRAVA				FRACCIONES DE GRAVA				

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**



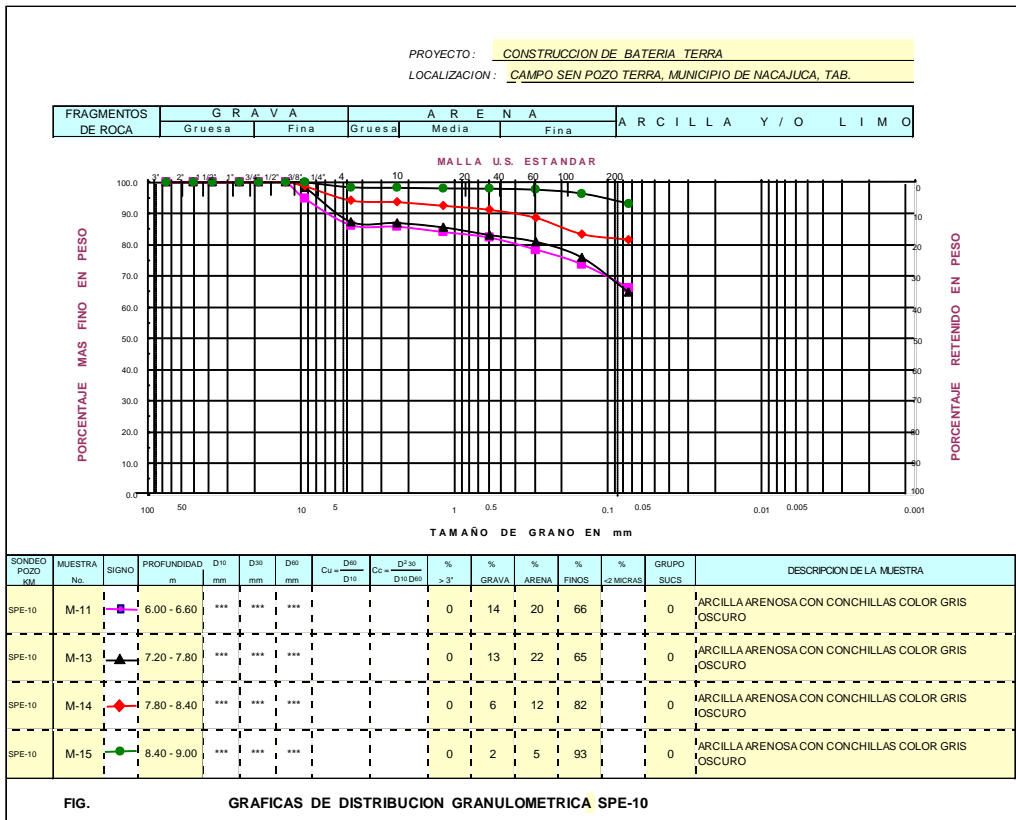
PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA  
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10

FECHA : JULIO 2010      LABORATORISTA :

SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-11				M-13				M-14				M-15				
PROF. m	6.00 - 6.60				7.20 - 7.80				7.80 - 8.40				8.40 - 9.00				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	
MUESTRA TOTAL	95.1			95.1	98.7			98.7	86.5			86.5	82.4			82.4	
GRAVA TOTAL	95.1			95.1	98.7			98.7	86.5			86.5	82.4			82.4	
ANTES DE LAVAR	95.1			95.1	98.7			98.7	86.5			86.5	82.4			82.4	
DESPUES DE LAVAR	95.1			95.1	98.7			98.7	86.5			86.5	82.4			82.4	
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0	
MALLA No. <td colspan="4">RETENIDOS</td> <td colspan="4">RETENIDOS</td> <td colspan="4">RETENIDOS</td> <td colspan="4">RETENIDOS</td>	RETENIDOS				RETENIDOS				RETENIDOS				RETENIDOS				
ABERTURA <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO </td></td></td></td>	RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO </td></td></td>				RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO </td></td>				RETENIDO <td colspan="4">RETENIDO </td>				RETENIDO				
mm <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td></td></td>	% <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td></td>				% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td>				% <td colspan="4">% </td>				%				
3" <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
2" <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2" <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4" <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2" <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8" <td>0.5</td> <td>4.9</td> <td>5.1</td> <td>94.9</td> <td>1.8</td> <td>1.8</td> <td>1.8</td> <td>98.2</td> <td>1.1</td> <td>1.2</td> <td>1.2</td> <td>98.8</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td>100.0</td>	0.5	4.9	5.1	94.9	1.8	1.8	1.8	98.2	1.1	1.2	1.2	98.8	0.0	0.0	0.0	100.0	
No. 4 <td>4.76</td> <td>8.1</td> <td>8.5</td> <td>13.6</td> <td>86.4</td> <td>10.8</td> <td>11.0</td> <td>12.8</td> <td>87.2</td> <td>4.0</td> <td>4.6</td> <td>5.8</td> <td>94.2</td> <td>1.3</td> <td>1.6</td> <td>1.6</td> <td>98.4</td>	4.76	8.1	8.5	13.6	86.4	10.8	11.0	12.8	87.2	4.0	4.6	5.8	94.2	1.3	1.6	1.6	98.4
10 <td>2.380</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> <td>14.1</td> <td>85.9</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>13.1</td> <td>86.9</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>6.3</td> <td>93.7</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>1.7</td> <td>98.3</td>	2.380	0.5	0.5	14.1	85.9	0.3	0.3	13.1	86.9	0.4	0.5	6.3	93.7	0.1	0.2	1.7	98.3
20 <td>1.190</td> <td>1.6</td> <td>1.7</td> <td>15.9</td> <td>84.1</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> <td>14.5</td> <td>85.5</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> <td>7.5</td> <td>92.5</td> <td>0.2</td> <td>0.2</td> <td>1.9</td> <td>98.1</td>	1.190	1.6	1.7	15.9	84.1	1.4	1.4	14.5	85.5	1.0	1.2	7.5	92.5	0.2	0.2	1.9	98.1
40 <td>0.595</td> <td>1.7</td> <td>1.8</td> <td>17.6</td> <td>82.4</td> <td>2.4</td> <td>2.5</td> <td>17.0</td> <td>83.0</td> <td>1.1</td> <td>1.3</td> <td>9.9</td> <td>91.2</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> <td>2.0</td> <td>98.0</td>	0.595	1.7	1.8	17.6	82.4	2.4	2.5	17.0	83.0	1.1	1.3	9.9	91.2	0.1	0.1	2.0	98.0
60 <td>0.297</td> <td>3.7</td> <td>3.6</td> <td>21.5</td> <td>78.5</td> <td>2.1</td> <td>2.1</td> <td>19.1</td> <td>80.9</td> <td>2.2</td> <td>2.6</td> <td>11.3</td> <td>88.7</td> <td>0.3</td> <td>0.3</td> <td>2.3</td> <td>97.7</td>	0.297	3.7	3.6	21.5	78.5	2.1	2.1	19.1	80.9	2.2	2.6	11.3	88.7	0.3	0.3	2.3	97.7
100 <td>0.149</td> <td>4.5</td> <td>4.7</td> <td>28.2</td> <td>71.8</td> <td>5.0</td> <td>5.0</td> <td>24.2</td> <td>75.8</td> <td>4.5</td> <td>5.2</td> <td>16.5</td> <td>83.5</td> <td>1.0</td> <td>1.2</td> <td>3.6</td> <td>96.5</td>	0.149	4.5	4.7	28.2	71.8	5.0	5.0	24.2	75.8	4.5	5.2	16.5	83.5	1.0	1.2	3.6	96.5
200 <td>0.074</td> <td>7.2</td> <td>7.5</td> <td>33.7</td> <td>66.3</td> <td>10.9</td> <td>11.0</td> <td>35.2</td> <td>64.8</td> <td>1.5</td> <td>1.9</td> <td>18.3</td> <td>81.7</td> <td>2.6</td> <td>3.2</td> <td>6.7</td> <td>93.3</td>	0.074	7.2	7.5	33.7	66.3	10.9	11.0	35.2	64.8	1.5	1.9	18.3	81.7	2.6	3.2	6.7	93.3
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 14	A = 20	F = 66		G = 13	A = 22	F = 65		G = 6	A = 12	F = 82		G = 2	A = 5	F = 93		
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO				
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				
FRACCIONES DE GRAVA	14 0 0 0				13 0 0 0				6 0 0 0				2 0 0 0				

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**

Tamaños entre 3" y 12". Están referidos al material en grava

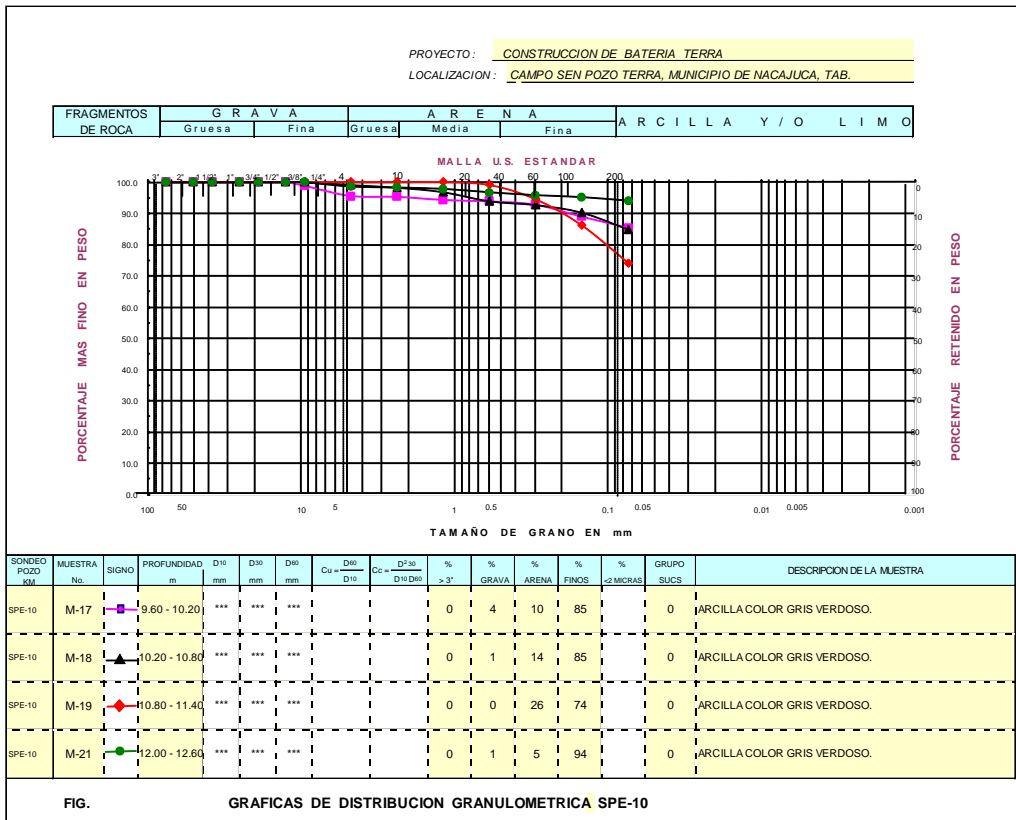




**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

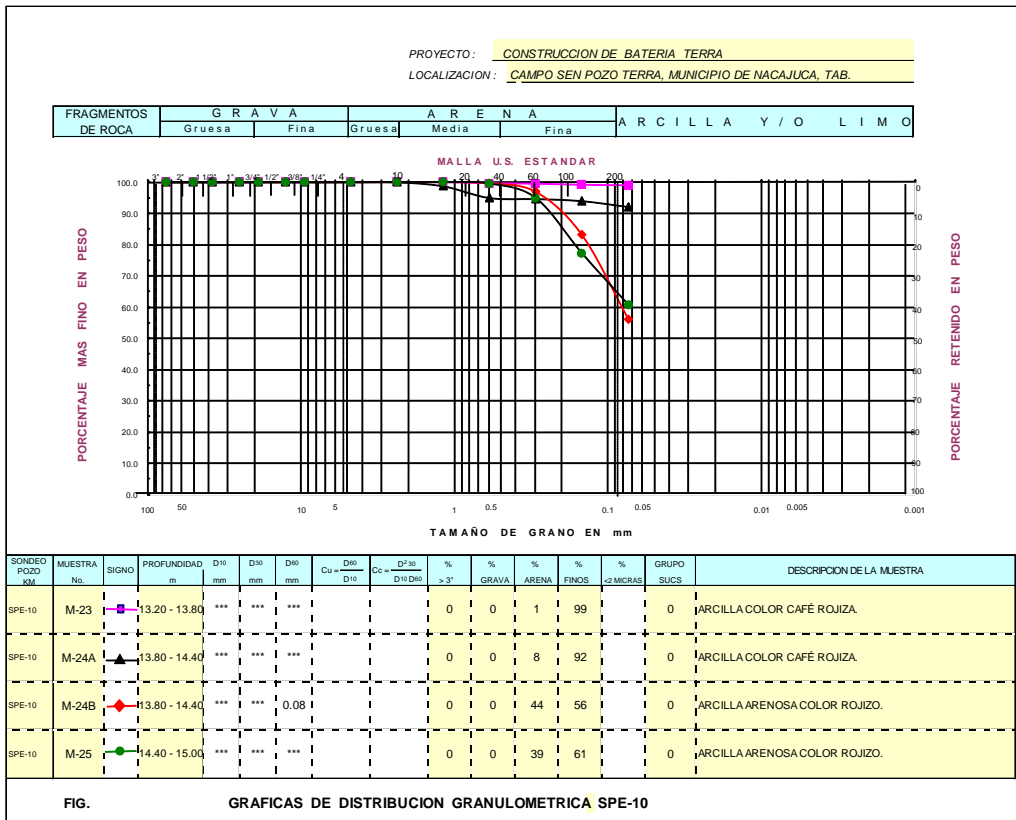
PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB. AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10 FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																	
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-17				M-18				M-19				M-21				
PROF. m	9.60 - 10.20				10.20 - 10.80				10.80 - 11.40				12.00 - 12.60				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	
MUESTRA TOTAL	74.8			74.8	79.1			79.1	97.8			97.8	84.2			84.2	
GRAVA TOTAL	74.8			74.8	79.1			79.1	97.8			97.8	84.2			84.2	
ANTES DE LAVAR	74.8			74.8	79.1			79.1	97.8			97.8	84.2			84.2	
DESPUES DE LAVAR	74.8			74.8	79.1			79.1	97.8			97.8	84.2			84.2	
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0	
SUELO RETENIDO PARCIAL RETENIDO ACUMULADO PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %																	
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %	RETENIDO g	RETENIDO %
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.4	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	0.8	1.1	1.1	98.9	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.76	2.4	3.2	4.4	95.6	0.8	0.9	0.9	99.1	0.0	0.0	0.0	100.0	1.2	1.4	1.4	98.6
SUELO RETENIDO PARCIAL RETENIDO ACUMULADO PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %																	
10	2.380	0.2	0.3	4.6	95.4	0.7	0.8	1.8	98.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.3	0.3	1.7	98.3
20	1.190	0.8	1.0	5.6	94.4	1.1	1.4	3.2	96.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.4	0.4	2.2	97.8
40	0.595	0.3	0.5	6.1	93.9	2.3	2.9	6.1	93.9	0.9	0.9	0.9	99.1	1.0	1.1	3.3	96.7
60	0.297	0.8	1.1	7.1	92.9	0.9	1.2	7.3	92.7	4.5	4.6	5.5	94.5	0.8	1.0	4.2	95.8
100	0.149	2.9	3.8	11.0	89.0	1.9	2.4	9.8	90.2	8.2	8.4	13.9	86.1	0.5	1.0	6.9	93.1
200	0.074	2.7	3.6	14.5	85.5	4.3	5.4	15.2	84.8	11.9	12.2	26.0	74.0	1.0	1.2	6.1	93.9
G A F G A F G A F G A F G A F G A F G A F																	
		4	10	85		1	14	85		0	26	74		1	5	94	
LL = IP = LL = IP = LL = IP = LL = IP = LL = IP =																	
ARCILLA COLOR GRIS VERDOSO.																	
DESCRIPCION DEL SUELO																	
CLASIFICACION SUCS GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4 GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4 GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4 GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4																	
FRACCIONES DE GRAVA 4 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0																	

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**



PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA																
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.																
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10																
FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10			
MUESTRA No.	M-23				M-24A				M-24B				M-25			
PROF. m	13.20 - 13.80				13.80 - 14.40				13.80 - 14.40				14.40 - 15.00			
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara No.	Peso Tara	Suelo Seco
MUESTRA TOTAL	91.5			91.5	82.6			82.6	71.5			71.5	86.7			86.7
GRAVA TOTAL	91.5			91.5	82.6			82.6	71.5			71.5	86.7			86.7
ANTES DE LAVAR	91.5			91.5	82.6			82.6	71.5			71.5	86.7			86.7
DESPUES DE LAVAR	91.5			91.5	82.6			82.6	71.5			71.5	86.7			86.7
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0
RETENIDOS	SUELO				SUELO				SUELO				SUELO			
MALLA No. <td>Abertura <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Abertura <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td></td>	Retenido <td>Retenido <td>Retenido </td></td>	Retenido <td>Retenido </td>	Retenido
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	38.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No. 4	4.75	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
10	2.380	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
20	1.190	0.0	0.0	0.0	100.0	1.0	1.2	1.2	98.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
40	0.595	0.3	0.4	0.4	99.6	3.1	3.8	3.8	95.0	0.3	0.5	0.5	99.5	0.4	0.5	0.5
60	0.297	0.1	0.1	0.5	99.5	0.3	0.3	5.3	94.7	1.9	2.7	3.1	96.9	4.0	4.6	5.1
100	0.149	0.3	0.3	0.8	99.2	0.5	0.6	6.0	94.0	3.8	13.7	16.8	83.2	15.3	17.7	22.8
200	0.074	0.1	0.2	1.0	99.0	1.6	1.9	7.9	92.1	13.3	27.0	43.9	56.1	14.4	16.6	39.4
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G	A	F		G	A	F		G	A	F		G	A	F	
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =	
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA COLOR CAFE ROJIZA.				ARCILLA COLOR CAFE ROJIZA.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.			
CLASIFICACION SUCS	GRAVA 1 GRAVA 2 GRAVA 3 GRAVA 4				GRAVA 1 GRAVA 2 GRAVA 3 GRAVA 4				GRAVA 1 GRAVA 2 GRAVA 3 GRAVA 4				GRAVA 1 GRAVA 2 GRAVA 3 GRAVA 4			
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			

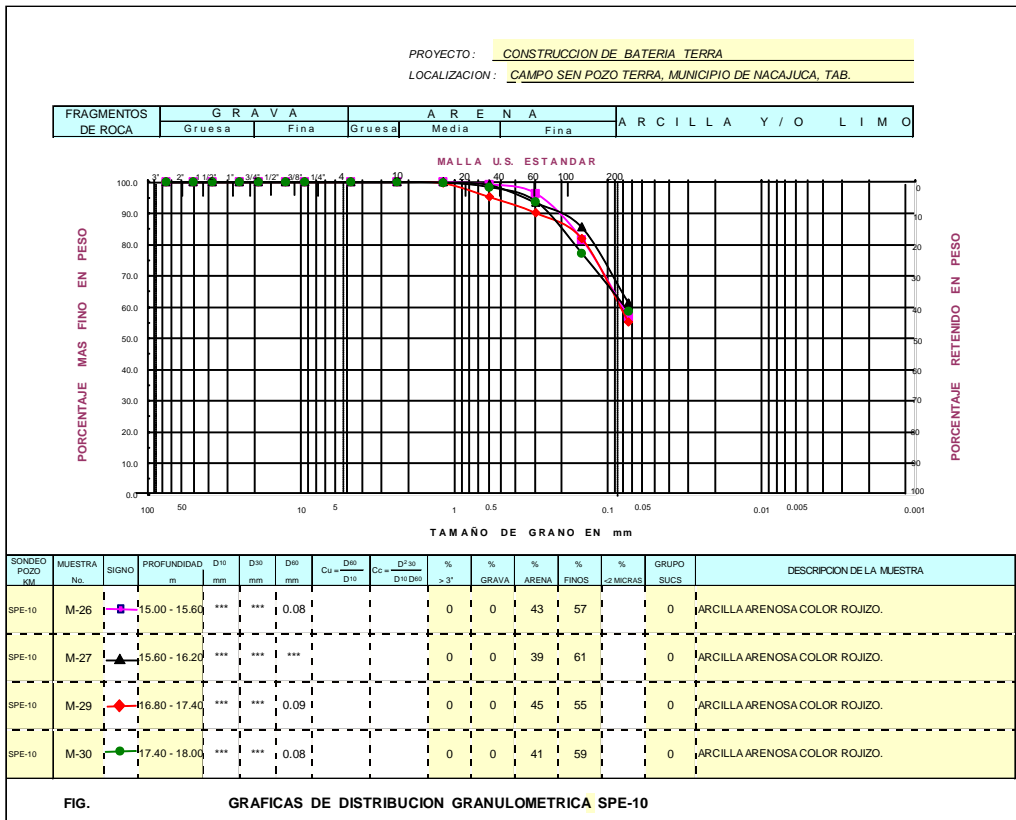
GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS



**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

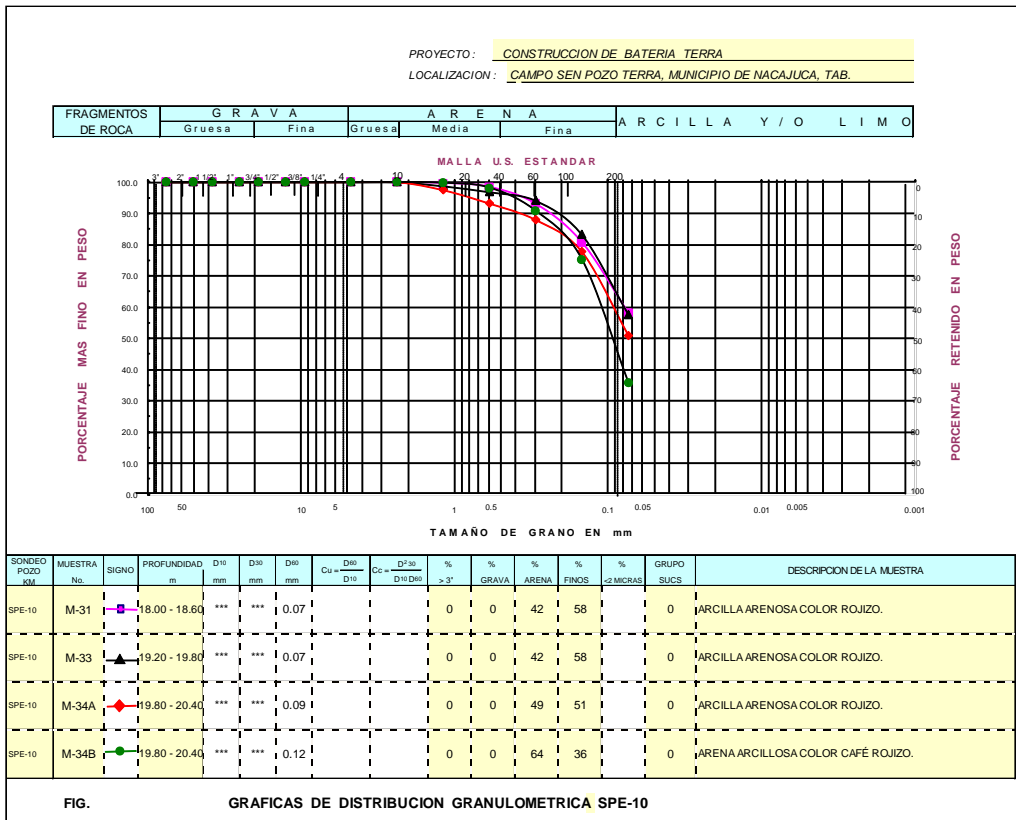
PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA																
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.																
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10																
FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10			
MUESTRA No.	M-26				M-27				M-29				M-30			
PROF. m	15.00 - 15.60				15.60 - 16.20				16.80 - 17.40				17.40 - 18.00			
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g
MUESTRA TOTAL	74.7			74.7	88.1			88.1	78.6			78.6	82.0			82.0
GRAVA TOTAL	74.7			74.7	88.1			88.1	78.6			78.6	82.0			82.0
Wg																
ANTES DE LAVAR	74.7			74.7	88.1			88.1	78.6			78.6	82.0			82.0
Wg + Wf'																
DESPUES DE LAVAR	74.7			74.7	88.1			88.1	78.6			78.6	82.0			82.0
Wa																
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0
Wf'																
RETENIDOS	SUÉLO		RETENIDO PARCIAL		RETENIDO ACUM. LADO		PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA		SUÉLO		RETENIDO PARCIAL		RETENIDO ACUM. LADO		PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA	
MALLA No. <td>Abertura mm <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Abertura mm <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td></td>	Retenido % <td>Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td></td>	Retenido g <td>Retenido % <td>Retenido g </td></td>	Retenido % <td>Retenido g </td>	Retenido g
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	38.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	25.4	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No. 4	4.76	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	2.380	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	1.190	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.3	0.4	0.4	99.6	0.2	0.2	99.8
40	0.595	0.5	0.7	0.7	99.3	0.7	0.8	0.8	99.2	3.5	4.4	4.8	95.2	1.2	1.4	98.4
60	0.297	2.2	2.9	3.6	96.4	5.0	5.7	6.5	93.5	4.0	5.1	5.9	90.1	3.7	4.5	93.9
100	0.149	11.0	14.7	18.3	81.7	6.9	7.9	14.4	85.6	6.5	8.2	18.1	81.9	13.6	16.6	77.9
200	0.074	18.5	24.6	43.1	56.9	21.4	24.3	38.7	61.3	21.0	26.7	44.8	55.2	18.5	41.2	58.8
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 0	A = 43	F = 57	G = 0	A = 39	F = 61	G = 0	A = 45	F = 55	G = 0	A = 41	F = 59	G = 0	A = 41	F = 59	
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.			
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4			
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			

GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS



PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA																
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.																
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10																
FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10			
MUESTRA No.	M-31				M-33				M-34A				M-34B			
PROF. m	18.00 - 18.60				19.20 - 19.80				19.80 - 20.40				19.80 - 20.40			
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g
MUESTRA TOTAL	80.4			80.4	74.3			74.3	105.5			105.5	89.7			89.7
GRAVA TOTAL	80.4			80.4	74.3			74.3	105.5			105.5	89.7			89.7
W <sub>s</sub>																
W <sub>g</sub>																
FRACCION FINA REPRESENTATIVA	80.4			80.4	74.3			74.3	105.5			105.5	89.7			89.7
ANTES DE LAVAR																
W <sub>a</sub>																
DESPUES DE LAVAR																
W <sub>a</sub>																
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0
W <sub>f</sub>																
RETENIDOS																
SUELO																
RETENIDO PARCIAL																
RETENIDO ACUMULADO																
FORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA																
MALLA No.																
ABERTURA mm																
RETENIDO g																
%																
FRACCION GRUESA TOTAL																
3"	78.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
2"	59.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	35.4	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	18.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
No. 4	4.76	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
FRACCION FINA REPRESENTATIVA																
10	2.380	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
20	1.190	0.2	0.3	0.3	99.7	0.9	1.3	1.3	98.7	2.7	2.6	2.6	97.4	0.2	0.2	99.8
40	0.595	1.0	1.2	1.5	98.5	1.9	1.9	3.2	96.8	4.5	4.3	5.9	93.1	1.4	1.5	98.2
60	0.297	4.4	5.4	7.0	93.0	2.0	2.7	5.9	94.1	5.6	5.3	12.1	87.9	6.7	7.4	90.8
100	0.149	9.9	12.2	19.2	80.8	8.0	10.8	16.8	83.2	10.7	10.2	22.3	77.7	13.9	15.5	75.3
200	0.074	18.2	22.6	41.8	58.2	19.0	25.6	42.4	57.6	28.4	26.9	49.2	50.8	35.5	39.6	64.3
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G	A	F		G	A	F		G	A	F		G	A	F	
	0	42	58		0	42	58		0	49	51		0	64	36	
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =	
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.			
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4			
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			

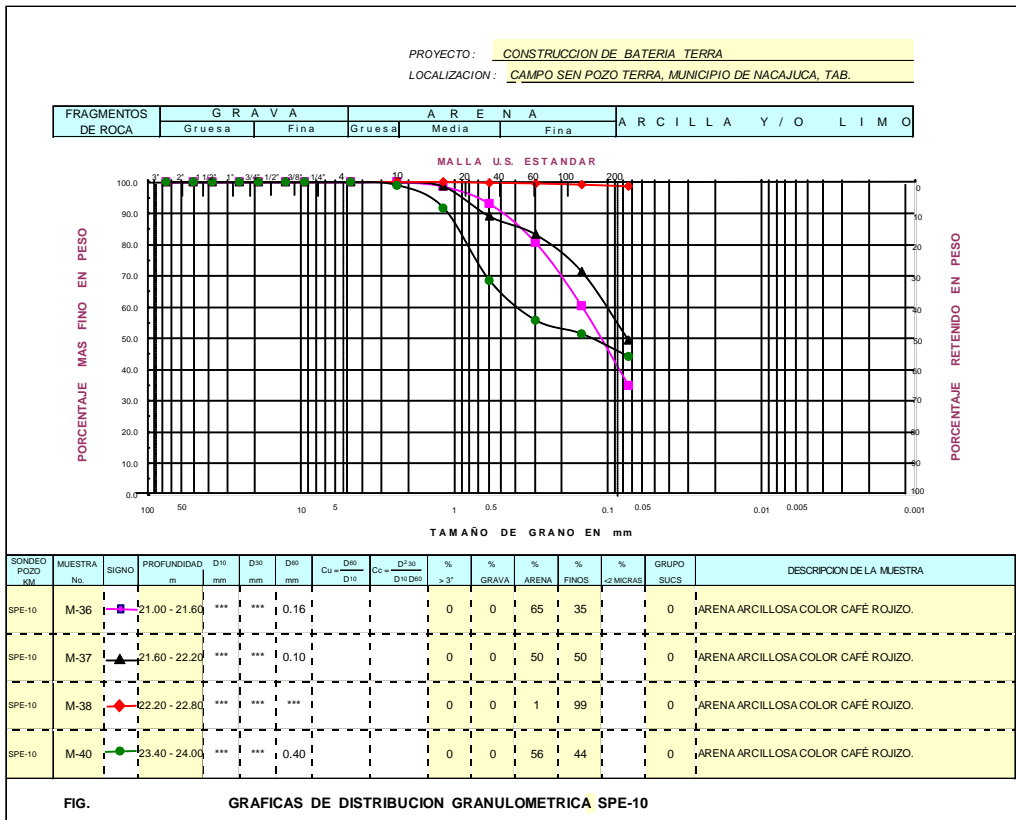
GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS



**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA																	
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.																	
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10																	
FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																	
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-36				M-37				M-38				M-40				
PROF. m	21.00 - 21.60				21.60 - 22.20				22.20 - 22.80				23.40 - 24.00				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	
MUESTRA TOTAL	96.9			96.9	112.3			112.3	90.2			90.2	93.5			93.5	
GRAVA TOTAL	96.9			96.9	112.3			112.3	90.2			90.2	93.5			93.5	
ANTES DE LAVAR	96.9			96.9	112.3			112.3	90.2			90.2	93.5			93.5	
DESPUES DE LAVAR	96.9			96.9	112.3			112.3	90.2			90.2	93.5			93.5	
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0	
FRACCION FINA REPRESENTATIVA																	
MALLA No.	ABERTURA mm	RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUM. LADO %	FORCEN- TAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %	RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUM. LADO %	FORCEN- TAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %	RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUM. LADO %	FORCEN- TAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %	RETENIDO g	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUM. LADO %	FORCEN- TAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA %
FRACCION GRUESA TOTAL																	
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.1	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.75	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
FRACCION FINA REPRESENTATIVA																	
10	2.380	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.9	0.9	0.9	99.1
20	1.190	1.3	1.3	1.3	98.7	1.5	1.3	1.3	98.7	0.0	0.0	0.0	100.0	6.7	7.2	8.1	91.9
40	0.595	5.3	5.5	5.8	93.2	10.8	9.6	10.9	89.1	0.3	0.3	0.3	99.7	21.8	23.3	31.4	68.6
60	0.297	12.2	12.6	19.4	80.6	15.5	5.8	16.1	83.3	0.2	0.2	0.5	99.5	11.9	12.3	44.2	55.8
100	0.149	19.6	20.2	39.6	60.4	13.4	11.9	28.6	71.4	0.4	0.4	0.9	99.1	4.0	4.3	48.5	51.5
200	0.074	24.5	25.3	65.0	35.0	24.5	21.8	50.4	49.6	0.5	0.5	1.4	98.6	6.8	7.3	55.7	44.3
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G	A	F		G	A	F		G	A	F		G	A	F		
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		
DESCRIPCION DEL SUELO	ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**



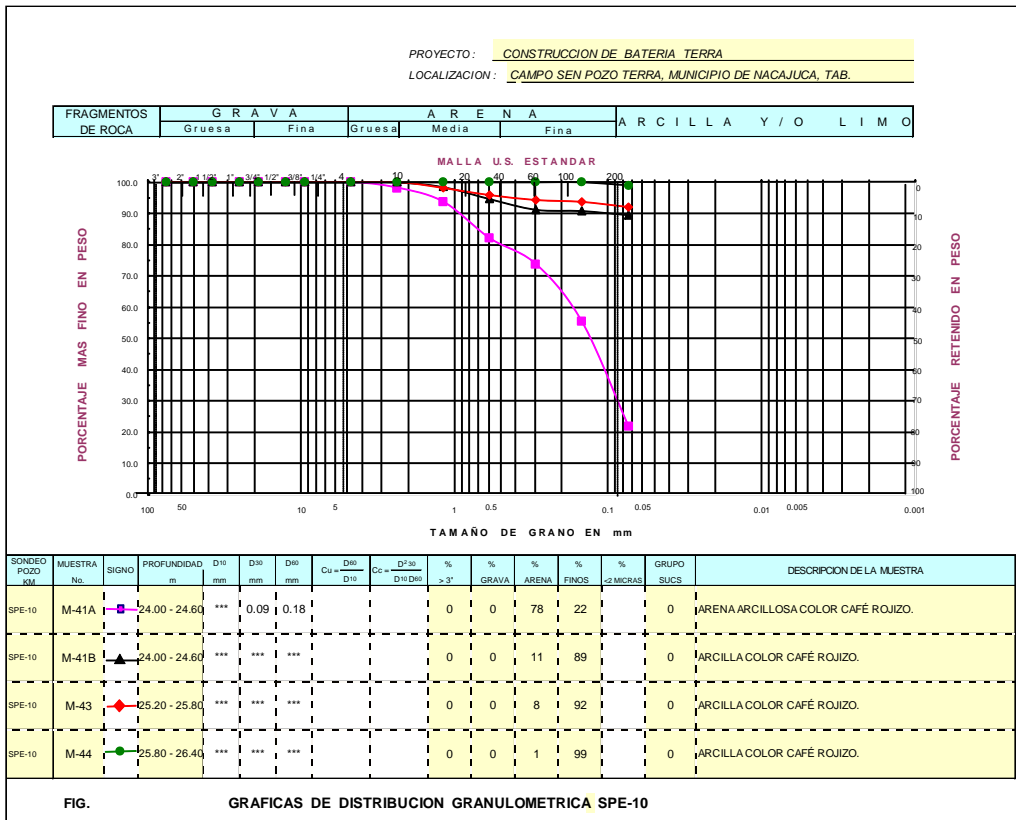
PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA  
LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
AREA, BANCO, SONDEO: SPE-10

FECHA: JULIO 2010 LABORATORISTA:

SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10			
MUESTRA No.	M-41A				M-41B				M-43				M-44			
PROF. m	24.00 - 24.60		24.00 - 24.60		24.00 - 24.60		24.00 - 24.60		25.20 - 25.80		25.20 - 25.80		25.80 - 26.40		25.80 - 26.40	
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco
MUESTRA TOTAL	88.2			88.2	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
GRAVA TOTAL	88.2			88.2	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
ANTES DE LAVAR	88.2			88.2	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
DESPUES DE LAVAR	88.2			88.2	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0
MALLA	RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS		RETENIDOS	
	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>s</sub>	W <sub>f</sub>
FRACCION FINA REPRESENTATIVA	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
FRACCION GRUESA TOTAL	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
FRACCION FINA REPRESENTATIVA	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
DESCRIPCION DEL SUELO	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
CLASIFICACION SUCS	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO
FRACCIONES DE GRAVA	SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO		SUËLO		RETENIDO	
	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO	RETENIDO	PARCIAL	RETENIDO	ACUM. LADO

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**

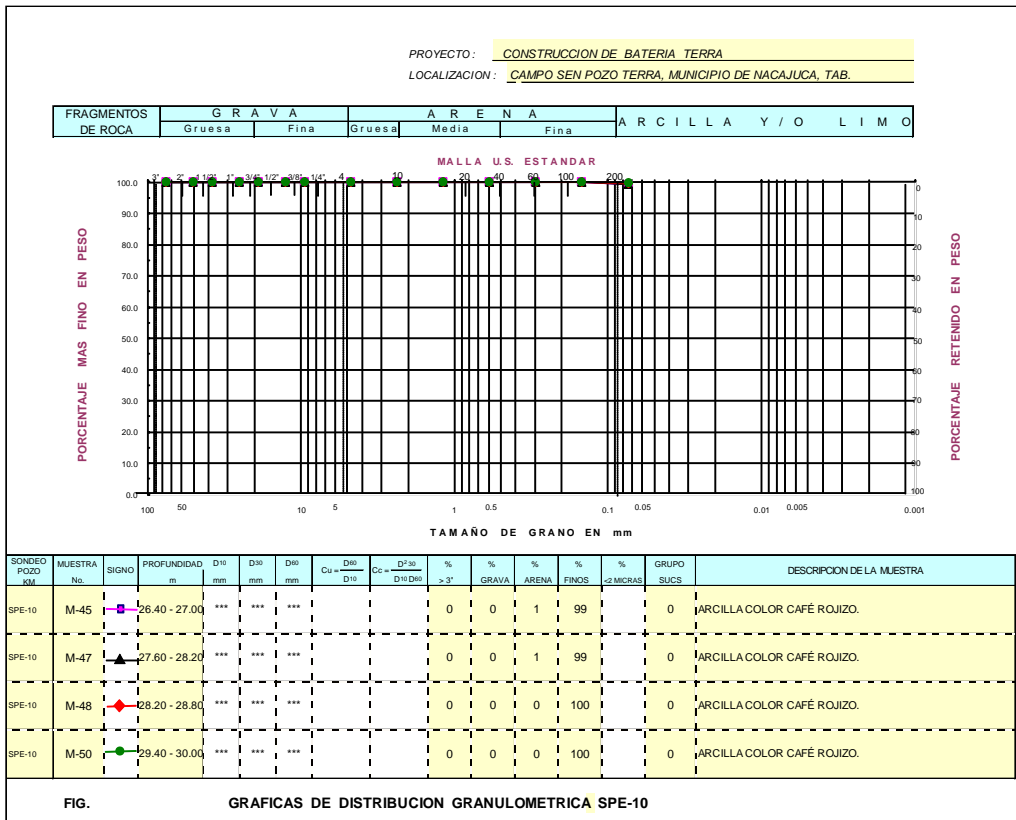
Tamaños entre 3" y 12". Están referidos al material en grifa



**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

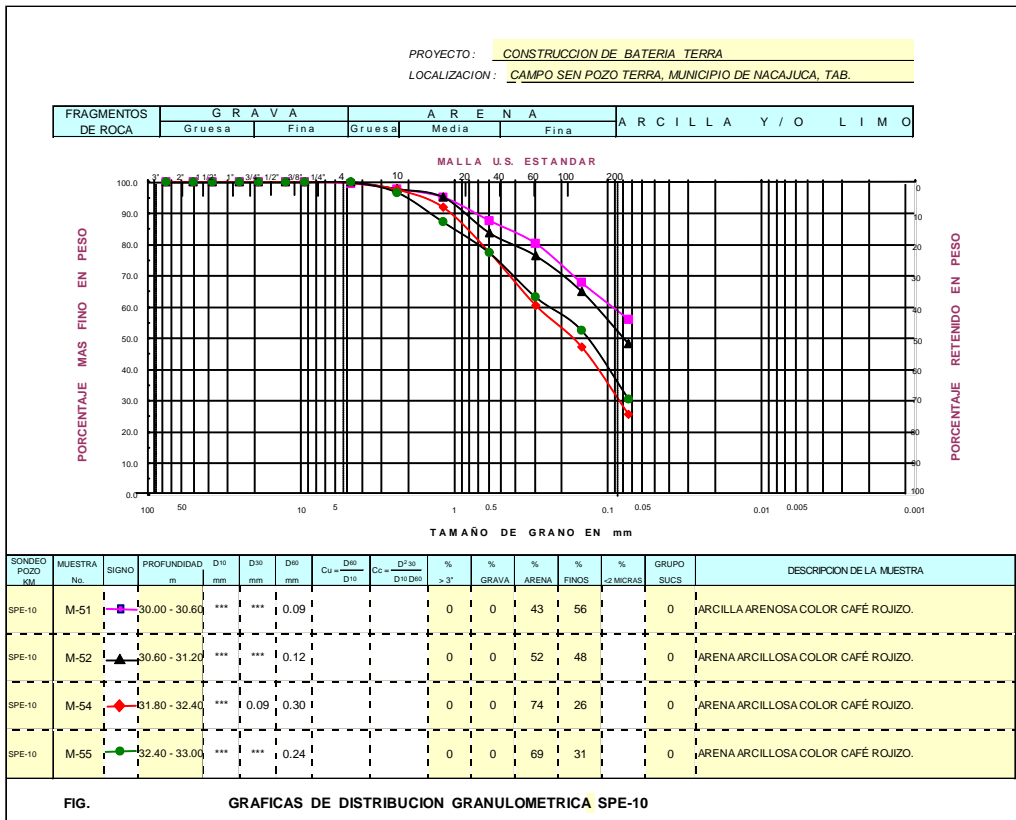
PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB. AREA, BANCO, SONDEO: SPE-10 FECHA: JULIO 2010 LABORATORISTA:																
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10			
MUESTRA No.	M-45				M-47				M-48				M-50			
PROF. m	26.40 - 27.00				27.60 - 28.20				28.20 - 28.80				29.40 - 30.00			
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g	Peso suelo mas tara g	Tara No.	Peso Tara g	Suelo Seco g
MUESTRA TOTAL	92.1			92.1	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
GRAVA TOTAL	92.1			92.1	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
GRAVA TOTAL	92.1			92.1	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
ANTES DE LAVAR	92.1			92.1	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
DESPUES DE LAVAR	92.1			92.1	96.4			96.4	111.7			111.7	102.6			102.6
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0
RETENIDOS	SUELO RETENIDO PARCIAL				SUELO RETENIDO PARCIAL				SUELO RETENIDO PARCIAL				SUELO RETENIDO PARCIAL			
MALLA No. <td colspan="4">RETENIDO PARCIAL</td> <td colspan="4">RETENIDO PARCIAL</td> <td colspan="4">RETENIDO PARCIAL</td> <td colspan="4">RETENIDO PARCIAL</td>	RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL				RETENIDO PARCIAL			
Abertura mm <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td></td></td>	% <td colspan="4">% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td></td>				% <td colspan="4">% <td colspan="4">% </td></td>				% <td colspan="4">% </td>				%			
3"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
10	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
20	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
40	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
60	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
100	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
200	0.074	0.7	0.8	99.2	0.6	0.6	0.6	99.4	0.4	0.4	0.4	99.6	0.2	0.2	0.2	99.8
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 0	A = 1	F = 99	G = 0	A = 1	F = 99	G = 0	A = 0	F = 100	G = 0	A = 0	F = 100	G = 0	A = 0	F = 100	
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	LL =		IP =	
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA COLOR CAFE ROJIZO.				ARCILLA COLOR CAFE ROJIZO.				ARCILLA COLOR CAFE ROJIZO.				ARCILLA COLOR CAFE ROJIZO.			
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4			
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0			

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**



PROYECTO : CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA																	
LOCALIZACION : CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.																	
AREA, BANCO, SONDEO : SPE-10																	
FECHA : JULIO 2010 LABORATORISTA :																	
SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-51				M-52				M-54				M-55				
PROF. m	30.00 - 30.60		30.60 - 31.20		31.80 - 32.40		32.40 - 33.00		30.00 - 30.60		30.60 - 31.20		31.80 - 32.40		32.40 - 33.00		
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	
MUESTRA TOTAL	91.8			91.8	99.1			99.1	93.9			93.9	86.3			86.3	
GRAVA TOTAL	91.8			91.8	99.1			99.1	93.9			93.9	86.3			86.3	
ANTES DE LAVAR	91.8			91.8	99.1			99.1	93.9			93.9	86.3			86.3	
DESPUES DE LAVAR	91.8			91.8	99.1			99.1	93.9			93.9	86.3			86.3	
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0				0.0	
MALLA No. <td colspan="2">RETENIDO WI</td> <td colspan="2">RETENIDO PARCIAL</td> <td colspan="2">RETENIDO ACUMULADO LADO</td> <td colspan="2">PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA</td> <td colspan="2">RETENIDO WI</td> <td colspan="2">RETENIDO PARCIAL</td> <td colspan="2">RETENIDO ACUMULADO LADO</td> <td colspan="2">PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA</td>	RETENIDO WI		RETENIDO PARCIAL		RETENIDO ACUMULADO LADO		PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA		RETENIDO WI		RETENIDO PARCIAL		RETENIDO ACUMULADO LADO		PORCENTAJE QUE PASA RESPECTO A MUESTRA		
ABERTURA mm <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td></td></td></td></td></td>	% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td></td></td></td></td>		% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td></td></td></td>		% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td></td></td>		% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td></td>		% <td colspan="2">% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td></td>		% <td colspan="2">% <td colspan="2">% </td></td>		% <td colspan="2">% </td>		%		
3"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
No. 4	0.4	0.4	0.4	99.6	0.0	0.0	0.0	100.0	0.3	0.3	0.3	99.7	0.0	0.0	0.0	100.0	
10	2.380	1.7	1.8	2.2	97.8	2.2	2.2	2.2	97.8	2.0	2.1	2.4	97.6	2.8	3.2	3.2	96.8
20	1.190	2.4	2.6	4.9	95.1	2.6	2.6	4.9	95.1	5.4	5.7	8.2	91.8	8.2	9.5	12.7	87.3
40	0.595	6.8	7.4	12.3	87.7	11.4	11.5	16.4	83.6	13.6	14.1	22.6	77.4	8.5	9.8	22.6	77.4
60	0.297	6.7	7.3	19.6	80.4	7.3	7.3	23.7	76.3	16.0	17.0	39.6	60.4	12.3	14.2	36.8	63.2
100	0.149	11.5	12.5	32.2	67.8	11.4	11.5	38.1	61.9	12.5	13.3	52.9	47.1	9.2	10.7	47.5	52.5
200	0.074	10.7	11.6	43.8	56.2	16.8	16.7	51.8	48.2	20.2	21.5	74.5	25.5	18.9	21.6	69.3	30.7
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 0	A = 43	F = 56		G = 0	A = 52	F = 48		G = 0	A = 74	F = 26		G = 0	A = 69	F = 31		
PLASTICIDAD DE LA FRACCION FINA, %	LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		LL =		IP =		
DESCRIPCION DEL SUELO	ARCILLA ARENOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				GRAVA1 GRAVA2 GRAVA3 GRAVA4				
FRACCIONES DE GRAVA	0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				0 0 0 0				

GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS





**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

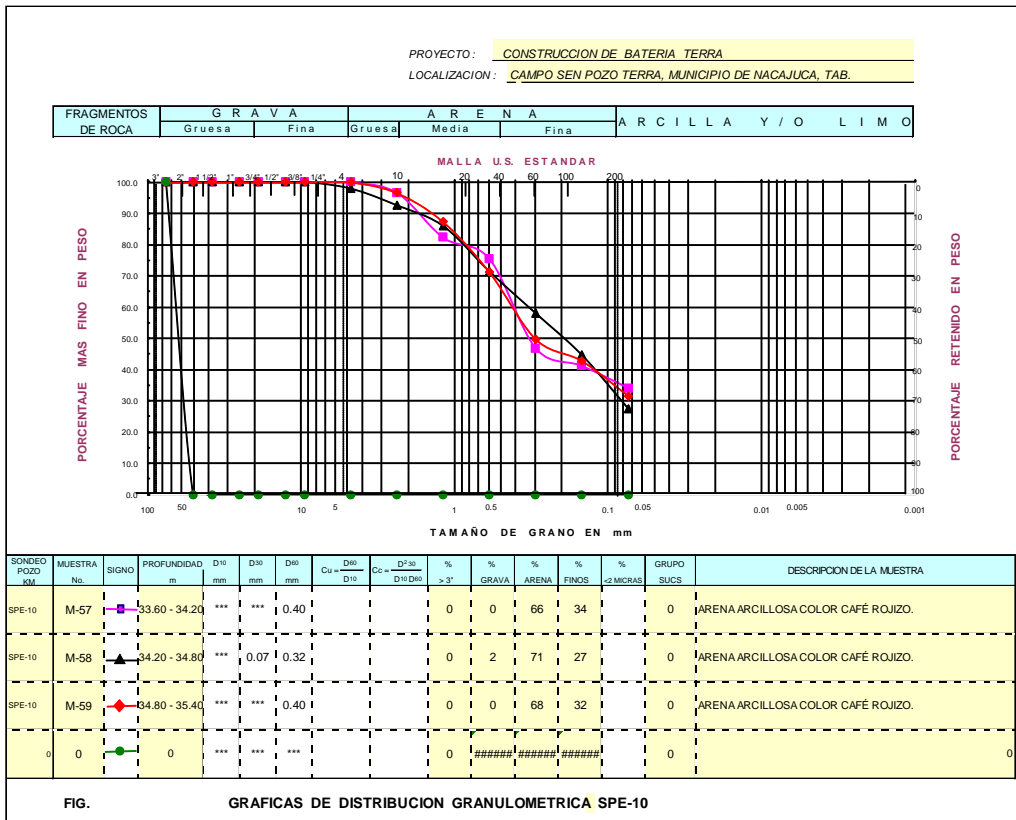
PROYECTO: CONSTRUCCION DE BATERIA TERRA  
LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TAB.  
AREA, BANCO, SONDEO: SPE-10

FECHA: JULIO 2010 LABORATORISTA:

SONDEO, POZO, KM. No.	SPE-10				SPE-10				SPE-10				
MUESTRA No.	M-57				M-58				M-59				
PROF. m	33.60 - 34.20				34.20 - 34.80				34.80 - 35.40				
PESOS SECOS PARA EL ANALISIS (Tamaños menores que 3")	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	Peso suelo mas tara	Tara	Peso Tara	Suelo Seco	
MUESTRA TOTAL	103.9			103.9	89.2			89.2	97.3			97.3	
GRAVA TOTAL	103.9			103.9	89.2			89.2	97.3			97.3	
ANTES DE LAVAR	103.9			103.9	89.2			89.2	97.3			97.3	
DESPUES DE LAVAR	103.9			103.9	89.2			89.2	97.3			97.3	
PERDIDA POR LAVADO				0.0				0.0				0.0	
RETENIDOS	SUELO				SUELO				SUELO				
RETENIDO	Wi	PARCIAL	ACUM. LADO	RESPECTO A MUESTRA	Wi	PARCIAL	ACUM. LADO	RESPECTO A MUESTRA	Wi	PARCIAL	ACUM. LADO	RESPECTO A MUESTRA	
GRUESA TOTAL	3"	78.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
FRACCION FINA REPRESENTATIVA	20	14.9	14.4	17.7	82.3	5.9	6.6	14.2	85.8	9.0	9.3	12.7	87.3
CONTENIDO DE GRAVA, ARENA, FINOS EN %	G = 0	A = 66	F = 34		G = 0	A = 71	F = 27		G = 0	A = 68	F = 32		
DESCRIPCION DEL SUELO	ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				ARENA ARCILLOSA COLOR CAFE ROJIZO.				
CLASIFICACION SUCS	GRAVA1	GRAVA2	GRAVA3	GRAVA4	GRAVA1	GRAVA2	GRAVA3	GRAVA4	GRAVA1	GRAVA2	GRAVA3	GRAVA4	
FRACCIONES DE GRAVA	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	

**GRANULOMETRIA INTEGRAL POR MALLAS**

Tamaños entre 3" y 12". Están referidos al material en grava



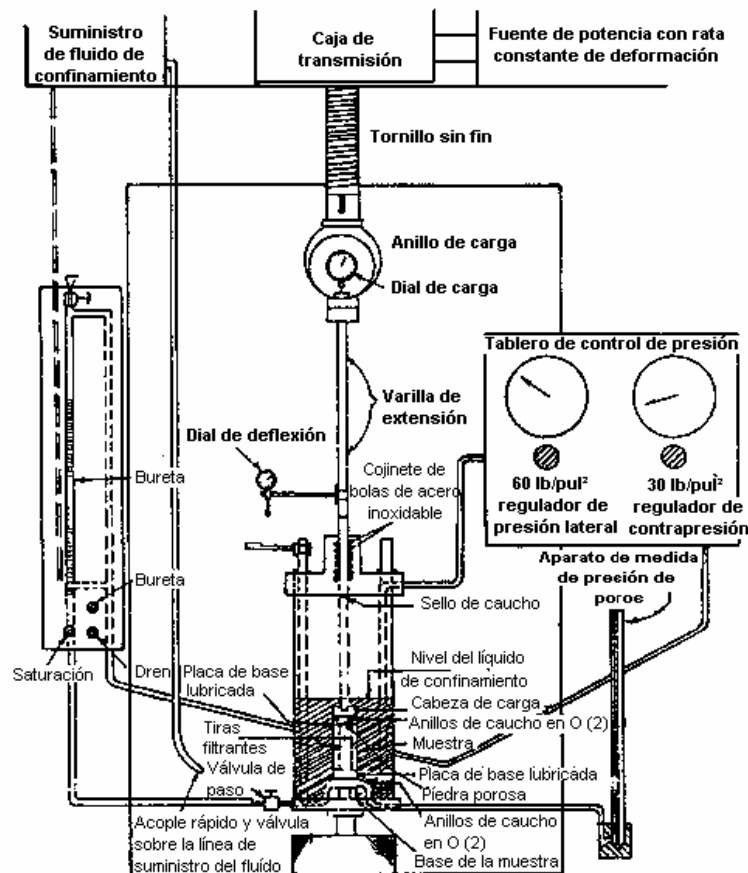
### 2.3.4. Prueba triaxial rápida no consolidada no drenada (UU).

La principal finalidad del ensayo triaxial es obtener parámetros del suelo en estudio y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica del suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección.

Alcanzando un estado de equilibrio, se aumenta la presión normal o axial ( $\sigma_1$ ), sin modificar la presión lateral aplicada ( $\sigma_3$ ), hasta que se produzca la falla.

En este tipo de prueba no se permite en ninguna etapa la consolidación de la muestra.



**Figura.- 2.2 Esquema típico de un aparato triaxial.**

Los resultados de la prueba son los siguientes:

**PRUEBA TRIAXIAL UU**

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: ARCILLA GRIS CLARO

PROYECTO: **BATERIA TERRA**

SONDEO: **ZONA SPE-10**

FECHA: **AGOSTO-010**

MUESTRA: **TSH-2**

CONSTANTE: **0.175**

PROFUND.: **0.40-1.00**

PRESION: **0.25 kg/cm<sup>2</sup>**

OPERADOR:

VELOCIDAD: **0.01667**

ds=	3.74	cm	Wo=	105.20	gr
dm=	3.74	cm	Wt=	2.50	gr
di=	3.75	cm	Wt+sh=	107.40	gr
d prom.=	<b>3.74</b>	cm	Wt+ss=	39.30	gr
h1=	9.00	cm	Ss=	2.15	
h2=	9.00	cm	W(%)=	<b>185.05</b>	
h prom.=	<b>9.00</b>	cm	pvhi=	<b>1.063</b>	ton/m <sup>3</sup>
Ao=	<b>10.996</b>	cm <sup>2</sup>	pvhf=	<b>1.060</b>	ton/m <sup>3</sup>
Vo=	<b>98.961</b>	cm <sup>3</sup>	pvs=	<b>0.373</b>	ton/m <sup>3</sup>
ei=	<b>4.765</b>		Gi=	<b>83.49</b>	(%)
ef=	<b>4.782</b>		Wi=	<b>185.87</b>	(%)
si=	<b>83.57</b>	(%)	Wf=	<b>185.05</b>	(%)
sf=	<b>83.21</b>	(%)			
tiempo mm	anillo mm	f Kg	Def. %	Ac cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.9956	0.0000
10	0.50	0.0875	0.1667	11.0140	0.0079
20	1.00	0.1750	0.3334	11.0324	0.0159
30	1.50	0.2625	0.5001	11.0509	0.0238
40	2.00	0.3500	0.6668	11.0694	0.0316
50	2.50	0.4375	0.8335	11.0880	0.0395
60	3.00	0.5250	1.0002	11.1067	0.0473
80	4.00	0.7000	1.3336	11.1442	0.0628
100	6.00	1.0500	1.6670	11.1820	0.0939
120	8.00	1.4000	2.0004	11.2201	0.1248
150	10.00	1.7500	2.5005	11.2776	0.1552
180	13.00	2.2750	3.0006	11.3358	0.2007
240	16.00	2.8000	4.0008	11.4539	0.2445
360	20.00	3.5000	6.0012	11.6976	0.2992
480	24.00	4.2000	8.0016	11.9520	0.3514
600	28.00	4.9000	10.0020	12.2176	0.4011
720	32.00	5.6000	12.0024	12.4954	0.4482
840	36.00	6.3000	14.0028	12.7860	0.4927
850	35.00	6.1250	14.1695	12.8109	0.4781
					0.4927

**PRUEBA TRIAXIAL UU**

PROYECTO: BATERIA TERRA  
SONDEO: ZONA SPE-10  
MUESTRA: TSH-2  
PROFUND.: 0.40-1.00

<b>PRESION:</b>		<b>0.50 kg/cm<sup>2</sup></b>	
ds=	3.78 cm	Wo=	106.00 gr
dm=	3.78 cm	Wt=	2.50 gr
di=	3.77 cm	Wt+sh=	108.20 gr
d prom.=	<b>3.78</b> cm	Wt+ss=	39.60 gr
h1=	9.00 cm	Ss=	2.15
h2=	9.00 cm	W(%)=	<b>184.91</b>
h prom.=	<b>9.00</b> cm	pvhi=	<b>1.050</b> ton/m3
Ao=	<b>11.212</b> cm <sup>2</sup>	pvhf=	<b>1.047</b> ton/m3
Vo=	<b>100.910</b> cm <sup>3</sup>	pvs=	<b>0.369</b> ton/m3
ei=	<b>4.831</b>	Gi=	<b>82.29</b> (%)
ef=	<b>4.848</b>	Wi=	<b>185.71</b> (%)
si=	<b>82.363</b> (%)	Wf=	<b>184.91</b> (%)
sf=	<b>82.005</b> (%)		

tiempo mm	anillo mm	f Kg	Def. %	Ac cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	11.2122	0.0000
10	0.80	0.1400	0.1667	11.2309	0.0125
20	1.60	0.2800	0.3334	11.2497	0.0249
30	2.40	0.4200	0.5001	11.2685	0.0373
40	3.20	0.5600	0.6668	11.2875	0.0496
50	4.00	0.7000	0.8335	11.3064	0.0619
60	5.00	0.8750	1.0002	11.3255	0.0773
80	6.00	1.0500	1.3336	11.3637	0.0924
100	8.00	1.4000	1.6670	11.4023	0.1228
120	10.00	1.7500	2.0004	11.4411	0.1530
150	12.00	2.1000	2.5005	11.4997	0.1826
180	15.00	2.6250	3.0006	11.5590	0.2271
240	18.00	3.1500	4.0008	11.6795	0.2697
360	22.00	3.8500	6.0012	11.9280	0.3228
480	26.00	4.5500	8.0016	12.1874	0.3733
600	30.00	5.2500	10.0020	12.4583	0.4214
720	36.00	6.3000	12.0024	12.7415	0.4944
840	38.00	6.6500	14.0028	13.0379	0.5101
850	37.00	6.4750	14.1695	13.0632	0.4957
860	36.00	6.3000	14.3362	13.0886	0.4813

0.5101

### PRUEBA TRIAXIAL UU

PROYECTO: BATERIA TERRA  
SONDEO: ZONA SPE-10  
MUESTRA: TSH-2  
PROFUND.: 0.40-1.00

<b>PRESION: 1.00 kg/cm<sup>2</sup></b>			
ds=	3.80 cm	Wo=	106.40 gr
dm=	3.80 cm	Wt=	2.50 gr
di=	3.80 cm	Wt+sh=	108.60 gr
d prom.=	<b>3.80</b> cm	Wt+ss=	39.70 gr
h1=	9.00 cm	Ss=	2.15
h2=	9.00 cm	W(%)=	<b>185.22</b>
h prom.=	<b>9.00</b> cm	pvhi=	<b>1.042</b> ton/m3
Ao=	<b>11.341</b> cm <sup>2</sup>	pvhf=	<b>1.039</b> ton/m3
Vo=	<b>102.070</b> cm <sup>3</sup>	pvs=	<b>0.365</b> ton/m3
ei=	<b>4.883</b>	Gi=	<b>81.56</b> (%)
ef=	<b>4.899</b>	Wi=	<b>186.02</b> (%)
si=	<b>81.635</b> (%)	Wf=	<b>185.22</b> (%)
sf=	<b>81.281</b> (%)		

tiempo mm	anillo mm	f Kg	Def. %	Ac cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	11.3411	0.0000
10	1.00	0.1750	0.1667	11.3601	0.0154
20	2.00	0.3500	0.3334	11.3791	0.0308
30	3.00	0.5250	0.5001	11.3982	0.0461
40	4.00	0.7000	0.6668	11.4173	0.0613
50	5.00	0.8750	0.8335	11.4365	0.0765
60	6.00	1.0500	1.0002	11.4557	0.0917
80	8.00	1.4000	1.3336	11.4944	0.1218
100	10.00	1.7500	1.6670	11.5334	0.1517
120	12.00	2.1000	2.0004	11.5726	0.1815
150	15.00	2.6250	2.5005	11.6320	0.2257
180	18.00	3.1500	3.0006	11.6920	0.2694
240	22.00	3.8500	4.0008	11.8138	0.3259
360	26.00	4.5500	6.0012	12.0652	0.3771
480	30.00	5.2500	8.0016	12.3276	0.4259
600	34.00	5.9500	10.0020	12.6016	0.4722
720	38.00	6.6500	12.0024	12.8880	0.5160
840	42.00	7.3500	14.0028	13.1878	0.5573
850	41.00	7.1750	14.1695	13.2134	0.5430
860	40.00	7.0000	14.3362	13.2391	0.5287

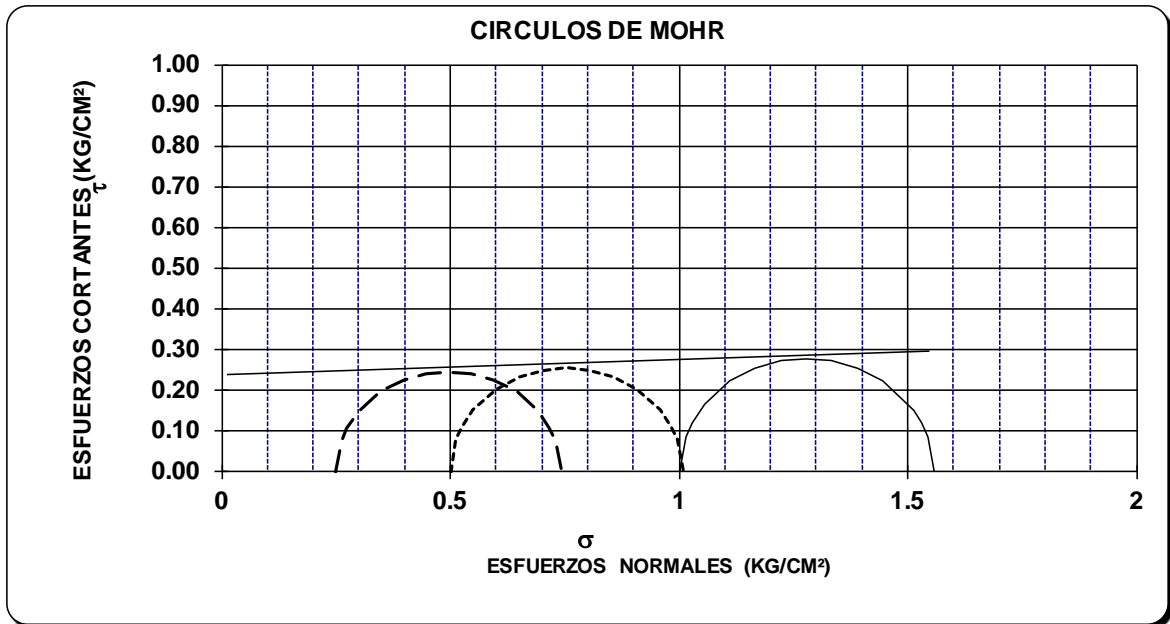
0.5573

**PRUEBA TRIAXIAL UU**

OBRA: BATERIA TERRA  
SONDEO: ZONA SPE-10  
MUESTRA: TSH-2 PROF.: 0.40-1.00

DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
ARCILLA GRIS CLARO

ENSAYO Num.	PRESION CONF. (kg/cm <sup>2</sup> )	ESF. A LA FALLA (kg/cm <sup>2</sup> )	PESO VOLUM. NATURAL (ton/m <sup>3</sup> )	Gwi (%)	ei	VALORES PROMEDIO															
						Ss=	2.15	wi=	185.87 %	wf=	185.06 %	Gw=	82.45 %	Gwf=	82.16 %	PVN=	1.052 ton/m <sup>3</sup>	PVF=	1.049 ton/m <sup>3</sup>	ei=	4.83
1	0.25	0.49	1.063	83.5	4.765																
2	0.50	0.51	1.050	82.3	4.831																
3	1.00	0.56	1.042	81.6	4.883																
DATOS FINALES																					
						ef	Gwf	wf	pvhf												
1	0.25					4.782	83.207	185.05	1.060												
2	0.50					4.848	82.005	184.91	1.047												
3	1.00					4.899	81.281	185.22	1.039												



C=	0.22	kg/cm <sup>2</sup>
Ø=	1	grados
E=		kg/cm <sup>2</sup>
μ=	0.45	

PRUEBA TRIAXIAL UU

OBRA: BATERIA TERRA

SONDEO: ZONA SPE-10

MUESTRA: TSH-2

PROF: 0.40-1.00

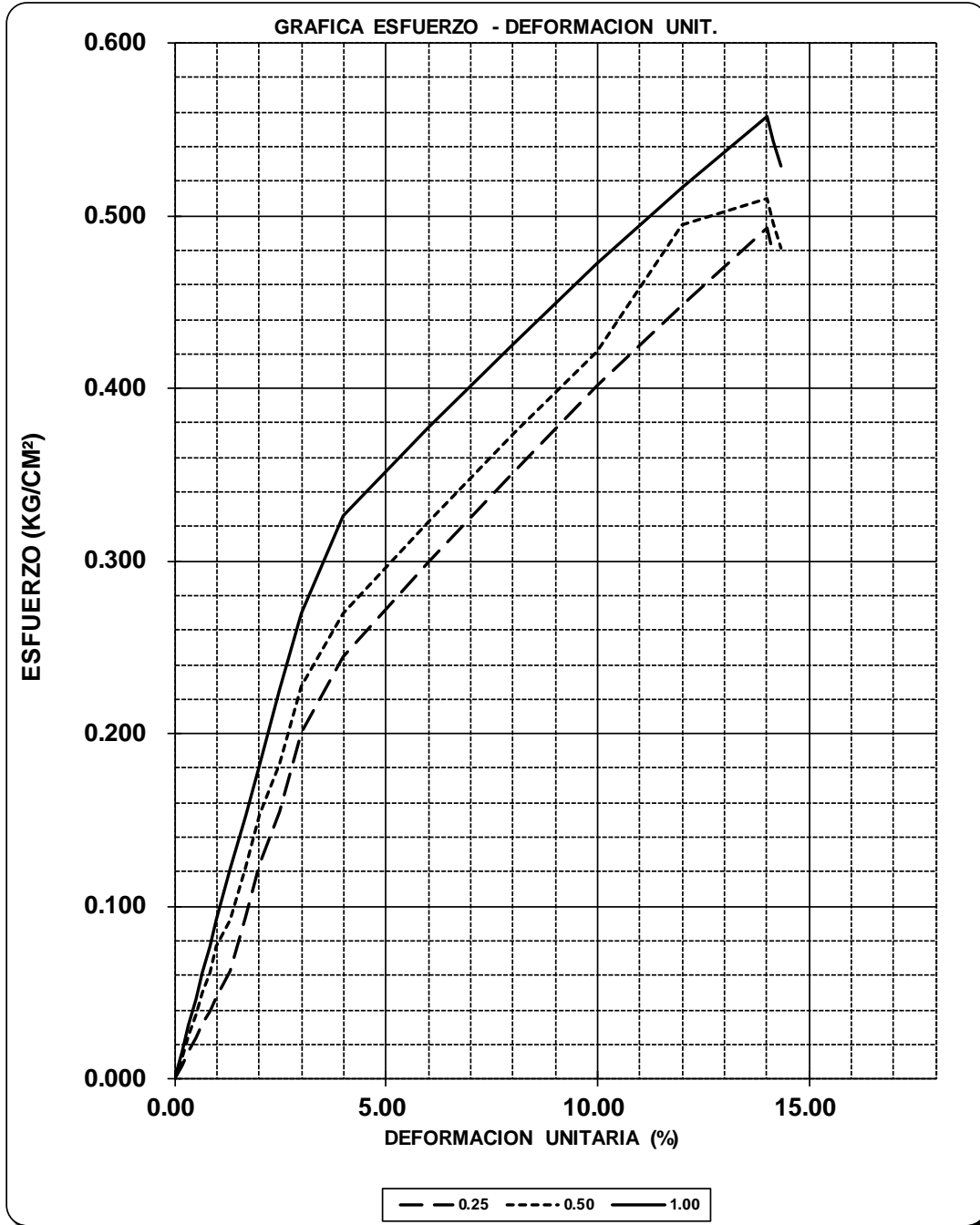


Figura.- 2.3 Grafica Esfuerzo-Deformación.

### 2.3.5. Prueba de consolidación unidimensional

El objetivo de la prueba es determinar el decremento de volumen y la velocidad con que este decremento ocurre en un espécimen de suelo confinado lateralmente y sujeto a una carga axial.

Durante la prueba se aplica una serie de incrementos crecientes de carga axial, y por efecto de estos el agua tiende a salir del espécimen a través de piedras porosas colocadas en sus caras.

El cambio de volumen se mide con un micrómetro montado en un puente fijo y conectado a la placa de carga sobre la piedra porosa superior.

Para cada incremento de carga aplicada se miden los cambios volumétricos, usando intervalos apropiados para efectuar las mediciones.

Los datos registrados conducen a la obtención de la curva de consolidación.

Dibujando las lecturas del micrómetro como ordenadas, en escala natural y los tiempos como abscisas en escala logarítmica, se logra que la curva de consolidación obtenida en laboratorio sea fácilmente comparada con la curva teórica.

