

**MEJORAMIENTO DEL SUELO COHESIVO POR MEDIO DE LA
COMPACTACIÓN DINÁMICA**

**JAIME MAURICIO SOTO ANDRADE
CÓDIGO: 2080461**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL CON ÉNFASIS EN GEOTECNIA
BOGOTÁ. D.C.
2014**

**MEJORAMIENTO DEL SUELO COHESIVO POR MEDIO DE LA
COMPACTACIÓN DINÁMICA**

**JAIME MAURICIO SOTO ANDRADE
CÓDIGO: 2080461**

**Proyecto Dirigido
Periodo Académico 2014-2**

**Director
ROBERTO MALDONADO GUILFOYLE
INGENIERO CIVIL**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ. D.C.
2014**

AGRADECIMIENTOS

ROBERTO MALDONADO GUILFOYLE, Ingeniero Civil, agradecer inmensamente la colaboración del ingeniero Roberto Maldonado Guilfoyle, quien me oriento y suministro toda la información con la cual se desarrolló el presente trabajo de grado, además de su valioso tiempo.

GERMAN SANTOS, Ingeniero Civil y Director de la Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, quien durante todo el curso de la maestría me brindo toda su colaboración y ayuda.

CLAUDIA RIOS, Ingeniera Civil y Coordinadora del énfasis en Geotecnia de la Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., Noviembre de 2014

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 Objetivo general.....	14
1.2 Objetivos específicos:	14
2. ALCANCE	15
3. PROCEDIMIENTO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA	16
3.1. Análisis inicial	17
3.1.1. Caracterización del suelo	17
3.1.2. Requisitos de diseño (construcción de bodegas).....	19
3.1.3. Estimación de Costos	20
3.1.4. Diseño del mejoramiento del suelo por medio de la compactación dinámica	22
4. TIPOS DE SUELOS DONDE LA COMPACTACIÓNDINÁMICA HA SIDO APLICADA CON ÉXITO	25
5. CASOS HISTORICOS DE MEJORAMIENTO DEL SUELO POR MEDIO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA EN COLOMBIA	25
5.1. ESTUDIO DE LOS SUELOS Y CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA BASE NAVAL DEL PACIFICO EN BAHIA MALAGA 1984, COLOMBIA, para ABV-Teknic de Suecia.....	25
5.2. CUSIANA, 1992, 1994.....	26
5.3. BIOFILM S.A. 2003.....	26
5.4. URBANIZACION INDUSTRIAL CELTA 2008	26
5.5. PLANTA DE PROCTER GAMBLE EN RIONEGRO, ANTIOQUIA 2009.....	27
5.6. PUENTE DE SIBERIA 2010	28
6. APLICACIÓN DE LA COMPACTACIÓNDINÁMICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SUELO COHESIVO EN BOGOTÁ.....	29
6.1. ANÁLISIS PRELIMINAR.....	29
6.1.1. Estudio de suelos	30
6.1.2. Geología	30
6.2. GRUPO GUADALUPE	31

6.2.2.	Formación arenisca dura (Ksgd):.....	31
6.2.3.	Depósitos aluviales (Qal).....	31
6.2.4.	Exploración Geotécnica.....	32
6.2.4.1.	Trabajos de campo y Ensayos de laboratorio antes de Compactación Dinámica. 32	
6.2.4.2.	Ensayos Geofísicos	32
6.2.4.3.	Ensayos de laboratorio.....	33
6.2.4.4.	Descripción del perfil estratigráfico	33
6.2.4.5.	Nivel de agua freático	35
6.2.4.6.	Evaluación de la capacidad portante	35
6.2.4.7.	Asentamientos antes de la compactación dinámica.....	36
6.2.4.7.1.	Asentamientos empleando los parámetros dinámicos del suelo.....	36
6.2.4.7.2.	Asentamientos por consolidación	37
6.3.	DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DEL SUELO POR MEDIO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA 37	
6.4.	SISTEMA DE MEDICIÓN PARA COMPROBAR EL MEJORAMIENTO DEL SUELO:	43
6.4.1.	Compresión Inconfinada	44
6.4.2.	Consolidación lenta.....	45
6.4.3.	Ensayos geofísicos.....	45
6.4.4.	Asentamientos después de la compactación dinámica	46
6.4.4.1.	Asentamientos empleando los parámetros dinámicos del suelo	46
6.4.4.2.	Asentamientos elásticos	46
6.4.4.2.1.	Asentamientos por solicitud del esfuerzo cortante.....	47
6.4.4.2.2.	Asentamiento total	47
6.4.4.3.	Asentamientos por consolidación.....	47
7.	CONCLUSIONES.....	48
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	ANEXOS	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de Ensayos de Laborat	18
Tabla 2. Equipo requerido para diferentes tipos de platina	20
Tabla 3. Se presenta un estimativo del costo de la compactación dinámica por metro cuadrado en Bogotá con diferente peso de platina. Incluye movilización.	21
Tabla 4. Resumen del proceso de diseño	23
Tabla 5. Valor de “n” para diferentes tipos de suelo	24
Tabla 6. Resumen de Actividades de Exploración Directa	32
Tabla 7. Tipo y Cantidad de Ensayos de Laboratorio	33
Tabla 8. Resumen de Actividades de Exploración Directa	43
Tabla 9. Tipo y Cantidad de Ensayos de Laboratorio	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Compactación Dinámica ...	17
Figura 2 Grúas empleadas en el mejoramiento del suelo para cimentar superficialmente una bodega ubicada en el parque industrial Celta (Bogotá).	21
Figura 3.Ubicación del terreno densificado dinámicamente.....	29
Figura 4.Localización de la zona de estudio en la plancha 227- La mesa (INGEOMINAS 1998).....	30
Figura 5 Depósitos aluviales recientes, en terrazas conformadas por materiales finas granulares.	31
Figura 6 Patrón de golpes.....	39
Figura 7 Inicio de la fase 1, se deja caer la platina 27 veces en un mismo sitio ...	39
Figura 8 Una vez terminado el primer cuadro, se inicia el segundo separado 0.5m del borde del primer cuadro.	40
Figura 9 Una vez terminado el segundo cuadro, se inicia el segundo separado 0.5m del borde del primer cuadro, y así sucesivamente hasta abarcar toda el área del lote a densificar.	40
Figura 10 Conformación de la grilla	41
Figura 11 Depresión en suelo cohesivo.....	41
Figura 12.....	42
Figura 13 Cuando el perfil de suelo está conformado por arcilla, las depresiones son muy grandes, mayores de 1.8m.....	42
Figura 14 Forma corriente del mejoramiento del suelo cohesivo.....	43
Figura 15.....	45