En la mayoría de los suelos arcillosos de alta plasticidad se puede encontrar una concordancia hasta de un 60% o 70% de consolidación.

Delante de estos límites la curva de laboratorio suele volverse asintótica a una recta inclinada respecto a la línea horizontal por el valor 100% de consolidación de la curva teórica.

Esta desviación corresponde a la consolidación secundaria debida a la compresión que ocurre a esfuerzo efectivo constante después de que se disipa la presión de poros.

Los resultados de la prueba son presentados a continuación:



## CALCULO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

PROYECTO: **BATERIA TERRA**

SONDEO: **ZONA SPE-10**

PROF.: 0.40-1.00 M

MUESTRA: **TSH-2**

CONS.No 2

ANILLO No 2

Ss= 2.15

D. ANILLO 8.020 Cm.

FECHA: 1/8/10

H. ANILLO 1.970 Cm.

A. ANILLO 50.517 Cm<sup>2</sup>.

W. ANILLO 58.000 Gr.

DATOS INICIALES

DATOS FINALES

Wh+A 174.80 gr

Wh+A+T 179.60 gr

W TARA 25.50 gr

Ws+A+T 117.10 gr

Ws= 33.6000 gr

Whi= 116.80 gr

Wwi= 83.2000 gr

Whf= 96.10 gr

Wwf= 62.5000 gr

Vi= 99.5189 cm<sup>3</sup>

Vf= 67.8951 cm<sup>3</sup>

Vs= 15.6279 cm<sup>3</sup>

Vv= 83.8910 cm<sup>3</sup>

Vw= 83.2000 cm<sup>3</sup>

Pvhi= 1.1736 ton/m<sup>3</sup>

Pvhf= 1.4154 ton/m<sup>3</sup>

Wi= 247.62 %

Si= 99.18 %

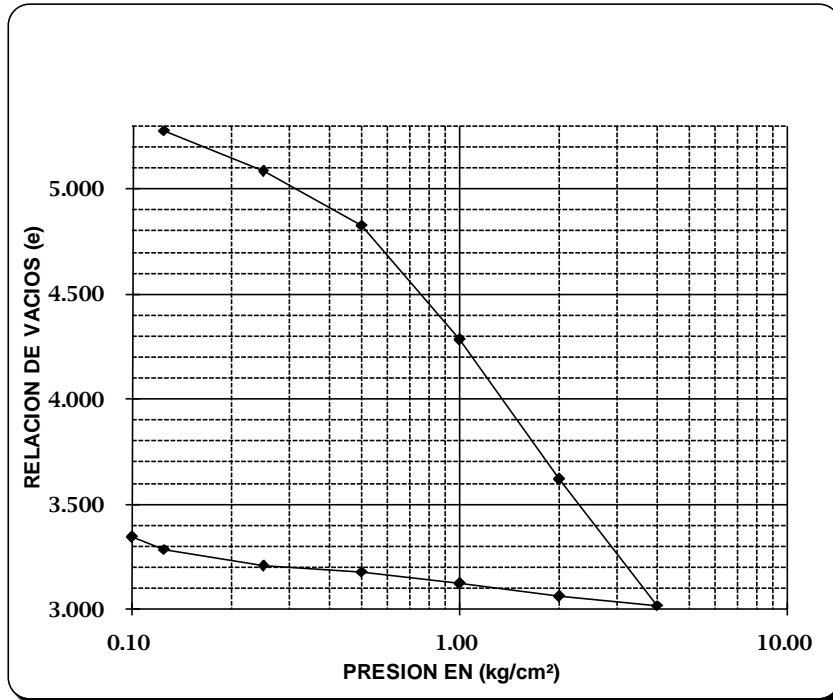
Wf= 186.01 %

Sf= 119.58 %

ei 5.3680

ef 3.3445

Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Micro mm.	Corr.d.A mm	D.Corr.A mm	Def.vol. %	e	Vf cm <sup>3</sup>
Lec.l=	23.400					
0.125	23.108	0.013	0.2790	1.4162	5.2778	98.1094
0.250	22.490	0.026	0.8840	4.4873	5.0823	95.0532
0.500	21.688	0.043	1.6690	8.4721	4.8285	91.0876
1.000	19.980	0.064	3.3560	17.0355	4.2832	82.5653
2.000	17.900	0.094	5.4060	27.4416	3.6205	72.2093
4.000	16.002	0.138	7.2600	36.8528	3.0212	62.8434
2.000	16.157	0.118	7.1250	36.1675	3.0649	63.5254
1.000	16.359	0.091	6.9500	35.2792	3.1214	64.4094
0.500	16.562	0.069	6.7690	34.3604	3.1799	65.3238
0.250	16.659	0.055	6.6860	33.9391	3.2068	65.7431
0.125	16.921	0.044	6.4350	32.6650	3.2879	67.0111
0.000	17.140	0.000	6.2600	31.7766	3.3445	67.8951



**Figura.- 2.4 Curva de Compresibilidad.**

DATOS DE ACUERDO A LAS DESCARGAS CONSIDERADAS:

BATERIA TERRA                       $P_i = 0.27 \text{ kg/cm}^2$                        $e_i = 2.295$   
 ZONA SPE-10                       $D_p = 0.108 \text{ kg/cm}^2$   
 0.40-1.00 M                       $P_f = 0.378 \text{ kg/cm}^2$                        $e_f = 2.290$

$$a_v = \frac{e_i - e_f}{P_i - P_f} = 0.462963$$

$$m_v = \frac{a_v}{(1 + e_i)} = 0.0141$$

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)} = 0.034$$

DATOS INICIALES				$\bar{P}_c$	Mv
W%	Ss	e	Gw %	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
247.62	2.15	5.368023	99.176	1.50	0.0141
SONDEO ZONA SPE-10				PROFUNDIDAD (m) 0.00	

## 2.4. ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

Los suelos se clasifican según el sistema unificado de clasificación de suelos a partir de las propiedades índice. En total se encontraron 8 estratos de los cuales se hace su descripción a continuación con todas sus propiedades.

SPE No. 10

- 1) Superficialmente se encuentra una capa de arcilla orgánica color café oscuro. Su contenido de humedad tiene un rango desde 91.4 % hasta 191.4 %. Presenta una consistencia muy blanda en su estado natural. Por su granulometría y Límites de Atterberg, esta capa de suelo se clasifica como OH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Su profundidad es de 0.00 a 3.00 metros, el espesor del estrato es de 3 m.
- 2) Continúa una capa de arcilla arenosa con conchillas color gris oscuro. El contenido de humedad es de 35.9 a 99.5 %. Por el número de golpes registrados en la prueba de Penetración Estándar, esta capa tiene una consistencia natural muy blanda. Por su granulometría y Límites de Plasticidad, a esta capa de suelo se clasifica como OH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. La profundidad es de 3.00m a 9.00 m, el espesor de esta capa es de 6.00 metros.
- 3) Prosigue una arcilla inorgánica color gris verdoso con cedacería de conchillas. Su contenido de humedad oscila entre 31.2 y 93.7 %. Presenta una consistencia media a firme en su estado natural. Este estrato se cataloga como CH según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, por su granulometría y límites de Plasticidad, la profundidad es de 9.00m a 12.60 m y tiene 3.60 metros de espesor.
- 4) A continuación aparece una capa de arcilla inorgánica color café rojizo. Presenta humedad desde 34.5 a 40.2 %. Presenta una consistencia muy firme en su estado natural. El suelo se clasifica como CH conforme al sistema unificado. Este tipo de suelo se encontró a la profundidad de 12.60 a 14.10 metros. Espesor del estrato 1.5 metros.
- 5) Le subyace una capa de arcilla arenosa color rojizo. Su contenido de humedad es de 26.7 – 36.4 %. Presenta una consistencia muy firme en su estado natural. Ensayes de granulometrías y Límites de Plasticidad catalogan al suelo como CL según Clasificación SUCS. La profundidad a que se encontró esta capa es de 14.10 a 20.10 metros. Espesor del estrato 6 metros.

- 6) Continúa una capa de arena arcillosa color café rojizo. El contenido de humedad es de 16.3 a 42.5 %. Por el número de golpes registrados en la prueba de penetración estándar, esta capa tiene una compacidad relativa mediana en su estado natural. La profundidad es de 20.10 a 24.30 metros y el espesor de esta capa es de 4.20 metros.
- 7) A continuación aparece una capa de arcilla inorgánica color café rojizo. Presenta humedad desde 26.5 a 39.0 %. Presenta una consistencia muy firme a muy dura en su estado natural. El suelo se clasifica como CH conforme al sistema unificado. Este tipo de suelo se encontró a la profundidad de 24.30 a 30.00 metros. Espesor del estrato de 5.7 metros
- 8) Por ultimo se encuentra una capa de arena arcillosa color café rojizo con contenido de humedad de 21.4 a 28.1 %. Presenta una compacidad relativa alta en su estado natural. El suelo se clasifica como SC según el Sistema Unificado (SUCS). Este estrato se encontró a la profundidad de 30.00 a 35.40 metros. El espesor de este Estrato es de 5.4 metros, fin del sondeo.

El nivel freático se encontró a profundidad variable, debido a que cuando se realizaron el primer barreno (inicio de abril) se tenía un tirante de agua del orden de 0.50 m, a medida que pasaron los días, fue disminuyendo gradualmente y el tirante de agua se perdió de la superficie. Al principio superficialmente encontraba el agua y en los últimos barrenos (inicio de mayo) para disponer agua para la exploración se tenían que realizar excavaciones y el agua se localizaba entre 1.40 m de profundidad.

Es de interpretarse que el agua se acumula en épocas de abundantes lluvias formando grandes lagunas que alcanzan cerca de los 1.50 m (a fines de octubre 2009 se presentó una fuerte inundación en la zona) y en épocas de estiaje se seca. La superficie de proyecto es una superficie sensiblemente plana.

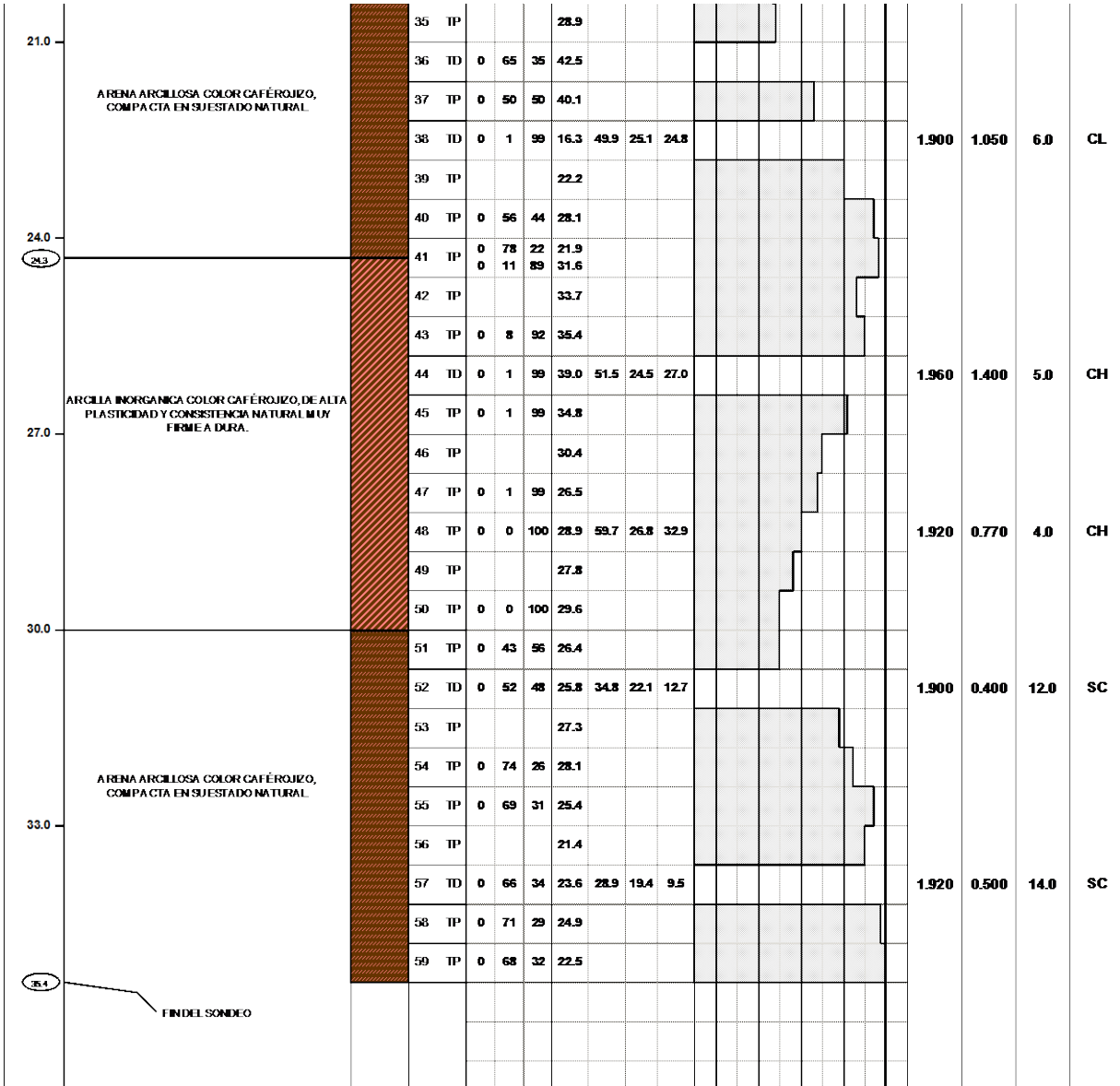
Nivel freático registrado después de terminar el sondeo:

SONDEO	FECHA	TIRANTE (m)	NAF ( m )
SPE-10	14-05-010	0.00	0.10

**DISEÑO DE LA CIMENTACION PARA UNA BOMBA RECIPROCANTE  
EN UNA BATERIA DE SEPARACION DE HIDROCARBUROS EN VILLAHERMOSA TABASCO**

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA. LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TABASCO. SOLICITANTE:		COORDENADAS: X 501650 Y 2018149 ELEVACION: ***** M NIVEL FREATICO: ***** M		SONDEO SPE - 10														
PROF. (m)	DESCRIPCION	PERFIL	MUESTRA No. TIPO	CONTENIDO %		CONTENIDO DE AGUA %		ESF. VERT. EFECTIVO( $\sigma_v$ )				$\gamma_m$	c	$\phi$	SUCS			
				grava	arena	finos	Wo	LL	LP	IP	10					20	40	50
0.0	ARCILLA ORGANICA COLOR CAFÉ OSCURO, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.		1 TP	0	9	91	118.4											
			2 TP	0	12	88	142.1	82.5	42.5	40.0								
			3 TP				91.4											
			4 TP	0	11	89	120.7											
			5 TP	0	10	90	191.4											
3.0	ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.		6 TP	0	4	96	47.8											
			7 TP	0	1	99	66.4	90.7	41.6	49.1								
			8 TP				38.8											
			9 TP	24	29	47	49.6											
			10 TP	18	25	57	35.9											
6.0	ARCILLA ARENOSA CON CONCHILLAS COLOR GRIS OSCURO, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY BLANDA.		11 TP	14	20	66	70.4											
			12 TP				83.9											
			13 TP	13	22	65	73.6	86.8	44.6	42.2								
			14 TP	6	12	82	84.9											
			15 TP	2	5	93	99.5											
9.0	ARCILLA INORGANICA CON PEDACERIA DE CONCHILLAS COLOR GRIS VERDOSO, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MEDIA A FIRME.		16 TP				90.5											
			17 TP	4	10	86	88.5											
			18 TP	1	14	85	93.7	58.9	24.4	34.5								
			19 TP	0	26	74	31.2											
			20 TP				86.0											
12.0	ARCILLA INORGANICA COLOR CAFÉ ROJIZO, DE ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.		21 TP	1	5	94	34.8											
12.6			22 TP				34.5											
			23 TP	0	1	99	40.2	52.6	24.5	28.1								
			24 TP	0	8	92	39.0											
			25 TP	0	44	56	29.4											
15.0	ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO, DE MEDIANA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.		26 TP	0	39	61	32.1											
			27 TP	0	43	57	30.1											
			28 TP	0	39	61	33.5	45.3	19.7	25.6								
			29 TD	0	45	55	36.4											
			30 TP	0	41	59	32.5											
18.0	ARCILLA ARENOSA COLOR ROJIZO, DE MEDIANA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA NATURAL MUY FIRME.		31 TP	0	42	58	28.3											
			32 TP				26.7											
			33 TP	0	42	58	33.8	42.8	23.4	19.4								
			34 TP	0	49	51	34.0											
20.1			0	64	36	23.4												

PROYECTO: CONFIGURACION DE BATERIA TERRA. LOCALIZACION: CAMPO SEN POZO TERRA, MUNICIPIO DE NACAJUCA, TABASCO. SOLICITANTE:		COORDENADAS: X 501650 Y 2018149 ELEVACION: ***** M NIVEL FREATICO: _____ M		SONDEO SPE-10												
PROF. (m)	DESCRIPCION	PERFIL	MUESTRA No. TIPO	CONTENIDO %		CONTENIDO DE AGUA %				ESF. VERT. EFECTIVO( $\sigma_v$ )	$\gamma_m$	C	$\phi$	SUCS		
				grava	arena	LIMITES DE CONSISTENCIA									número de golpes N	
				Wo	LL, LP, IP	10	20	40	50	10	20	30	40	t/m3	kg/cm2	



**SIMBOLOGIA**

ARCILLA	LIMOS	CARBONATOS	<b>LL</b> Límite líquido
GRAVA	RAICES	ARENOSCA	<b>LP</b> Límite plástico
ARENA	NIVEL DE AGUA FREATICA	TERRENO VEGETAL	<b>IP</b> Índice plástico
			<b>Ss</b> Densidad de sólidos
			<b>TP</b> Tubo partido
			<b>N</b> Número de golpes
			<b>SUCS</b> Sistema unificado de clasif. suelos

## CAPITULO 3: ANALISIS Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

### 3.1. LIMITES DE MOVIMIENTOS Y DEFORMACIONES EN LA ESTRUCTURA.

Existe una gran cantidad de información disponible sobre métodos de predicción de asentamientos en las edificaciones, sin embargo hay muy poca información sobre la cantidad y tipo de movimiento que las edificaciones pueden tolerar sin que se les ocasione daño.

En muchas estructuras de cimentación el criterio de diseño por movimientos permisibles es el que rige debido al comportamiento del sistema suelo-estructura. Para saber si la estructura cumple con el estado límite de servicio es necesario calcular los asentamientos debidos a los estados de carga críticos.

Existen dos problemas al aplicar el criterio: (a). Que movimiento puede ser tolerado por la estructura y (b). Como se pueden predecir tales movimientos.

Lo que usualmente se hace en la práctica es asumir que la teoría elástica predice correctamente los cambios debidos a las cargas aplicadas, y que las "constantes elásticas" pueden obtenerse al realizar los ensayos de laboratorio apropiados. Tradicionalmente, el asentamiento de arcillas saturadas se considera en tres fases:

1. Asentamiento inmediato; debido a la deformación a volumen constante de la masa de suelo.
2. Asentamiento por consolidación; ocurre al escapar la presión de poros del suelo y transferirla carga al suelo libre de vacíos.
3. Asentamiento por compresión secundaria; la compresión que ocurre a esfuerzo efectivo constante, después que se disipa la presión de poros.

Los métodos más comunes para calcular el asentamiento inmediato emplean varias integraciones de la solución de Boussinesq para determinar el asentamiento de una carga puntual en la superficie de un semi-espacio homogéneo, isotrópico y elástico.

El asentamiento por consolidación primaria se produce en suelos cohesivos o compresibles y ocurre con la disipación del exceso de la presión de poros del fluido, y es controlada por la expulsión gradual de líquido de los vacíos en el suelo que conduce a la compresión del estrato correspondiente. El exceso de presión de poro es la presión que supera la presión hidrostática del fluido. El fluido de los poros normalmente es agua con un poco de sales disueltas. Para calcularlo se emplea la teoría de consolidación de Terzaghi y deben tenerse las siguientes consideraciones:

- a) El asentamiento por consolidación primaria es normalmente insignificante en suelos poco cohesivos y se produce con rapidez debido a que estos suelos tienen relativamente permeabilidades muy altas.
- b) La consolidación primaria toma un tiempo considerable en suelos cohesivos, porque tienen permeabilidad relativamente baja. El tiempo por consolidación primaria se incrementa con el espesor del estrato y se relaciona inversamente con el coeficiente de permeabilidad.

Para el cálculo del asentamiento por consolidación secundaria se asume que este no comienza sino hasta que termina la consolidación primaria y que existe una relación lineal entre el asentamiento y el logaritmo de tiempo.

Una vez que se tiene el decremento en la relación de vacíos se procede de igual forma que en el cálculo del asentamiento por consolidación primaria.

Para analizar el movimiento producido por un equipo que ejerce cargas dinámicas, y mas específicamente un equipo reciprocante, se sabe que las fuerzas que transmite hacia la cimentación son armónicas.

Las fuerzas actúan a la frecuencia de operación del equipo y debido a que la maquina va a estar empotrada a un patín estructural donde estarán montados todos los componentes del sistema de bombeo, las cargas dinámicas serán transmitidas a lo largo del patín estructural como fuerzas verticales que en determinadas condiciones pudieran causar un movimiento de cabeceo de la estructura de cimentación.

Por lo tanto el movimiento que nos interesa determinar es la amplitud máxima que experimentará la estructura ante las cargas dinámicas del equipo en funcionamiento.

En general, no es posible establecer un máximo absoluto para las amplitudes de vibración.

En primer lugar, los niveles tolerables de amplitudes disminuyen cuando la velocidad de la máquina aumenta; y segundo, las amplitudes tolerables son mucho más bajas cuando la máquina vibratoria está en una edificación para compresores o cercano a personas, que cuando la máquina está ubicada en una zona aislada, el cual es el caso del presente trabajo.



Por otro lado, con objeto de analizar dicha cimentación sometida a vibraciones, se puede establecer una analogía simple representada por un sistema de un grado de libertad que consta de un elemento de masa, un resorte y un amortiguador. Conociendo la masa, la constante de resorte y la relación de amortiguamiento, la respuesta del sistema puede determinarse para cualquier tipo de sollicitación dinámica.

Para este caso la amplitud de vibración es finita, pero puede ser excesiva y por tanto inaceptable. De manera que para evitar esta zona de altas amplitudes (resonancia), la relación de frecuencias  $f/f_n$  (frecuencia de operación contra frecuencia natural) deberá estar preferiblemente fuera del rango de valores de amortiguamiento entre 0.7 y 1.4, a fin de evitar que esta consideración sea crítica.

Generalmente los límites de amplitudes los establece el fabricante del equipo pues las mayores repercusiones de valores excesivos se reflejan en el funcionamiento del equipo.

La siguiente Figura muestra los niveles de tolerancia humana y de la maquinaria, los cuales ayudan a determinar la amplitud permisible para varios modos de vibración.

Cabe señalar que esta grafica solo sirve de referencia pues como ya se dijo anteriormente estos límites no son absolutos.

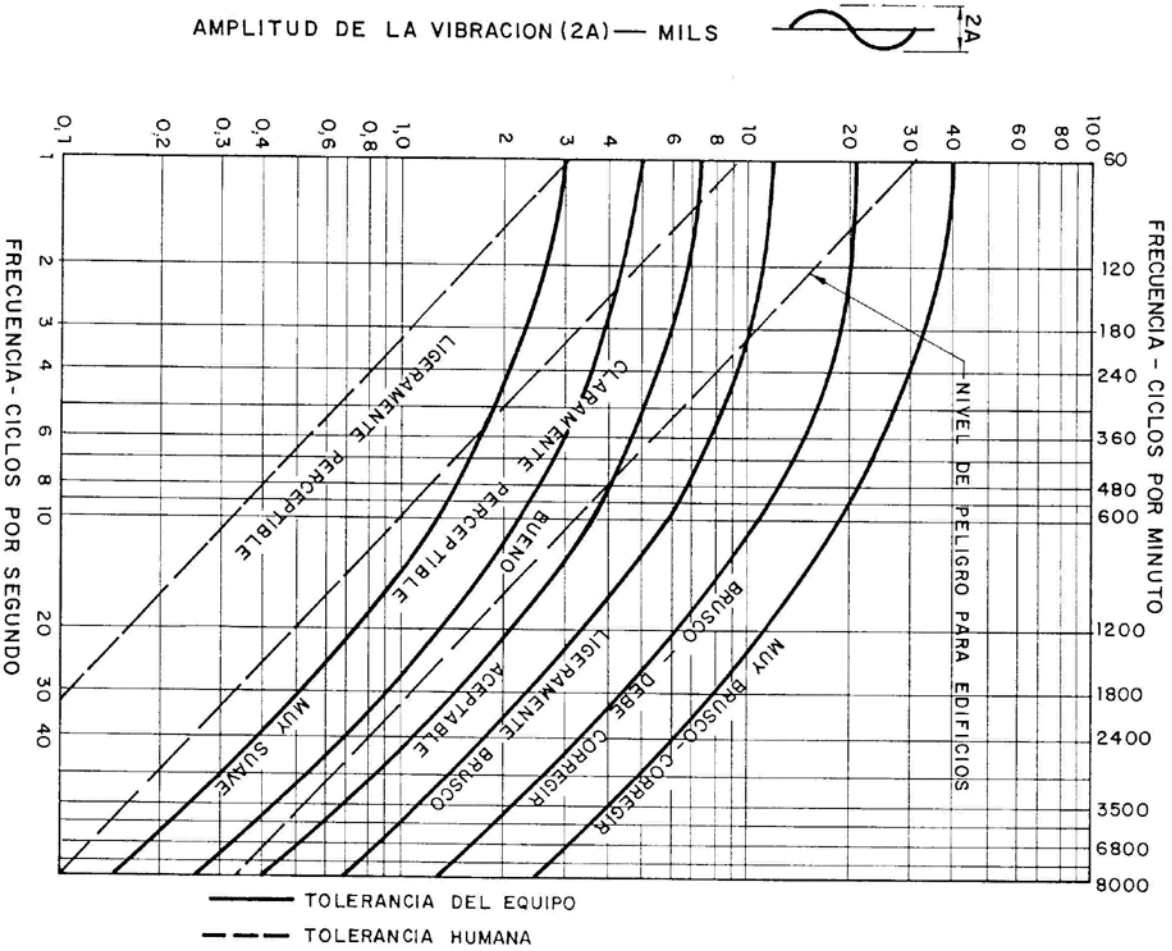


Figura.- 3.1 Límites generales de amplitudes

Los movimientos y deformaciones máximos quedan definidos en la siguiente tabla tomada de las Normas Técnicas complementarias.

a) Movimientos verticales (hundimiento o emersión)		
Concepto	Límite	
En la zona I:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento: Construcciones aisladas	5 cm <sup>(2)</sup>	
Construcciones colindantes	2.5 cm	
En las zonas II y III:		
Valor medio en el área ocupada por la construcción:		
Asentamiento: Construcciones aisladas	30 cm <sup>(2)</sup>	
Construcciones colindantes	15 cm	
Emersión: Construcciones aisladas	30 cm <sup>(2)</sup>	
Construcciones colindantes	15 cm	
Velocidad del componente diferido	1 cm/semana	
b) Inclinación media de la construcción		
Tipo de daño	Límite	Observaciones
Inclinación visible	$100 / (100 + 3h_c)$ por ciento	$h_c$ = altura de la construcción en m
Mal funcionamiento de grúas viajeras	0.3 por ciento	En dirección longitudinal
c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas		
Tipo de estructuras	Variable que se limita	Límite
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro	0.006
Marcos de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro	0.004
Muros de carga de tabique de barro o bloque de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como yeso, piedra ornamental, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.001
Paneles móviles o muros con acabados poco sensibles, como mampostería con juntas secas	Relación entre el asentamiento diferencial entre extremos y el claro	0.004
Tuberías de concreto con juntas	Cambios de pendiente en las juntas	0.015

<sup>1</sup> Comprende la suma de movimientos debidos a todas las combinaciones de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. Los valores de la tabla son sólo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se cause ninguno de los daños mencionados al principio de este Capítulo.

<sup>2</sup> En construcciones aisladas será aceptable un valor mayor si se toma en cuenta explícitamente en el diseño estructural de los pilotes y de sus conexiones con la subestructura.

**Figura.- 3.2 Límites máximos para movimientos y deformaciones.**

En lo referente a las deformaciones máximas debidos a los estados de carga analizados, no podrán exceder los siguientes valores establecidos en las normas técnicas sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones sección 4.1.

a) Un desplazamiento vertical en el centro de trabes en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual al claro entre 240 más 5 mm; además, en miembros en los cuales sus desplazamientos afecten a elementos no estructurales, como muros de mampostería, que no sean capaces de soportar desplazamientos apreciables, se considerará como estado límite a un desplazamiento vertical, medido después de colocar los elementos no estructurales, igual al claro de la trabe entre 480 más 3 mm. Para elementos en voladizo los límites anteriores se duplicarán.

b) Un desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura, igual a la altura del entrepiso dividido entre 500, para edificaciones en las cuales se hayan unido los elementos no estructurales capaces de sufrir daños bajo pequeños desplazamientos; en otros casos, el límite será igual a la altura del entrepiso dividido entre 250. Para diseño sísmico o por viento se observará lo dispuesto en las Normas correspondientes.

### 3.2. CRITERIO DE ANÁLISIS DINÁMICO.

Las cimentaciones sometidas a vibraciones requieren de consideraciones especiales debido a que transmiten cargas dinámicas al suelo además de las cargas estáticas debido al peso de la cimentación, equipo y accesorios.

La carga dinámica debido a la operación del equipo es generalmente pequeña comparada al peso estático de la máquina y de la cimentación.

En forma general en las cimentaciones de máquinas la carga dinámica se aplica repetidamente durante un mismo periodo de tiempo pero su magnitud es pequeña y por lo tanto el comportamiento del suelo es esencialmente elástico, o bien la deformación aumentará con cada ciclo en aumento de la carga y esta puede llegar a ser inaceptable.

La amplitud de la vibración de una máquina en su frecuencia de operación es el parámetro más importante que se determinará en el diseño de una cimentación sometida a vibraciones, además de la frecuencia natural del sistema suelo-cimentación-máquina.

Hay muchos tipos de máquinas que generan diversas fuerzas periódicas, las categorías más importantes son:

- Máquinas reciprocantes: son máquinas que producen fuerzas desequilibradas periódicas tales como motores de vapor. Las velocidades de funcionamiento de tales máquinas por lo general se mantienen entre 3 y 30 cps.
- Máquinas rotatorias: en este tipo de máquinas se puede considerar que no hay fuerzas desbalanceadas, sin embargo estas se pueden presentar durante la vida útil de la maquina por lo que es muy difícil estimarlas, la frecuencia de operación de estas máquinas puede considerarse entre 30 y 200 cps.
- Máquinas de impacto: En estas máquinas las fuerzas dinámicas no son constantes, logran un pico en un intervalo muy corto y después se detienen drásticamente. Ejemplos de estas máquinas son los martillos. Sus velocidades de operación varían generalmente a partir de 60 a 150 ciclos por minuto.

El criterio de diseño de las cimentaciones de los diversos tipos de máquinas puede estar en función de diversos factores, los más utilizados son: costos de mantenimiento, capacidad de carga del sistema suelo-cimentación, asentamientos máximos, máxima amplitud de vibración en la frecuencia de operación, máxima velocidad y aceleración en la frecuencia de operación, Por demandas ambientales para disminuir los efectos fisiológicos y psicológicos en personas así como a equipos sensibles cercanos, evitar la resonancia de elementos estructurales, etc.

En este trabajo se considerara la velocidad máxima y la frecuencia natural del sistema suelo – cimentación, los principales parámetros para realizar la revisión dinámica para que no se presente resonancia en la estructura.

Una cimentación sometida a cargas dinámicas debe cumplir las siguientes condiciones para un funcionamiento satisfactorio:

- No debe haber resonancia; es decir, la frecuencia natural del sistema suelo-cimentación-equipo no debe coincidir con la frecuencia de funcionamiento del equipo. De hecho, una zona de la resonancia esta generalmente definida y la frecuencia natural del sistema debe estar fuera de esta zona.
- Las amplitudes de movimiento en las frecuencias de operación no deben exceder las amplitudes permisibles, que son especificadas generalmente por los fabricantes de la máquina. Si la amplitud calculada está dentro de límites tolerables, pero la frecuencia natural calculada está cercana a la frecuencia de operación, es importante que esta situación sea evitada.
- La frecuencia natural del sistema cimentación-suelo no debe ser múltiplo entero de la frecuencia de operación de la máquina, esto es para evitar resonancia con los armónicos más altos.
- Las vibraciones no deben ser molestas a las personas que trabajan en las cercanías o que dañen a otras máquinas de precisión. La naturaleza de las vibraciones que son perceptibles, molestas o dañosas depende de la frecuencia de las vibraciones y de la amplitud de movimiento.

En cimentaciones sujetas a vibraciones el uso de pilotes o pilas puede ser necesario en los siguientes casos:

- Si la presión debida a la combinación de las cargas estáticas y dinámicas excede los valores permisibles de resistencia del suelo por lo que la cimentación superficial no es factible.
- Si las condiciones del suelo y del agua son tales que las vibraciones de la máquina pueden dar lugar a una pérdida significativa de la resistencia del suelo o contribuir a grandes deformaciones por lo que se recomendaría que las cargas se transmitieran a estratos más profundos y sólidos del suelo.
- Si es necesario aumentar la frecuencia natural de la cimentación y disminuir la amplitud de las vibraciones.
- Si las consideraciones sísmicas sumadas a la sensibilidad de las maquinas hacen necesario que la cimentación se desplante sobre pilotes o pilas.

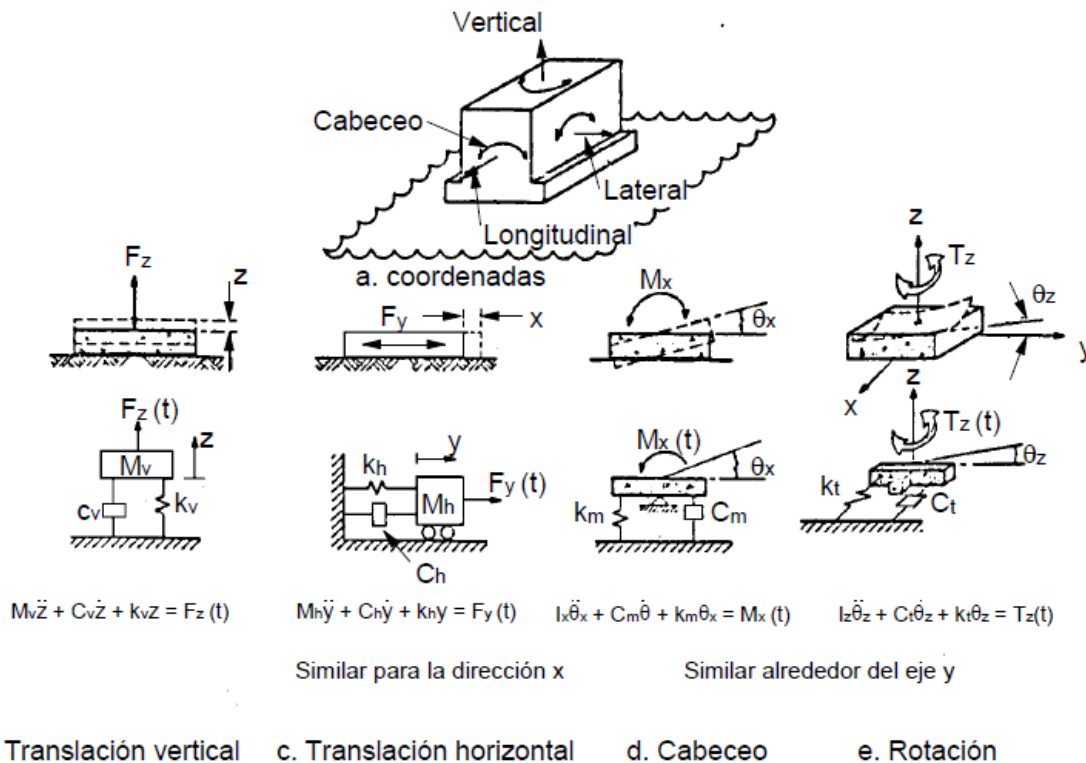
Para cimentaciones piloteadas la constante de amortiguamiento se considera igual que la que se utilizaría para cimentaciones superficiales, por lo que los factores variables entre una cimentación superficial y una piloteada serán la constante de resorte  $k$  y la masa del sistema suelo-cimentación.

En las maquinas reciprocantes las fuerzas que se transmiten a la cimentación son armónicas, además, las fuerzas verticales que producen son de dos tipos:

- a) primaria: es una fuerza que tiene una frecuencia igual a la frecuencia de operación.
- b) secundaria: tiene una frecuencia igual al doble de la frecuencia de operación.

Además, si hay desbalanceo en las masas rotatorias del equipo se desarrolla una fuerza horizontal con una frecuencia igual a la de operación.

Para una máquina en particular, el valor de las fuerzas desbalanceadas debe ser proporcionado por el fabricante y los modos de movimientos que se pueden presentar en el sistema se muestran en la siguiente figura:



**Figura.- 3.3 Modos de movimientos de cimentaciones de maquinas.**

Después de Establecer los parámetros importantes que intervendrán en el sistema, se puede establecer el procedimiento para la revisión dinámica que se realizara en esta tesis y en la cual se considera que solo existe vibración vertical producida por el equipo.

1. Teniendo un dimensionamiento preliminar de la cimentación y el número de pilotes que se utilizará, se procede a la obtención de la constante dinámica o de resorte **k**.

La constante de resorte es el parámetro más importante entre los utilizados en un sistema de un grado de libertad. La figura 3.4 presenta las fórmulas para el cálculo de la constante de resorte obtenidas mediante la teoría de elasticidad para cimentaciones circulares y rectangulares apoyadas en la superficie de un semi-espacio elástico.

La profundidad de embutimiento de la cimentación incrementa la frecuencia natural, pero este cambio no es significativo hasta que la profundidad es similar al ancho de la base.

2. Calcular la frecuencia natural **fn** del sistema Equipo-cimentación.

En este caso corresponde al movimiento de traslación vertical, en caso de que existiera movimiento horizontal se utilizaría este mismo valor de la *fn* y si existiera movimiento de torsión o balanceo se utilizaría otra expresión donde se substituye la masa por el momento de inercia de la masa de la maquina y la cimentación y que en este caso no utilizaremos.

$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Donde:

*fn* = frecuencia natural del sistema cimentación – equipo.[cps]

*k* = constante de resorte vertical en el suelo donde se apoye la cimentación.[kg/m]

*m* = masa del sistema cimentación-equipo. [kg seg<sup>2</sup>/m]

Como puede verse en el cálculo de la frecuencia natural del sistema, una evaluación aproximada a la real de la constante de resorte se hace de gran importancia para lograr una mejor estimación de las amplitudes como se verá más adelante.



3. Calcular el factor de carga dinámica [FCD] que también se le conoce como factor de magnificación:

$$M = \left[ \frac{1}{\left[ 1 - \left( \frac{f}{fn} \right)^2 \right]^2 + \left[ 2D \frac{f}{fn} \right]^2} \right]^{1/2}$$

Donde:

$f$  = frecuencia del equipo en operación. [cps]

$D$  = Relación de amortiguamiento. [a dimensional]

El amortiguador de un sistema de un grado de libertad, es representado por la capacidad de amortiguamiento del suelo en el sistema suelo-cimentación.

Para cimentaciones rígidas circulares apoyadas en un semi-espacio elástico se han obtenido ecuaciones para el cálculo de la relación de amortiguamiento "D".

Utilizando las ecuaciones presentadas en la Figura 3.5 se puede convertir una base rectangular de dimensiones B x L, en una base circular equivalente de radio "ro"; y utilizar las ecuaciones de la Figura 3.6 para determinar los valores de la relación de amortiguamiento "D".

4. Calcular la deflexión o desplazamiento debido a la carga dinámica ejercida por el equipo en operación.

$$Z = \frac{P}{K}$$

Donde:

$Z$  = Desplazamiento. [m]

$P$  = carga dinámica del equipo en operación. [kgs]

$k$  = constante de resorte. [ a dimensional ]

5. Calcular la máxima amplitud de vibración.

$$A = ZM$$

Donde:

$A$  = amplitud máxima. [ m ]

$Z$  = desplazamiento del sistema. [ m ]

$M$  = Factor de carga dinámica. [ a dimensional ]

Es muy importante indicar que las ecuaciones anteriores para el cálculo de la amplitud de vibración resultan en el valor sencillo de la función sinusoidal. Sin embargo, la mayoría de los instrumentos de medición en campo son usados para medir valores reales de amplitudes, dobles o "pico a pico". Por esta razón, la Fig. 3.1 da valores de amplitudes "pico a pico"; en consecuencia antes de usar dicho gráfico, se deberá duplicar el valor calculado de la amplitud.

Por lo anterior, se concluye la importancia de una evaluación aproximada a la real en cuanto a la constante de resorte así como a la relación de amortiguamiento que influyen directamente en la determinación del factor de amplificación y en la amplitud máxima.

En forma general, en nuestro país el criterio de diseño que se puede adoptar para cualquier cimentación sometida a vibraciones de maquinaria debe satisfacer por lo menos los siguientes requisitos:

- a) La magnitud de los movimientos de la maquinaria y su cimentación, deberá ser lo suficientemente pequeña para no causar daño estructural a la máquina y sus conexiones.
- b) La vibración de la cimentación deberá ser de magnitud y frecuencia apropiada para que el movimiento resultante no interfiera la operación de la maquinaria.
- c) La energía transmitida al suelo deberá ser tal que:
  - Los cambios en la estructura del suelo no produzcan asentamientos intolerables.
  - No perjudiquen las condiciones de operación de máquinas vecinas.
  - No produzcan vibraciones excesivas en edificios cercanos que puedan ser notorias, incómodas o intolerables para los ocupantes, o que produzcan daños estructurales.

Por tanto, el criterio de diseño para cimentaciones de maquinaria queda descrito en términos de valores límites de velocidad o desplazamiento.

Para el cálculo de la constante de resorte se puede utilizar la siguiente tabla en los diferentes modos de movimiento:

CONSTANTES DE RESORTE PARA FUNDACIONES RIGIDAS APOYADAS EN EL SEMI-ESPACIO	
TIPO DE MOVIMIENTO	CONSTANTE DE RESORTE
<b>(a) BASE CIRCULAR</b>	
VERTICAL	$K_z = \frac{4Gr_o}{1-\nu}$
HORIZONTAL	$K_x = \frac{32(1-\nu)Gr_o}{7-8\nu}$
BALANCEO	$K_\psi = \frac{8 Gr_o^3}{3 (1-\nu)}$
TORSIONAL	$K_\theta = \frac{16 Gr_o^3}{3}$
<b>(b) BASE RECTANGULAR</b>	
VERTICAL	$K_z = \frac{G}{1-\nu}\beta_z(BL)^{1/2}$
HORIZONTAL	$K_x = 2 (1 + \nu)G\beta_x (BL)^{1/2}$
BALANCEO Y CABACEO	$K_{\psi,\phi} = \frac{G}{1-\nu}\beta_{\psi,\phi} BL^2$

**Figura.- 3.4 Calculo de la constante de resorte.**

TIPO DE MOVIMIENTO	RADIO EQUIVALENTE ( $r_o$ )
TRASLACION	$r_o = \left(\frac{BL}{\pi}\right)^{1/2}$
BALANCEO	$r_o = \left(\frac{BL^3}{3\pi}\right)^{1/4}$
TORSIONAL	$r_o = \left[BL \frac{(B^2 + L^2)}{6\pi}\right]^{1/4}$

**Figura.- 3.5 Radio equivalente en cimentaciones rectangulares.**

TIPO DE MOVIMIENTO	RELACION DE MASA	RELACION DE AMORTIGUAMIENTO GEOMETRICO
VERTICAL	$B_z = \frac{(1-\nu)}{4} \frac{W_f}{\gamma r_o^3}$	$D_z = \frac{0,425}{(B_z)^{1/2}} a_z$
HORIZONTAL	$B_x = \frac{(7-8\nu)}{32} \frac{W_f}{(1-\nu) \gamma r_o^3}$	$D_x = \frac{0,288}{(B_x)^{1/2}} a_x$
BALANCEO	$B_{\psi,\phi} = \frac{3}{8} \frac{(1-\nu) I_{\psi,\phi} g}{\beta r_o^5}$	$D_{\psi,\phi} = \frac{0,15 a_{\psi,\phi}}{(1 + N_{\psi,\phi}) (N_{\psi,\phi} B_{\psi,\phi})^{1/2}}$
TORCIONAL	$B_\theta = \frac{I_\theta g}{\gamma r_o^5}$	$D_\theta = \frac{0,50}{1 + 2B_\theta}$

**Figura.- 3.6 Ecuaciones para el cálculo de la relación de amortiguamiento.**

Donde:

G = Modulo de corte del suelo

$\nu$  = Relación de Poisson.

B = Dimensión de la cimentación paralela al eje de rotación. [ m ]

L = Dimensión de la cimentación perpendicular al eje de rotación. [ m ]

W = masa del sistema cimentación – equipo [kg seg<sup>2</sup>/m]]

$r_o$  = radio equivalente

En todos los sistemas donde se presenta movimiento oscilante, se disipa energía mecánica debido a algún tipo de fricción o rozamiento, de forma que al dejar libremente un péndulo, este finalmente deja de oscilar. Este movimiento se denomina amortiguado y se caracteriza porque tanto la amplitud como la energía mecánica disminuyen con el tiempo.

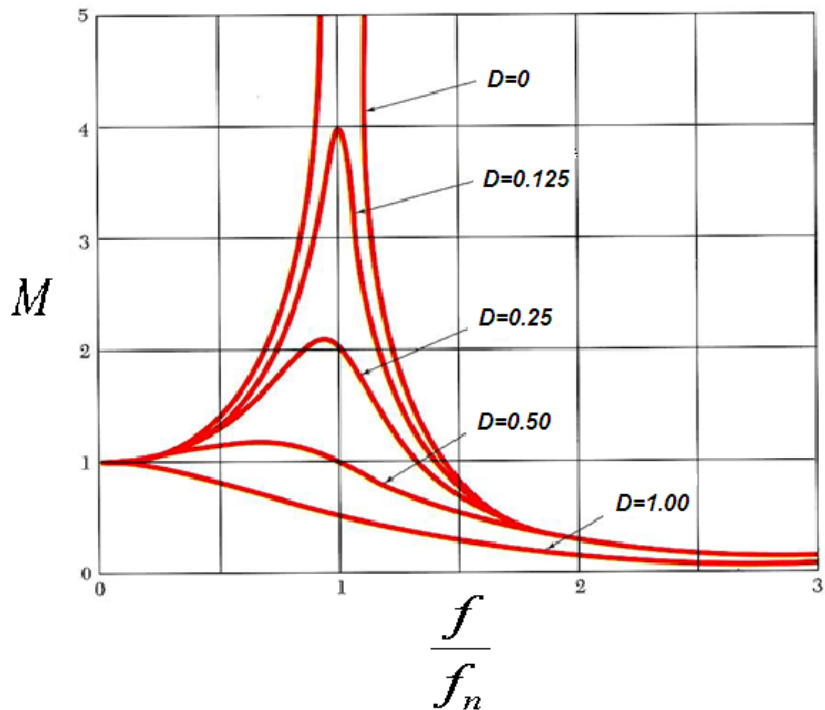
Si se introduce energía en un sistema a un ritmo mayor del que se disipa, la energía aumenta con el tiempo, lo que se manifiesta por un aumento de la amplitud del movimiento. Si la energía se proporciona al mismo ritmo que se disipa, la amplitud permanece constante con el tiempo.

La resonancia produce el incremento de la amplitud y que al actuar el suficiente tiempo en esta condición generalmente ocasiona un fallo estructural del material sometido a esfuerzos de rotura.

Cuando la frecuencia de la fuerza exterior es igual a la frecuencia natural del sistema  $f = f_n$ , es decir, cuando  $\Delta f \rightarrow 0$ , se produce la resonancia.

Esto se puede ver gráficamente en la siguiente figura, donde se puede ver que mientras la relación de amortiguamiento tiende a cero y las frecuencias son aproximadamente iguales, la amplitud tiende a infinito.

Otra consideración importante que se puede establecer a partir de este grafico es el rango en el cual se puede presentar la resonancia el cual puede estar entre  $2/3$  y  $3/2$  aproximadamente, por lo que se puede recomendar que la frecuencia del sistema cimentación – equipo debe estar fuera de este rango además de presentar una relación de amortiguamiento cercana a 1.



**Figura.- 3.7 Relación entre el FCD y la relación de frecuencias.**

### 3.3. ACCIONES.

En las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones se consideran tres categorías de acciones de diseño y son las siguientes:

#### **Cargas permanentes:**

En las normas se establece que las acciones permanentes son las que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a esta categoría son: la carga muerta; el empuje estático de suelos y de líquidos y las deformaciones y desplazamientos impuestos a la estructura que varían poco con el tiempo, como los debidos a pre esfuerzo o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos;

Como carga muerta se encuentran el peso propio de la cimentación además del peso propio del equipo.

La losa es de 3.0 m x 5.5 m x 0.6 m de espesor por lo que su volumen es de  $9.90 \text{ m}^3$  x el peso volumétrico del concreto clase I que es de  $2.4 \text{ ton/m}^3$  se tiene un peso de la losa de 23.76 ton.

El peso del equipo se considera de 12 ton, sin embargo debe tomarse en cuenta que este peso puede variar según los componentes del sistema por lo que se recomienda verificar estos datos antes de la construcción de la cimentación para detectar si existió algún cambio en el diseño del sistema.

A las cargas permanentes deberá agregarse en cada caso requerido el peso de los pilotes que estará en función de la longitud y sección del mismo.

De esta forma se tiene una carga permanente de **35.76 Ton** más el peso de los pilotes que se requieran.

En las siguientes revisiones se utilizaran pilotes de concreto con una sección de 0.40 x 0.40 m con concreto clase I de  $2.4 \text{ ton/m}^3$  por lo que se tendrá un peso de 0.384 ton o 384 kg por metro lineal de pilote que se utilice.

### **Cargas variables:**

Las acciones variables son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son: la carga viva; los efectos de temperatura; las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo, y las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido a vibraciones, impacto o frenado.

La Carga dinámica considerada, que ejerce la maquina en operación sobre la estructura de cimentación es de 1.1 ton en sentido vertical.

La carga viva se considera despreciable pues el valor que pudiera presentar en las operaciones de mantenimiento del equipo se han determinado pequeñas en comparación con el peso propio del equipo y de la estructura de cimentación, por lo que la carga variable mas importante será la carga dinámica del equipo en operación y las deformaciones que presentará con el tiempo.

### **Cargas accidentales:**

Como lo establecen las normas técnicas complementarias, las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves.

Pertencen a esta categoría: las acciones sísmicas; los efectos del viento; las cargas de granizo; los efectos de explosiones, incendios y otros fenómenos que pueden presentarse en casos extraordinarios.

Las fuerzas producidas por sismo son:

Cortante basal = 5.27 ton y un momentode9.49 ton - m.

El efecto del viento se considera despreciable en la estructura.

Factor de carga

Los factores de carga  $F_C$ , que deberán aplicarse a las acciones para el diseño de cimentación serán los indicados en la sección 3.4 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño de Estructural de las Edificaciones y serán mencionados en las respectivas combinaciones.

## Factor de resistencia

Los factores de resistencia  $F_R$ , relativos a la capacidad de carga de cimentaciones determinada a partir de estimaciones analíticas o de pruebas de campo serán los siguientes para todos los estados límite de falla:

- a)  $FR = 0.35$  para la capacidad de carga ante cualquier combinación de acciones en la base de zapatas de cualquier tipo en la zona I, zapatas de colindancia desplantadas a menos de 5 m de profundidad en las zonas II y III y de los pilotes y pilas apoyados en un estrato resistente
- b)  $FR = 0.70$  para los otros casos.

Los factores de resistencia se aplicarán a la capacidad de carga neta de las cimentaciones.

Para la revisión de los estados límites se consideraran las siguientes combinaciones:

- 1) Combinación de cargas permanentes y cargas variables. Tendrá un valor de 36.86 ton, estas cargas se afectaran por un factor de carga de 1.4 y serán consideradas en el análisis del estado limite de falla en condiciones estáticas.
- 2) Combinación de acciones permanentes, variables y accidentales. La combinación más crítica de este tipo resulta ser la suma de las cargas permanentes, de las acciones variables y de la sollicitación sísmica en la dirección corta de la estructura. Esta combinación lleva a una carga media de  $2.81 \text{ ton/m}^2$ . La acción accidental mas crítica por efecto sísmico corresponde a un momento sísmico de 10.44 ton - m las cargas fueron afectadas por un factor de carga de 1.1 y se utilizaron en el análisis del estado límite de falla en condiciones dinámicas.
- 3) Combinación de acciones permanentes y variables. La suma de las cargas permanentes mas las variables afectadas por un factor de carga unitario es de 36.86 Ton y se utilizo en la revisión del estado límite de servicio.



### 3.4. ESTADO LIMITE DE FALLA (LOSA DE CIMENTACIÓN).

LA REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA CIMENTACIÓN ANTE EL ESTADO LÍMITE DE FALLA EN CONDICIONES ESTÁTICAS SE HIZO CONSIDERANDO LA COMBINACIÓN DE CARGAS 1 MEDIANTE EL CUMPLIMIENTO DE LA SIGUIENTE DESIGUALDAD:

$$\frac{\sum QFc}{A} < c_u N_c F_R + P_v \quad [4.1]$$

Donde :

$\Sigma QFc$  = COMBINACION 1 MULTIPLICADA POR EL FACTOR DE CARGA

A = AREA DEL CIMIENTO

$c_u$  = COHESION APARENTE DETERMINADA EN PRUEBA TRIAXIAL UU

$N_c$  = COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE CARGA

$F_r$  = FACTOR DE RESISTE 0.35

$p_v$  = PRESION VERTICAL TOTAL A LA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE

#### DESARROLLO :

COMBINACION DE CARGAS 1 =	51.60	Ton
ANCHO DE LA LOSA =	3.00	m
LARGO DE LA LOSA =	5.50	m
AREA DE LOSA DE CIMENTACION =	16.50	m <sup>2</sup>

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA.

DADO QUE LA LOSA SE ESTA DESPLANTANDO EN UN SUELO COHESIVO

$$N_c = 5.14 \left( 1 + 0.25 \frac{D_f}{B} + 0.25 \frac{B}{L} \right) \quad [4.2]$$

para  $\frac{D_f}{B} < 2$       y       $\frac{B}{L} < 1$

Donde :

Df = PROFUNDIDAD DE DESPLANTE = 0.30 m

Df/B = 0.10

B/L = 0.55

COHESION APARENTE = 2.00 t/m<sup>2</sup>

COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE CARGA NC = 5.97

PESO VOLUMETRICO DEL SUELO = 1.40 t/m<sup>3</sup>

PRESION VERTICAL TOTAL Pv = 0.42 t/m<sup>2</sup>

3.13 t/m<sup>2</sup> < 4.60 t/m<sup>2</sup>

POR LO TANTO : SE ACEPTA EL DISEÑO

De lo anterior se puede afirmar que la capacidad de carga del suelo es suficiente para resistir las sollicitaciones que marcan las normas en condiciones estáticas, esta conclusión es importante ya que en caso de utilizar pilotes que trabajen por fricción se puede despreciar este efecto y considerar que la losa es suficiente para resistir las sollicitaciones por falla.

### 3.5. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (LOSA DE CIMENTACIÓN).

COMO SE MENCIONO EN LA SECCION 4.5.1 EL ASENTAMIENTO TOTAL DE LA LOSA EN ESTUDIO SE COMPONE DE TRES FASES.

#### 1) CALCULO DEL ASENTAMIENTO INMEDIATO

PARA DETERMINAR LOS ASENTAMIENTOS INMEDIATOS BAJO LA CIMENTACION, SE EMPLEÓ EL CRITERIO DE STEINBRENNER PARA UNA SUPERFICIE RECTANGULAR, APLICANDO LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$\delta = p \frac{B}{E} \left[ (1 - \mu^2)F_1 + (1 - \mu - 2\mu^2)F_2 \right] \quad [5.1]$$

$$F\mu = \left[ (1 - \mu^2)F_1 + (1 - \mu - 2\mu^2)F_2 \right] \quad [5.2]$$

**DONDE :**

- $\delta$  = ASENTAMIENTO INMEDIATO
- $p$  = COMBINACIÓN PARA EL ESTADO LIMITE DE SERVICIO, EN T/M<sup>2</sup>
- $B$  = ANCHO DE LA CIMENTACIÓN, EN M
- $E$  = MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL SUELO EN EL ESTRATO DE APOYO
- $\mu$  = RELACIÓN DE POISSON DEL ESTRATO DE APOYO
- $F_1$  Y  $F_2$  = SON FUNCIONES DE H/B Y L/B
- $H$  = ESPESOR DEL ESTRATO COMPRESIBLE
- $L$  = LARGO DE LA CIMENTACION

**DESARROLLO:**

$$p = 2.23 \text{ t/m}^2$$

$$E = 30.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0.35$$

**CENTRO**

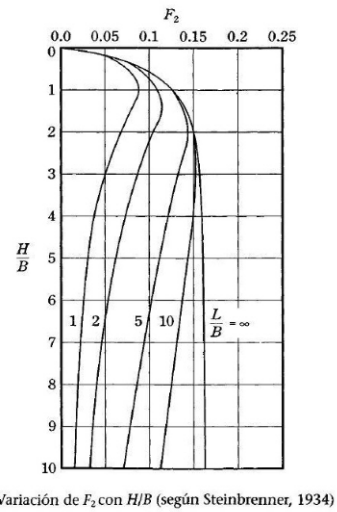
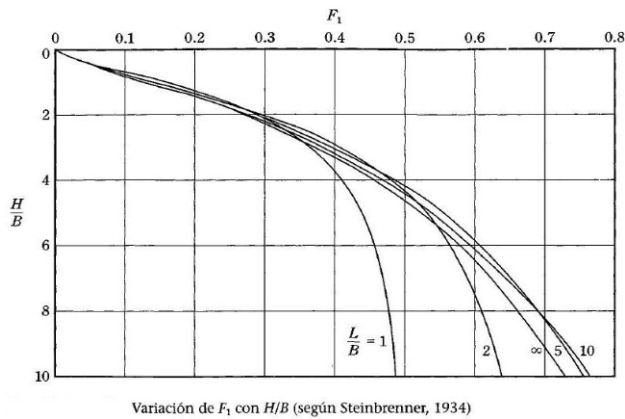
B	L	H	L/B	H/B	F1	F2	$\delta_c$
1.50 m	2.75 m	2.70 m	1.83	1.80	0.23	0.08	0.03 m
1.50 m	2.75 m	6.00 m	1.83	4.00	0.45	0.06	0.05 m
1.50 m	2.75 m	3.60 m	1.83	2.40	0.33	0.07	0.04 m
1.50 m	2.75 m	1.50 m	1.83	1.00	0.15	0.11	0.02 m

ASENTAMIENTO TOTAL = 0.13 m

**ESQUINA**

B	L	H	L/B	H/B	F1	F2	$\delta_e$
3.00 m	5.50 m	2.70 m	1.83	0.90	0.12	0.10	0.03 m
3.00 m	5.50 m	6.00 m	1.83	2.00	0.29	0.09	0.06 m
3.00 m	5.50 m	3.60 m	1.83	1.20	0.19	0.11	0.05 m
3.00 m	5.50 m	1.50 m	1.83	0.50	0.05	0.08	0.02 m

ASENTAMIENTO TOTAL = 0.16 m



**Figura.- 3.8** Calculo de  $F_1$  y  $F_2$  en las fórmulas de Steinbrenner.

## 2) CALCULO DEL ASENTAMIENTO DIFERIDO

RECURRIENDO A LA TEORIA DE CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL, SE EMPLEÓ LA SIGUIENTE EXPRESIÓN:

$$S = \frac{c_c H}{1 + e_0} \log \left( \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right) \quad [5.3]$$

**DONDE :**

- $S$  = ASENTAMIENTO DIFERIDO
- $c_c$  = INDICE DE COMPRESION
- $H$  = ESPESOR DEL ESTRATO
- $e_0$  = RELACION DE VACIOS
- $P_0$  = PRESION EFECTIVA DEL ESTRATO
- $\Delta p$  = INCREMENTO DE LA PRESION VERTICAL EN EL ESTRATO

$$c_c = 0.009(LL - 10) \quad [5.4]$$

DONDE :

LL = LIMITE LIQUIDO

LA RELACION DE VACIOS SE PUEDE CALCULAR CON LA SIGUIENTE EXPRESION,  
 TOMANDO EN CUENTA QUE SE TRATA DE UN ESTRATO COHESIVO SATURADO:

$$e_0 = wS_s \quad [5.5]$$

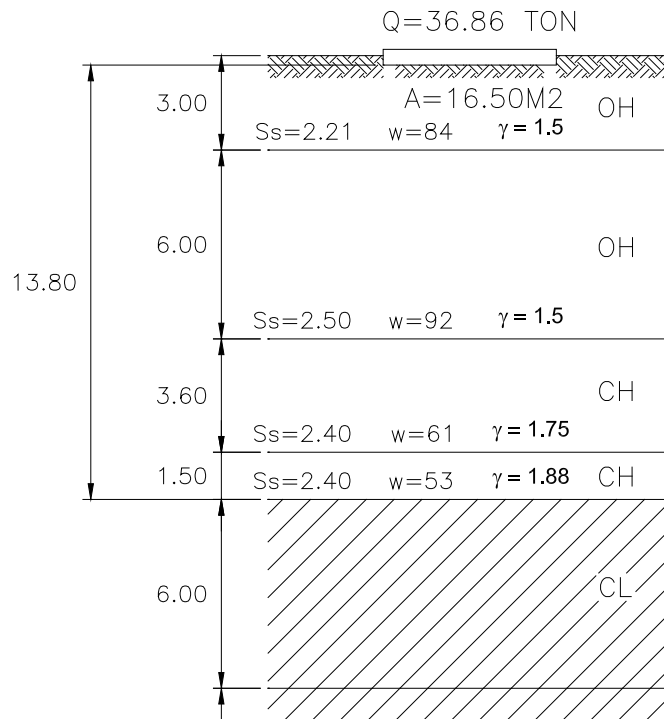
DONDE :

w= CONTENIDO DE AGUA

S<sub>s</sub> = DENSIDAD DE SOLIDOS

EL INCREMENTO DE PRESION SE CALCULO CON LA GRAFICA DE FADUM BASADA EN  
 EL PROBLEMA DE BOUSSINESQ.

PARA EL CALCULO DE EL INCREMENTO DE PRESION Y LA PRESION EFECTIVA SE  
 UTILIZARON LOS DATOS REPRESENTADOS EN LA SIGUIENTE FIGURA.



**Figura.- 3.9 Condiciones del subsuelo.**

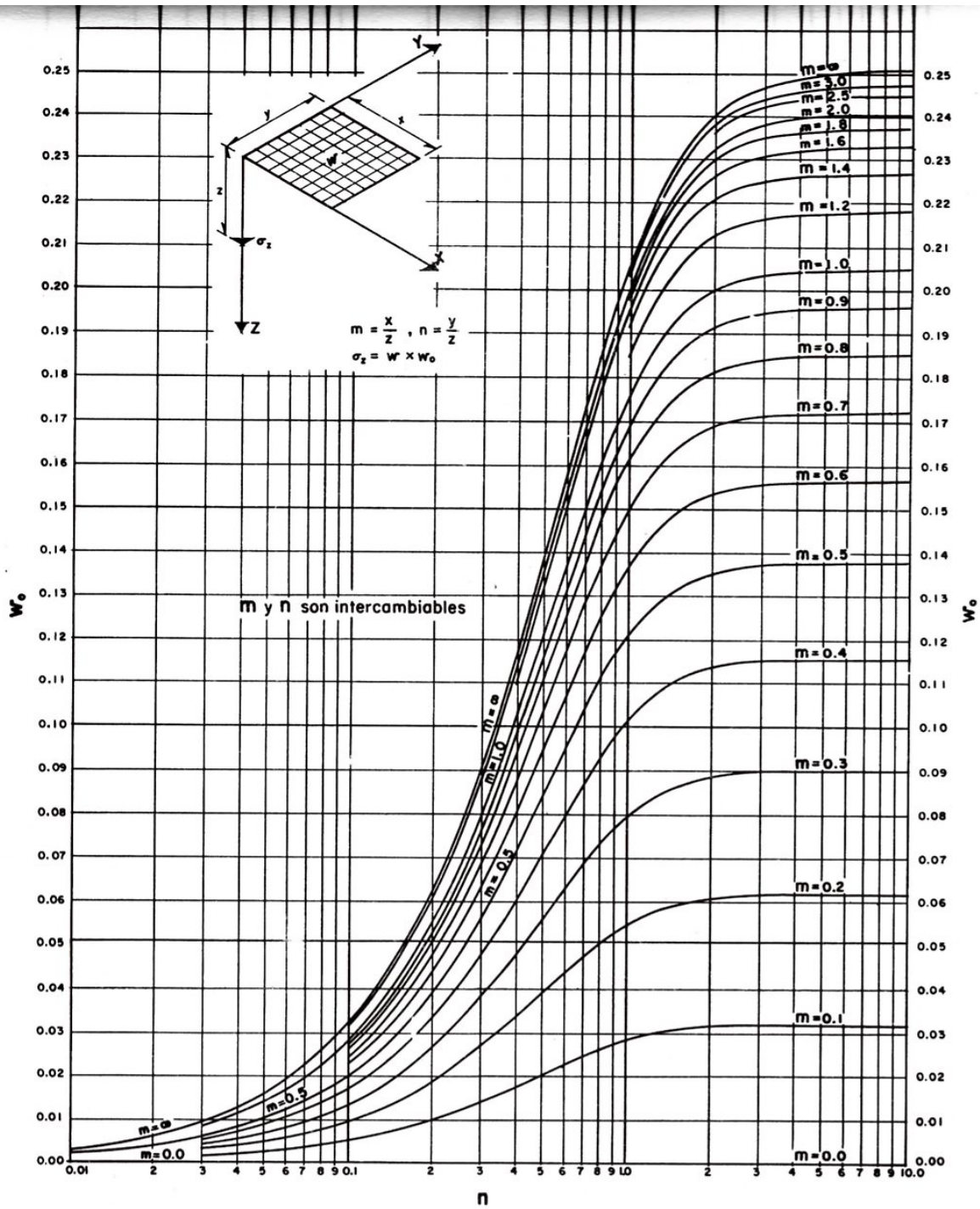


Figura.- 3.10 Calculo de  $W_0$  en área rectangular uniformemente cargada.

$W = 2.23 \text{ t/m}^2$

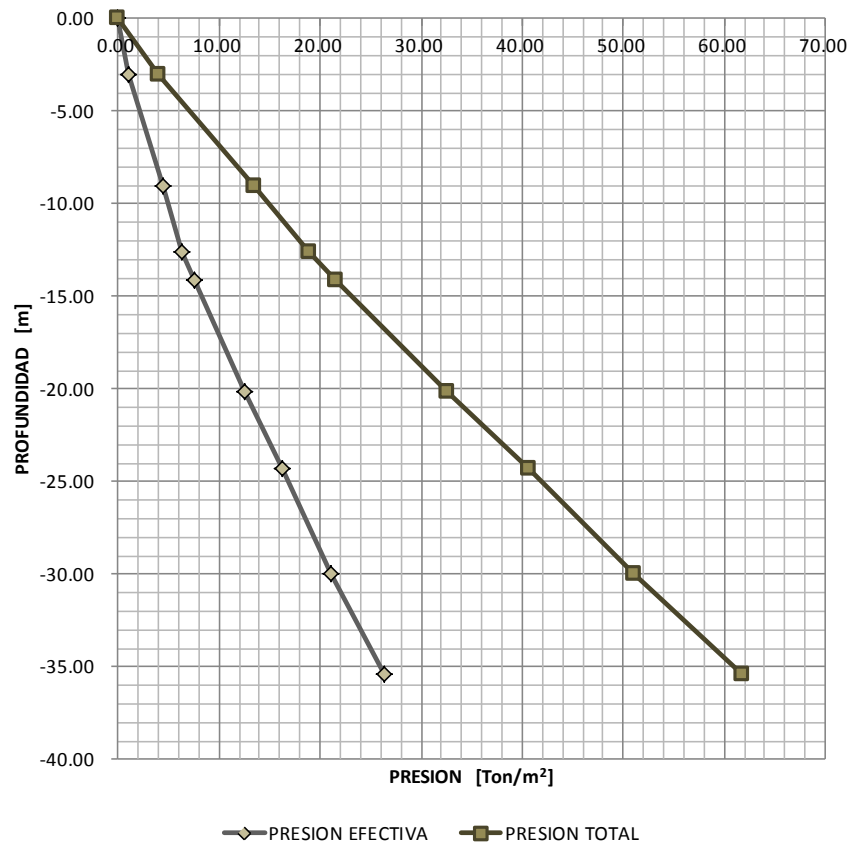
AL CENTRO

z	x	y	m	n	$W_0$	$\sigma$
2.70 m	1.50 m	2.75 m	0.56	1.02	0.130	0.29 t/m <sup>2</sup>
8.70 m	1.50 m	2.75 m	0.17	0.32	0.025	0.06 t/m <sup>2</sup>
12.30 m	1.50 m	2.75 m	0.12	0.22	0.013	0.03 t/m <sup>2</sup>
13.80 m	1.50 m	2.75 m	0.11	0.20	0.011	0.02 t/m <sup>2</sup>

EN LA ESQUINA

z	x	y	m	n	$W_0$	$\sigma$
2.70 m	3.00 m	5.50 m	1.11	2.04	0.205	0.46 t/m <sup>2</sup>
8.70 m	3.00 m	5.50 m	0.34	0.63	0.075	0.17 t/m <sup>2</sup>
12.30 m	3.00 m	5.50 m	0.24	0.45	0.045	0.10 t/m <sup>2</sup>
13.80 m	3.00 m	5.50 m	0.22	0.40	0.037	0.08 t/m <sup>2</sup>

LA PRESION EFECTIVA Y LA PRESION SE MUESTRAN EN LA SIGUIENTE GRAFICA:



**Figura.- 3.11 Grafica de presiones.**

SUSTITUYENDO SE TIENE:

$$LL = 82.49$$

$$c_c = 0.65$$

**CENTRO**

$w$	$S_s$	$H$	$e_0$	$P_0$	$\Delta P$	$S$
132.0	2.40	2.70 m	3.17	1.00 t/m <sup>2</sup>	0.29 t/m <sup>2</sup>	0.047 m
65.1	2.50	6.00 m	1.63	4.00 t/m <sup>2</sup>	0.06 t/m <sup>2</sup>	0.009 m
70.8	2.45	3.60 m	1.73	6.20 t/m <sup>2</sup>	0.03 t/m <sup>2</sup>	0.002 m
37.4	2.50	1.50 m	0.94	7.50 t/m <sup>2</sup>	0.02 t/m <sup>2</sup>	0.001 m
						0.058 m

**ESQUINA**

$w$	$S_s$	$H$	$e_0$	$P_0$	$\Delta P$	$S$
132.0	2.40	2.70 m	3.17	1.00 t/m <sup>2</sup>	0.46 t/m <sup>2</sup>	0.069 m
65.1	2.50	6.00 m	1.63	4.00 t/m <sup>2</sup>	0.17 t/m <sup>2</sup>	0.027 m
70.8	2.45	3.60 m	1.73	6.20 t/m <sup>2</sup>	0.10 t/m <sup>2</sup>	0.006 m
37.4	2.50	1.50 m	0.94	7.50 t/m <sup>2</sup>	0.08 t/m <sup>2</sup>	0.002 m
						0.104 m

EL ASENTAMIENTO TOTAL ES LA SUMA DEL ASENTAMIENTO INMEDIATO MAS EL ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION PRIMARIA MAS EL ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION SECUNDARIA.

POR TRATARSE DE UN SUELO COHESIVO SATURADO EL ASENTAMIENTO TOTAL PUEDE CONSIDERARSE IGUAL A LA SUMA DE LOS DOS PRIMEROS.

DE ESTA FORMA SE TIENE LO SIGUIENTE:

ASENTAMIENTO INMEDIATO EN EL CENTRO =	<u>0.128 m</u>
ASENTAMIENTO DIFERIDO EN EL CENTRO =	<u>0.058 m</u>
ASENTAMIENTO TOTAL EN EL CENTRO =	<u>0.186 m</u>

ASENTAMIENTO INMEDIATO EN LA ESQUINA =	<u>0.162 m</u>
ASENTAMIENTO DIFERIDO EN LA ESQUINA =	<u>0.104 m</u>
ASENTAMIENTO TOTAL EN LA ESQUINA =	<u>0.266 m</u>



Como puede verse en los resultados del anterior análisis, se tienen asentamientos del orden de 30 cm que al sumarse a los asentamientos de los siguientes estratos exceden los valores permisibles.

A los 13.8 mts de profundidad se tiene un estrato de arcilla arenosa que se extiende hasta los 24.3 mts al cual se le pueden calcular los respectivos desplazamientos hasta obtener el asentamiento total de las capas compresibles.

Cabe mencionar que este análisis en la practica habitual del diseñador puede omitirse al prever mediante la estratigrafía y las propiedades físicas, la presencia de estratos compresibles y tener como directiva que el diseño de la cimentación estará regido por el criterio de desplazamientos permisibles marcados en las normas.

Por lo que se decidió incluirlo en esta tesis para presentar una de las varias metodologías para el cálculo de asentamientos elásticos y por consolidación primaria en suelos con características similares a la de este proyecto.

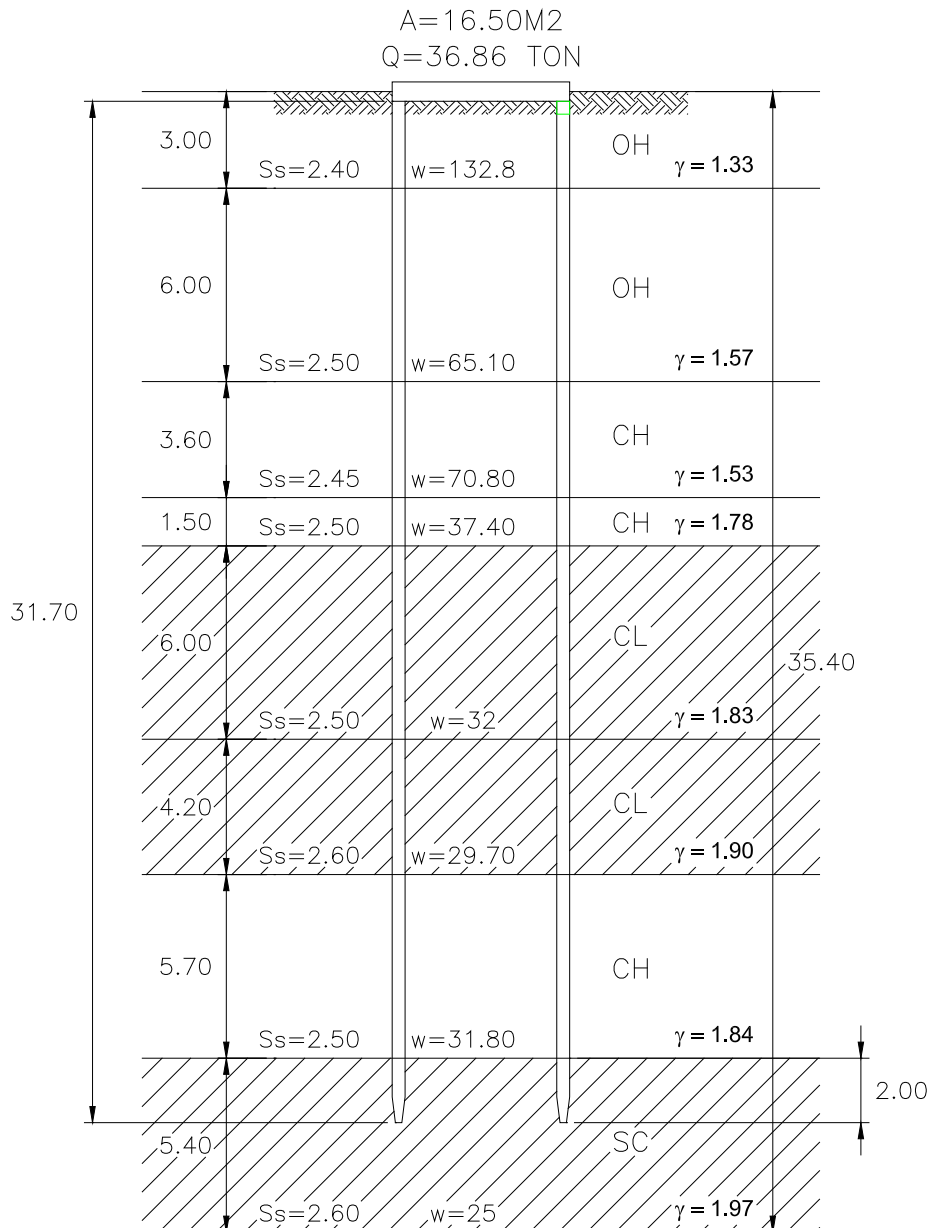
Por otro lado, los resultados obtenidos en el cálculo de los asentamientos por consolidación primaria justifican la utilización de una cimentación profunda, que para el caso de esta tesis es a base de pilotes de concreto de sección cuadrada ubicados uno en cada esquina de la losa que soportara al patín estructural donde estará montado el sistema de bombeo.

En conclusión, en esta tesis se recomienda la utilización de una cimentación profunda a base de pilotes para reducir los desplazamientos.

### 3.6. ESTADO LIMITE DE FALLA (PILOTES DE PUNTA).

Se proponen pilotes de punta desplantados a 32 metros de profundidad donde se encuentra un estrato resistente.

Para la revisión del diseño se utilizaron los datos que se muestran en la siguiente figura:



**Figura.- 3.12 Condiciones del subsuelo para pilotes de punta.**

**DESSARROLLO :**

COMO LO ESTABLECEN LAS NORMAS SE DEBE CUMPLIR LA SIGUIENTE DESIGUALDAD

$$\sum QFc < R \quad [6.1]$$

**DONDE :**

$\sum QFc$  ES LA SUMA DE LAS ACCIONES VERTICALES A TOMAR EN CUENTA EN LA COMBINACIÓN CONSIDERADA, AFECTADA DE SU CORRESPONDIENTE FACTOR DE CARGA. LAS ACCIONES INCLUIRÁN EL PESO PROPIO DE LA SUBESTRUCTURA Y DE LOS PILOTES O PILAS Y EL EFECTO DE LA FRICCIÓN NEGATIVA QUE PUDIERA DESARROLLARSE SOBRE EL FUSTE DE LOS MISMOS O SOBRE SU ENVOLVENTE.

COBINACION DE CARGAS 1 =	36.86 Ton
PESO LINEAL DEL PILOTE DE 40X40 =	0.38 Ton/m
LONGITUD DE PILOTES =	32.00 m
NUMERO DE PILOTES EMPLEADOS =	4
PESO TOTAL DE PILOTES =	49.15 Ton
FACTOR DE CARGA Fc =	1.4

PARA EL CALCULO DE LA FRICCION NEGATIVA SE UTILIZO LA SIGUIENTE EXPRESION DE LA REFERENCIA BIBLIOGRAFICA NO 5:

$$FN_d = \frac{\omega K_\phi}{1 + \frac{\omega K_\phi}{3} \frac{d}{a}} \int_0^d \sigma_{0z} dz \quad [6.2]$$

Donde :

$FN_d$  = FRICCION NEGATIVA DESARROLLADA HASTA LA PROFUNDIDAD d

$k_\phi$  = 0.33 OBTENIDO DE LA REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 5

$$\omega = 2\pi r_0$$

$$\bar{r}_0 = 1.05 r_0$$

$r_0$  = RADIO DEL PILOTE IGUAL A 0.28 m

$d$  = PROFUNDIDAD DE DESPLANTE DEL PILOTE IGUAL A 32 M

$a$  = AREA TRIBUTARIA EFECTIVA =  $\pi(12 r_0)^2$

$\sigma_{0z}$  = ESFUERZO EFECTIVO A LA PRFUNDIDAD Z

SUSTITUYENDO EN 6.2 SE TIENE:

$$\begin{aligned}k_{\phi} &= 0.33 \\ \overline{r_0} &= 0.29 \text{ m} \\ \varpi &= 1.85 \\ \overline{d} &= 32 \text{ m} \\ \overline{a} &= 35.47 \text{ m}^2 \\ \sigma_{0z} &= 24 \text{ Ton/m}^2\end{aligned}$$

$$FN_d = 12.36 \text{ Ton} \quad \times 4 \text{ pilotes} = 49.45 \text{ Ton}$$

SUMA DE ACCIONES VERTICALES = **169.87 Ton**

### **CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL CONJUNTO DE PILOTES**

LA CAPACIDAD DE CARGA DEL CONJUNTO SERA IGUAL A LA SUMA DE LAS CAPACIDADES DE CARGA DE CADA PILOTE.  
LA CAPACIDAD DE CARGA SE CALCULA CON LA SIGUIENTE EXPRESION, PARA PILOTES DESPLANTADOS EN SUELOS FRICCIONANTES:

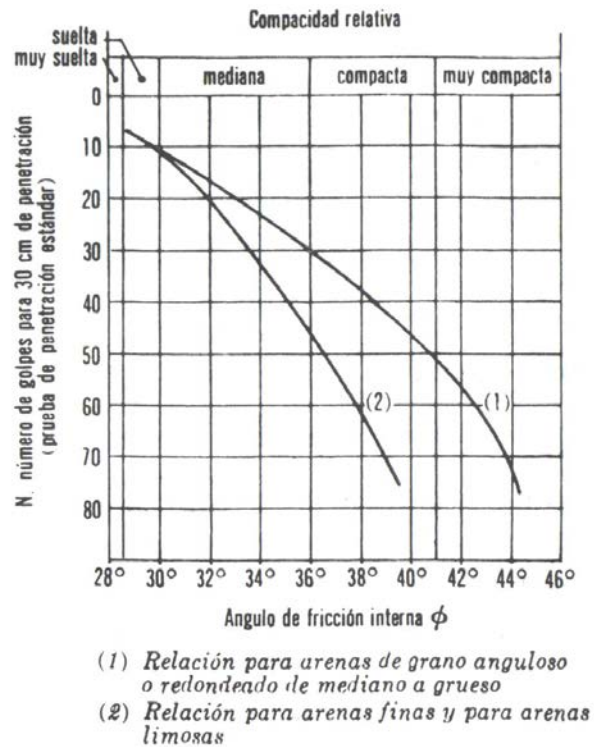
$$Cp = (\overline{p}_v N_q * F_R + p_v) A_p \quad [6.3]$$

DONDE:

$\overline{p}_v$  = PRESION VERTICAL EFECTIVA DEBIDA AL PESO DEL SUELO  
 $N_q$  = COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE CARGA  
 $F_r$  = FACTOR DE RESISTENCIA IGUAL A : 0.35  
 $p_v$  = PRESION VERTICAL TOTAL DEBIDA AL PESO DEL SUELO  
 $A_p$  = AREA TRANSVERSAL DE LA BASE DEL PILOTE

### **CALCULO DE $N_q$**

PARA EL CALCULO DE  $N_q$  SE REQUIERE EL ANGULO DE FRICCION EL CUAL SE PUEDE OBTENER DE LA SIGUIENTE CORRELACION CON EL NUMERO DE GOLPES PARA 30 CM DE PENETRACION ESTANDAR:



**Figura.- 3.13 Correlación  $N$  y  $\phi$**

COMO EL ESTRATO DE APOYO SE TRATA DE UN MATERIAL ARENOSO CON PARTICULAS FINAS SE CONSIDERA UN ANGULO DE FRICCIÓN DE  $33^\circ$ .

DE ACUERDO CON LAS NORMAS TECNICAS EL VALOR DE  $N_q$  ESTA DEFINIDO POR:

$$N_q^* = N_{\min} + L_e \frac{N_{\max} - N_{\min}}{4B \tan(45^\circ + \phi/2)} \quad [6.4]$$

cuando  $L_e/B \leq 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$ ; o bien [6.5]

$N_q^* = N_{\max}$   
 cuando  $L_e/B > 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$

DONDE EL VALOR DE  $N_{MAX}$  Y  $N_{MIN}$  SE OBTIENE DE:

$\phi$	20°	25°	30°	35°	40°	45°
$N_{m\acute{a}x}$	12.5	26	55	132	350	1000
$N_{m\grave{i}n}$	7	11.5	20	39	78	130

$L_e$  = LONGITUD DEL PILOTE EMPOTRADA EN EL ESTRATO RESISTENTE

B = ANCHO O DIAMETRO EQUIVALENTE DE LOS PILOTES

$\phi = 33^\circ$

$F_R = 0.35$

INTERPOLANDO PARA  $\phi=33^\circ$  SE TIENEN LOS SIGUIENTES VALORES DE  $N_{MAX}$  Y  $N_{MIN}$

$$N_{MAX} = 101.2$$

$$N_{MIN} = 31.4$$

$$L_e = 2$$

$$B = 0.4$$

$$L_e/B = 5$$

$$4 \operatorname{tg} \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = 7.37$$

$$\text{POR LO TANTO } N_q = 50.35$$

SUSTITUYENDO EN 6.3 SE TIENE:

$$\overline{p_v} = 23 \text{ Ton/m}^2 \quad \text{DE LA FIGURA 4.15}$$

$$N_q = 50.35$$

$$F_r = 0.35$$

$$p_v = 55 \text{ Ton/m}^2$$

$$A_p = 0.16 \text{ m}^2$$

$$C_p = 73.65 \text{ Ton}$$

$$\text{POR CUATRO PILOTES} = 294.60 \text{ Ton}$$

COMO PUEDE VERSE SE CUMPLE LA DESIGUALDAD 6.3 :

$$\sum QFc < R$$

$$169.87 < 294.60$$

POR LO TANTO : SE ACEPTA LA CIMENTACION

### 3.7. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (PILOTES DE PUNTA)

#### CALCULO DEL ASENTAMIENTO EN PILOTES

PARA SU DETERMINACION SE UTILIZO EL METODO CONOCIDO COMO SEMIEMPIRICO DE VESIC (1977) :

$$S_t = S_p + S_{PS} + S_e \quad [7.1]$$

$$S_p = \frac{C_p Q_{ap}}{B q_p} \quad [7.2]$$

$$S_{ps} = \frac{C_s Q_{as}}{L s q_p} \quad [7.3]$$

$$S_e = \frac{(Q_{ap} + \alpha_s Q_{as})L}{A_p E_p} \quad [7.4]$$

Donde :

$S_T$  = ASENTAMIENTO TOTAL EN LA CABEZA DE UN PILOTE

$S_p$  = ASENTAMIENTO CAUSADO POR LA CARGA TRANSMITIDA A LA PUNTA

$S_{PS}$  = ASENTAMIENTO CAUSADO POR LA CARGA SOBRE EL FUSTE DEL PILOTE

$S_e$  = DEFORMACIÓN ELASTICA DEL PILOTE

$C_p$  = COEFICIENTE EMPIRICO DE PUNTA DADO EN LA FIGURA 4.16

$Q_{ap}$  = CARGA NETA ADMISIBLE O DE TRABAJO EN LA PUNTA DEL PILOTE

$B$  = DIAMETRO DEL PILOTE

$q_p$  = CAPACIDAD DE CARGA ULTIMA, UNITARIA DE PUNTA

$C_s$  = COEFICIENTE EMPIRICO POR FRICCION LATERAL, DADO POR LA ECUACION 7.5

$Q_{as}$  = CARGA PERMISIBLE O DE TRABAJO EN EL FUSTE DEL PILOTE

$\alpha_s$  = COEFICIENTE DE LA FRICCION LATERAL = 1

$L_s$  = LONGITUD DEL PILOTE DONDE ACTUA LA FRICCION LATERAL

$A_p$  = AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL FUSTE DEL PILOTE

$L$  = LONGITUD TOTAL DEL PILOTE

$E_p$  = MODULO DE ELASTICIDAD DEL PILOTE CALCULADO CON LA ECUACION 7.6

$f'_c$  = RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO

Ttipo de suelo	Pilotes hincados	Pilotes en perforacion previa
Arena (compacta a suelta)	0.02-0.18	0.09-0.18
Limo (compacto a suelto)	0.03-0.05	0.09-0.12
Arcilla (dura a blanda)	0.02-0.03	0.03-0.06

Figura.- 3.14 Valores típicos del coeficiente  $c_p$ .

$$C_s = 0.93 + 0.16 \sqrt{\frac{L_s}{B}} \varphi \quad [7.5]$$

$$E_c = 14000 \sqrt{f'c} \quad [7.6]$$

EL CALCULO DE LA RESISTENCIA POR ADHERENCIA EN EL FUSTE DEL PILOTE SE HIZO CON EL CALCULO DE LA COHESION EN CADA ESTRATO CON LA CORRELACION DEL NUMERO DE GOLPES EN LA PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR.

	N	Espesor (m)	Af (m <sup>2</sup> )	Cohesión (ton/m <sup>2</sup> )	Qu (ton)
0.0-3.0		3.00	4.80	2.00	9.60
3.00-9.00		6.00	9.60	2.00	19.20
9.0-12.60	8.80	3.60	5.76	0.55	3.17
12.60-14.10	16.75	1.50	2.40	1.05	2.51
14.10-20.10	20.00	6.00	9.60	1.25	12.00
20.10-24.30	37.20	4.20	6.72	2.33	15.62
24.30-30.00	24.50	5.70	9.12	1.53	13.97
30.00-32.00	33.25	2.00	3.20	2.08	6.65
		32.00		1.60	82.72



SUSTITUYENDO :

$$\begin{aligned}C_p &= 0.02 \\Q_{ap} &= 73.65 \text{ Ton} \\B &= 0.4 \text{ m} \\q_p &= 1158.05 \text{ Ton/m}^2 \\C_s &= 0.96 \\Q_{as} &= 82.72 \text{ Ton} \\a_s &= 1 \\L_s &= 32 \text{ m} \\A_p &= 0.16 \text{ m}^2 \\L &= 32 \text{ m} \\E_p &= 766812 \text{ Ton/m}^2 \\f'_c &= 3000 \text{ Ton/m}^2\end{aligned}$$

$$S_p = 0.00318 \text{ m}$$

$$S_{ps} = 0.00214 \text{ m}$$

$$S_e = 0.04078 \text{ m}$$

$$St = S_p + S_{ps} + S_e = 0.0461 \text{ m} \qquad 4.61 \text{ cm}$$

EL ASENTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES SE CALCULO CON LA SIGUIENTE EXPRESION :

$$S_g = \sqrt{\frac{B'}{B}} St =$$

DONDE :

B' = ANCHO DEL GRUPO DE PILOTES, LA DIMENSION MENOR

$$B' = 240.00 \text{ cm}$$

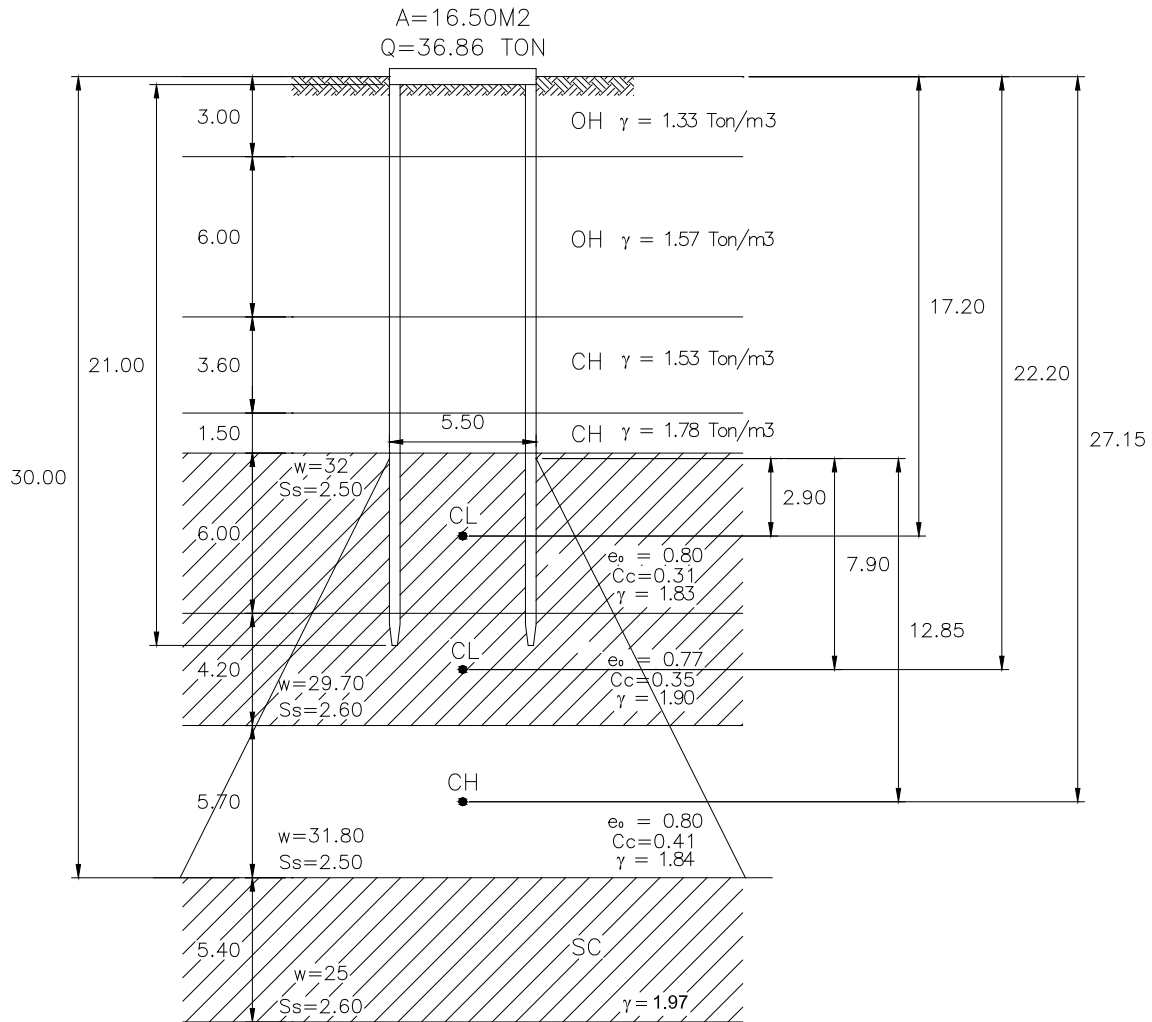
$$S_g = 1.13 \text{ cm}$$

$$\text{LIMITE SEGÚN NTC} = 15.0 \text{ cm}$$

PASA POR ASENTAMIENTO

### 3.8. ESTADO LIMITE DE FALLA (PILOTES DE FRICCIÓN).

Para el diseño de cimentación profunda utilizando pilotes de fricción, se propone desplantarlos a 21 metros de profundidad de acuerdo con la siguiente figura:



**Figura.- 3.15 Condiciones del subsuelo para pilotes de fricción.**

Para asegurar la estabilidad de la estructura por falla se considero la verificación del inciso a de las normas técnicas complementarias en el cual se desprecia la capacidad de carga de los pilotes y se verifica únicamente la capacidad de carga del sistema suelo – losa de cimentación, revisión que se hizo en el punto 3.4 y donde la capacidad de carga de la losa resulto ser suficiente.

### 3.9. ESTADO LIMITE DE SERVICIO (PILOTES DE FRICCIÓN)

El asentamiento por consolidación primaria del arreglo propuesto en la figura 3.15 se estima aproximadamente usando el método 2:1 de la distribución de esfuerzos y el cual se desarrolla a continuación:

EL ASENTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES ES IGUAL A LA COMPRESION DE LA CAPA DE ESPESOR H BAJO EL SEGUNDO TERCIO DE LA LONGITUD DE LOS PILOTES Y SE CALCULA CON LA SIGUIENTE EXPRESION:

$$\Delta s = \frac{c_c H}{1 + e_0} \log \left( \frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right) \quad [9.1]$$

DONDE:

- $\Delta s$  = ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION PRIMARIA
- $C_c$  = INDICE DE COMPRESIBILIDAD
- $\Delta p$  = INCREMENTO DEL ESFUERZO EFECTIVO
- $e_0$  = RELACION DE VACIOS INICIAL
- $H$  = ESPESOR DEL ESTRATO CONSIDERADO
- $p'_0$  = PRESION VERTICAL EFECTIVA

POR LO TANTO EL ASENTAMIENTO TOTAL SERA LA SUMA DE LOS ASENTAMIENTOS CALCULADOS EN CADA ESTRATO SUJETO A CONSOLIDACION PRIMARIA HASTA LLEGAR AL ESTRATO RESISTENTE.

EL INCREMENTO DEL ESFUERZO CAUSADO A LA MITAD DE CADA ESTRATO DE SUELO POR LA CARGA Q SE PUEDE CALCULAR CON LA SIGUIENTE EXPRESION:

$$\Delta p = \frac{Q}{(B + z_i)(L + z_i)} \quad [9.2]$$

DONDE:

Q = CARGA TOTAL DE LA ESTRUCTURA SOBRE LOS PILOTES  
 B = ANCHO DE LA PLANTA DEL GRUPO DE PILOTES  
 L = LARGO DE LA PLANTA DEL GRUPO DE PILOTES  
 $z_i$  = DISTANCIA DE  $z=0$  A LA MITAD DE LA CAPA  $i$  DEL SUELO

SUSTITUYENDO:

Q = 36.86 Ton  
 B = 3.00 m  
 L = 5.50 m

LOS DESPLAZAMIENTO EN CADA ESTRATO SE PRESENTAN EN LA SIGUIENTE TABLA TOMANDO EL VALOR DE LA PRESION EFECTIVA DE LA FIGURA 3.11

$z_i$ m	$c_c$	$H$ m	$e_0$	$P_0$ t/m <sup>2</sup>	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	S m
2.90	0.31	5.80	0.80	10.00	0.74	0.031
7.90	0.35	5.80	0.77	14.50	0.25	0.009
12.85	0.41	5.80	0.80	18.50	0.13	0.004

POR LO TANTO EL ASENTAMIENTO TOTAL  $\Delta s_T = 4.34$  cm

De esta forma se concluye que el asentamiento total calculado del grupo de pilotes no excede los valores permisibles en las normas por lo que el arreglo de pilotes desplantados a 21 m de profundidad trabajando por fricción es aceptable.

### 3.10. ESTADO LIMITE DE FALLA EN CONDICIONES DINÁMICAS

LA REVISION DE LA SEGURIDAD CONFORME AL COMITE DE RECONSTRUCCION DEL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO ESTABLECE QUE LA CIMENTACION DE UNA ESTRUCTURA SERA SEGURA ANTE EL ESTADO LIMITE DE FALLA EN CONDICIONES DINAMICAS, SI LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO AFECTADA POR EL FACTOR DE CARGA Y LA FUERZA DE INERCIA QUE OBRA EN LA ZONA DE FALLA POTENCIAL DEL SUELO QUE SUBYACE EL CIMIENTO ES MAYOR A LA ACCION DE LAS CARGAS GRAVITACIONALES Y LAS DEBIDAS AL SISMO LO CUAL SE VERIFICA CON LA SIGUIENTE EXPRESION:

$$W_t F_c - W_c < F_R A_R q_1 \left( 1 - \frac{0.12 F_c a_0 b \gamma}{F_R C g} \right) \quad [10.1]$$

DONDE :

$W_t$  = CARGA TOOTAL DE LA ESTRUCTURA EN LA CONDICION ANALIZADA

$F_c$  = FACTOR DE CARGA

$W_c$  = PESO DEL SUELO DESPLAZADO EN CASO DE EXCAVACION

$F_R$  = FACTOR DE RESISTENCIA

$A_R$  = AREA REDUCIDA DE LA LOSA CALCULADA CON LA SIGUIENTE EXPRESION

$$A_R = (B - 2e)L \quad [10.2]$$

DONDE :

$B$  = ANCHO DE LA LOSA

$L$  = LARGO DE LA LOSA

$e$  = EXCENTRICIDAD CALCULADA CON LA SIGUIENTE EXPRESION

$$e = \frac{M_s}{W_t} \quad [10.3]$$

DONDE :

$M_s$  = MOMENTO DE VOLTEO DEBIDO A SISMO

$q_1$  = CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO DE APOYO DE LA LOSA

$$q_1 = cN_c \quad [10.4]$$

$a_0$  = ACELERACION HORIZONTAL MAXIMA DEL TERRENO

$b$  = EL MINIMO DE ( $d$ , 1.2 h, 20m)

DONDE :

d = ANCHO DEL AREA REDUCIDA DE LA LOSA  
h = PROFUNDIDAD DESDE EL DESPLANTE HASTA LA CAPA DURA  
MAS PROXIMA  
 $\gamma$  = PESO VOLUMETRICO MEDIO DEL SUELO A NIVEL DE DESPLANTE  
c = COHESION MEDIA DEL SUELO A NIVEL DE DESPLANTE  
g = ACELERACION DEBIDA A LA GRAVEDAD

SUSTITUYENDO :

$W_t = 42.13$  Ton  
 $F_c = 1.10$   
 $W_c = 6.58$  Ton  
 $F_R = 0.70$   
e = 0.23 m  
 $A_R = 14.02$  m<sup>2</sup>  
 $M_s = 9.49$  Ton-m  
 $a_0 = 1.31$  m/s<sup>2</sup>  
d = 3.00 m  
h = 13.80 m  
b = 3.00 m  
 $\gamma = 1.33$  Ton/m<sup>3</sup>  
c = 2.00 Ton/m<sup>2</sup>  
g = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $N_c = 5.97$  m/s<sup>2</sup>  
 $q_1 = 11.94$  Ton/m<sup>2</sup>

SUSTITUYENDO EN LA 10.1 OBTENEMOS LO SIGUIENTE:

$$39.76 \text{ Ton} < 111.30 \text{ Ton}$$

POR LO TANTO : SE ACEPTA EL DISEÑO

ADEMAS SE DEBEN REVISAR LOS ESFUERZOS MAXIMOS EN CONDICIONES DINAMICAS QUE ACTUARAN EN LA LOSA PARA LO CUAL SE DEBE CUMPLIR LA SIGUIENTE DESIGUALDAD:

$$P < q_1 \quad [10.5]$$

PARA EL CALCULO DE LOS ESFUERZOS MAXIMOS QUE SE PRESENTAN EN LA LOSA DEBIDOS A LA CONDICION ANALIZADA SE UTILIZO LA FORMULA DE LA ESCUADRILLA: :

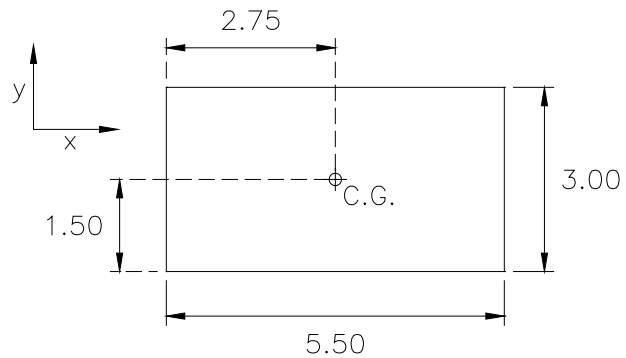
$$P = \frac{Q}{A} + \frac{MV}{I_x} y + 0.3 \frac{MV}{I_y} x \quad [10.6]$$

DONDE :

- P = ESFUERZO A LA DISTANCIA X DEL EJE CENTROIDAL
- Q = COMBINACION DE CARGAS CON ACCIONES ACCIDENTALES
- A = AREA DE LA LOSA DE CIMENTACION
- $M_v$  = MOMENTO DE VOLTEO DEBIDO A SISMO
- x, y = DISTANCIA DEL CENTROIDE DE LA LOSA A LA ORILLA MAS CERCANA
- $I_x, I_y$  = MOMENTO DE INERCIA CENTROIDAL DEL AREA DE LA LOSA EN SENTIDO LARGO Y CORTO

SUSTITUYENDO :

Q = 42.13 Ton  
A = 16.50 m<sup>2</sup>  
 $M_v$  = 9.49 Ton-m  
x = 2.75 m  
y = 1.50 m  
 $I_x$  = 41.59 m<sup>4</sup>  
 $I_y$  = 12.38 m<sup>4</sup>  
P = 5.01 Ton/m<sup>2</sup>



$$5.01 \text{ Ton/m}^2 < 11.94 \text{ Ton/m}^2$$

POR LO TANTO : SE ACEPTA EL DISEÑO

### 3.11. REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DINÁMICAS.

El comportamiento dinámico del sistema se analizó para el caso de pilotes trabajando por punta desplantados a 32 m de profundidad, pudiéndose hacer este análisis a los pilotes trabajando por fricción.

COMO SE MENCIONO CON ANTERIORIDAD EL PRIMER PASO ES DETERMINAR LA CONSTANTE DE RESORTE **K** CON LA FORMULA:

$$k_z = \frac{4Gr_0}{1 - \nu} \quad [11.1]$$

Donde :

$k_z$  = CONSTANTE DE RESORTE EN EL MODO VERTICAL  
 $G$  = MODULO DE CORTANTE DEL SUELO  
 $r_0$  = RADIO EQUIVALENTE  
 $\nu$  = RELACIÓN DE POISSON

EL MODULO DE CORTANTE LO OBTUVIMOS DE LA FORMULA:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad [11.2]$$

EL RADIO EQUIVALENTE PARA UNA CIMENTACION RECTANGULAR EN EL MODO VERTICAL DE MOVIMIENTO SE CALCULA CON LA FORMULA:

$$r_0 = \sqrt{\frac{BL}{\pi}} \quad [11.3]$$

SUSTITUYENDO SE TIENE:

$\nu = 0.35$   
 $E = 300.00 \text{ t/m}^2$   
 $B = 3.00 \text{ m}$   
 $L = 5.50 \text{ m}$   
 $G = 111.11 \text{ t/m}^2$   
 $r_0 = 2.63 \text{ m}$   
  
 $k_z = 1795.59 \text{ Ton/m}$



YA CALCULADA LA CONSTANTE DE RESORTE SE PROCEDE A OBTENER LA FRECUENCIA NATURAL DEL SISTEMA EQUIPO-CIMENTACION-SUELO CON LA EXPRESION :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [11.4]$$

Donde :

m = MASA DEL SISTEMA, EQUIPO Y CIMENTACIÓN

PESO DEL EQUIPO = 12.00 Ton  
PESO DE LA LOSA DE CIMENTACION = 23.76 Ton  
PESO DE LOS CUATRO PILOTES A 32 M = 49.15 Ton  
PESO TOTAL DEL SISTEMA = 84.91 Ton

MASA DEL SISTEMA = 8.66 Ton-s<sup>2</sup>/m

fn = 14.40 cps

CALCULO DE LA RELACION DE MASA Y LA RELACION DE AMORTIGUAMIENTO:

$$B_z = \frac{(1-\nu) W_t}{4 \gamma r_0^3} \quad [11.5] \quad D_z = \frac{0.425}{\sqrt{B_z}} \quad [11.6]$$

Donde :

B<sub>z</sub> = RELACION DE MASA

W<sub>t</sub> = MASA DEL SISTEMA

γ = DENSIDAD DE MASA DEL SUELO = PESO ESPECIFICO / g

D<sub>z</sub> = RELACION DE AMORTIGUAMIENTO

γ = 0.20

B<sub>z</sub> = 0.39

D<sub>z</sub> = 0.68

CON LA FORMULA DEL PASO 3 DEL PUNTO 4.5.2 OBTENEMOS EL FACTOR DE CARGA DINAMICA:

FRECUENCIA DE OPERACIÓN  $f$ :

$$\begin{aligned} f &= 1800 \text{ rpm} \\ f &= 30.00 \text{ cps} \\ f/f_n &= 2.08 \\ M &= 0.23 \end{aligned}$$

$$M = \left[ \frac{1}{\left[ 1 - \left( \frac{f}{f_n} \right)^2 \right]^2 + \left[ 2D \frac{f}{f_n} \right]^2} \right]^{1/2} \quad [11.7]$$

CALCULO DEL DESPLAZAMIENTO DEBIDO A LA CARGA DINAMICA:

CARGA DINAMICA = 1.10 Ton

$$\begin{aligned} Z &= 0.0006 \text{ m} \\ &= 0.61 \text{ mm} \end{aligned}$$

CALCULO DE LA MAXIMA AMPLITUD DE VIBRACIÓN:

$$\begin{aligned} A &= 0.0001 \text{ m} \\ &= 0.14 \text{ mm} \end{aligned}$$

CALCULO DE LA VELOCIDAD MAXIMA DEL SISTEMA:

$$V_{MAX} = \Omega \frac{P}{k} \frac{1}{1 - \left( \frac{f}{f_n} \right)^2} \quad [11.8]$$

DONDE:

$\Omega$  = FRECUENCIA DE OPERACIÓN DEL EQUIPO  
P = CARGA DINAMICA

$$V_{MAX} = 0.00551 \text{ m/s} \quad \text{IGUAL } A = 5.51 \text{ mm/s}$$

$$V_{PERM} = 6.30 \text{ mm/s}$$

Por lo tanto el sistema no excede la velocidad permisible de diseño.

### **3.12. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

Debido a que la zona del proyecto se encuentra en una zona propensa a inundaciones, la mejor opción para hacer accesible el terreno es efectuar un mejoramiento superficial el cual servirá para transitar de manera segura durante la etapa de construcción.

Esto implica que en los resultados obtenidos anteriormente debe considerarse la sobrecarga producida por dicho terraplén además de la correspondiente longitud adicional en pilotes.

Por lo tanto se recomienda un espesor de 2 m para el terraplén de mejoramiento.

Esta longitud adicional en los pilotes afecta directamente en la masa del sistema sin embargo, también aumenta la rigidez por lo cual las diferencias en la respuesta dinámica pueden considerarse despreciables.

Lo ideal es que al tener el espesor definitivo del terraplén y los parámetros para el análisis dinámico del equipo definitivo se efectúe una revisión de los asentamientos y la respuesta dinámica del sistema para corroborar que no se excedan los valores límite.

Para mantener un comportamiento monolítico el concreto de la losa debe ser colado en una sola operación y el tiempo máximo transcurrido entre vaciados sucesivos debe ser de 30 minutos.

La duración mínima de curado será de 1 semana para evitar en lo posible las grietas por contracción que en el futuro pueden afectar el funcionamiento del equipo.

Durante el colado las zonas de grout deben dejarse rugosas.

El grout no debe colocarse hasta haber terminado la etapa de curado del concreto.

En proyectos donde el tiempo de ejecución es crítico, es de gran utilidad tener un sistema de ejecución del diseño de la cimentación, con el que se optimiza el tiempo y se evita que la ejecución de la cimentación se convierta en una ruta crítica.

Sabiendo que los especialistas del hincado están capacitados profesionalmente no esta de más que la parte de diseño haga énfasis a manera de comentario en los siguientes puntos para lograr la capacidad de carga que se requiere en los pilotes:

- a) Los pilotes serán de concreto armado de sección cuadrada, hincados a golpes, con perforación previa superficial, se recomienda seleccionar las dimensiones que fueron analizadas en cuanto a capacidad de carga, en cualquier caso deberá tomarse en cuenta que se ha considerado que los pilotes trabajarán por punta y fricción.
- b) Para el hincado de los pilotes, tomando en consideración su peso variable entre 6.00 y 15.00 ton, así como las características del terreno, se recomienda el uso de una piloteadora con válvula reguladora de energía y martinete o masa golpeadora que tenga un peso comprendido entre el 35 y 40% del peso total del pilote, incluyendo sus elementos de protección.
- c) De ser necesario se recomienda realizar perforación previa para el hincado de pilotes, en un 0.50 % máx. del diámetro del mismo, para no restar la fricción del suelo-pilote.
- d) Al inicio del hincado, la energía comunicada al pilote, deberá regularse para evitar dañarlo o bien, originarle desviaciones o inclinaciones. En la fase final, cuando la punta del pilote se encuentre próxima a la elevación de apoyo, se deberá utilizar el equipo a su máxima capacidad para llevar a los elementos de cimentación a su nivel de proyecto.
- e) Se recomienda que para todos los pilotes se alcance el rechazo durante el hincado; esto cuando con 40 golpes del martillo el pilote penetre solo una longitud de 10 cm o menos, el hincado podrá suspenderse con diferencias de 0.50 m o menores en relación con el nivel de apoyo de proyecto, siempre y cuando se obtenga el rechazo en tres tramos consecutivos de 10 cm de longitud (esto estará en función y criterio de la supervisión).
- f) No se deberá permitir interrupciones en el hincado de los pilotes por más de 1 hora.

La supervisión deberá llevar un registro del hincado de los pilotes, el cual deberá incluir cuando menos.

\* Fecha y hora del hincado.

\* Tipo, tamaño, forma, longitud y desviación de la posición de cada pilote.

\* Tipo de martillo usado, número de golpes por minuto, número de golpes para hacer penetrar el pilote en tramos de 10 cm en el último metro de hincado.

\* Fecha y hora de terminación del hincado.

g) La tolerancia en posición y desplome permisibles serán señaladas por el estructurista, pero se recomienda que en ningún caso el desplome exceda de 0.5 % de la longitud de elemento.

h) Se considerará que la cabeza del pilote, quedara con la longitud necesaria arriba del nivel de desplante, que asegure que este tramo, se descabezará para ligarlo con los demás elementos de la estructura.

i) Cada pilote deberá tener marcas que indiquen los puntos de izaje, para poder levantarlos, transportarlos e izarlos.

j) En el caso de pilotes hincados a través de un manto compresible hasta un estrato resistente, se verificará para cada pilote mediante nivelaciones si se ha presentado emersión por la hinca de los pilotes adyacentes y, en caso afirmativo, los pilotes afectados se volverán a hincar hasta la elevación especificada.

k) Si un pilote de punta se rompe o daña estructuralmente durante su hincado, o si por excesiva resistencia a la penetración, queda a una profundidad menor que la especificada y en ella no se pueda garantizar la capacidad de carga requerida, se extraerá la parte superior del mismo, de modo que la distancia entre el nivel de desplante de la subestructura y el nivel superior del pilote abandonado sea por lo menos de 3 m. En tal caso, se revisará el diseño de la subestructura y se instalarán pilotes sustitutos.

l) Durante la etapa de construcción se recomienda ejecutar un sistema de control para el monitoreo de la calidad de los materiales y suministro de concretos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se lograron resultados positivos para el alcance de este trabajo, es decir; Tanto el diseño propuesto a base de pilotes de punta como el que trabaja con pilotes de fricción, generan capacidades de carga suficientes para resistir las solicitaciones a las que están sometidos y cumplir con los estados límite de falla, además, las deformaciones estimadas en el análisis, producidas por los efectos de las solicitaciones consideradas, no conducen a desplazamientos mayores que los permisibles en las normas técnicas complementarias, por lo que los diseños cumplen con los estados límite de servicio. Por otro lado, los resultados del análisis dinámico de este trabajo muestran que el arreglo por pilotes de punta cumple con los requerimientos por velocidad máxima del sistema, y la amplitud no representa un valor que pueda producir daños en la estructura o el equipo.
2. El conocimiento de los conceptos básicos de la “Teoría del semi-espacio Elástico”, le proporcionan una herramienta muy útil al ingeniero diseñador de cimentaciones expuestas a cargas dinámicas para evaluar el comportamiento dinámico del sistema suelo – estructura y determinar un diseño óptimo.
3. Conocer los datos necesarios para el diseño de una cimentación promueve el planeamiento de los estudios geotécnicos, las pruebas que se requieren en cada caso particular y optimizar el costo y tiempo de dichos estudios.
4. En las cimentaciones para equipos que ejercen cargas dinámicas, es muy útil solicitar a la hora de hacer estudios geofísicos del terreno, las pruebas correspondientes para obtener las propiedades dinámicas, ya que en la mayoría de los casos se investigan las físicas y mecánicas pero no las dinámicas.
5. El cuerpo rígido que representa la estructura de cimentación y que se encuentra apoyado teóricamente en un soporte elástico, tiene estrictamente seis grados de libertad, sin embargo, se pueden plantear modelos matemáticos de uno, dos y hasta tres grados de libertad sin afectar la validez de los resultados.

6. La veracidad de los resultados obtenidos, depende en gran medida de los valores elegidos o calculados para la masa, el coeficiente de amortiguamiento y la constante de rigidez.
7. Se debe recomendar a la parte operadora, periodos de mantenimiento adecuados para evitar los des balanceos en los equipos ya que estos son responsables directos de incrementos en las amplitudes de las vibraciones de las masas rotatorias y en consecuencia en la aparición de grietas en las estructuras de cimentación que se agravan con el tiempo.
8. Cuando los datos de diseño son inciertos o el margen de seguridad no puede mantenerse con un adecuado nivel contra la resonancia, es recomendable dejar una debida provisión en la construcción, para cambios posteriores que originen modificación en la frecuencia natural de la cimentación.
9. Para reducir las vibraciones de la cimentación se pueden utilizar amortiguadores dinámicos, que son dispositivos que consisten principalmente de una masa y un resorte con valores particulares de rigidez que al sujetarse a la cimentación absorben gran parte de la energía de vibración o utilizar una cama a base de algún material elástico que cumpla con la misma función de los resortes.
10. Se recomienda que al diseñar cualquier cimentación sujeta a cargas dinámicas de equipos, se consideren los puntos de vista generales del fabricante del equipo, de los técnicos que la instalaran y del personal que la operará, así como de los autores del proyecto general de las instalaciones.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de cimentaciones del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal. 2004.*
2. *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.2004.*
3. *Manual de diseño de obras civiles, Comisión Federal de Electricidad, diseño por sismo, México, 2008.*
4. *Manual de Cimentaciones profundas, Sociedad Mexicana de mecánica de suelos*
5. *Diseño y construcción de cimentaciones Normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el distrito federal, No. 405 del Instituto de ingeniería de la UNAM. 1977.*
6. *Eulalio Juárez Badillo, Mecánica de suelos tomo 1, Editorial Noriega – Limusa México, D.F. 1998.*
7. *Eulalio Juárez Badillo, Mecánica de suelos tomo 2, Editorial Noriega – Limusa México, D.F. 2010.*
8. *Jesús Alberro y José A. Nieto, Criterios de diseño para cimentaciones de maquinaria, No. 131 del Instituto de ingeniería de la UNAM. 1968.*
9. *R. Flores Berrones, Parámetros de diseño en cimentaciones de maquinaria, No. 389 del Instituto de ingeniería de la UNAM. 1977.*
10. *Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, International Thompson Editores. 2001.*
11. *Braja M. Das, Principios de ingeniería de cimentaciones, International Thompson Editores. 2001.*
12. *F. E. Richard Jr., Vibrations of soil and Foundations, Prentice Hall International inc. New Jersey, 1970.*