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

EA	= Energía Aplicada
D	= Profundidad Mejoramiento del suelo en metros
g	= Aceleración por la gravedad
H	= altura de caída de la platina en metros
N=	Coeficiente empírico usado en la determinación de la profundidad del suelo a mejorar.
SPT	= Ensayo penetración estándar
W	= Peso de la platina
Vs	= Velocidad de onda de corte
Vp	= Velocidad onda compresional
REMI	= micro-temblores (microtremor).
NSR 10	= Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

RESUMEN

La compactación dinámica es un método patentado y desarrollado en 1969 por el ingeniero francés Louis Menard. La compactación dinámica es una técnica que consiste en la densificación del suelo empleando la energía de ondas de impacto que produce la caída libre de una platina pesada (200 toneladas) desde grandes alturas entre 15 y 60m. La energía del impacto produce la densificación del suelo mejorando sus propiedades mecánicas y dinámicas; en suelos granulares y cohesivos, por debajo y por encima del nivel freático, tanto en tierra como en alta mar.

La reacción del suelo ante la compactación dinámica depende de sus características geotécnicas y la cantidad de energía aplicada por los impactos de la platina. La energía es función de la masa, la altura de caída y el número de caídas en cada punto.

Al emplear un sistema como el descrito, se logra triplicar la capacidad portante, el índice California Bearing Ratio (CBR) y reducir el asentamiento elástico y asentamiento por consolidación considerablemente.

La variedad de tipos de materiales densificados con éxito por medio de la compactación dinámica es muy amplia; un mejoramiento efectivo ha sido logrado en materiales que van desde rellenos de roca a suelos cohesivos y saturados pasando por escombros de construcción.

Se realizó como aplicación del presente trabajo de grado un mejoramiento de suelo cohesivo por medio de la compactación dinámica en un lote ubicado en el kilómetro 6.5 vía Bogotá Medellín costado sur Celta Trade Park. Se realizó un planeamiento de patrones de golpeo, tiempo de disipación de la presión de poros, número de pasadas, altura de caída y peso de la platina.

Antes, durante y después de los trabajos de compactación se comprobó el aumento de densidad por medio de: velocidades de onda de corte, velocidad compresional, sondeos y ensayos de laboratorio. Mediante correlaciones con los sondeos se determinó las velocidades de onda que correspondían a las

densidades deseadas y así, se comprobó que se había alcanzado el grado de compactación deseado.

Los resultados del mejoramiento son inmediatos, se alcanzaron depresiones en la superficie del terreno hasta de 1.9m con 27 golpes por punto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado pretende determinar el mejoramiento de las propiedades mecánicas y dinámicas de un suelo cohesivo ubicado en la ciudad de Bogotá (Km 6.5 vía Bogotá – Medellín) por medio de la técnica de la compactación dinámica.

El mejoramiento del suelo cohesivo por medio de la compactación dinámica se comprueba comparando los resultados obtenidos de sondeos, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos tipo REMI antes y después de la densificación del suelo.

Teniendo en cuenta las diferentes etapas del proceso, se ha dividido el mejoramiento del suelo cohesivo así:

- **Análisis Inicial:** Se realiza una evaluación preliminar sobre: condiciones de área a mejorar, características geotécnicas del suelo que conforman el perfil estratigráfico, para determinar si la compactación dinámica es viable o no. Si es viable, se realiza: exploración del suelo por medio de sondeos, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos; con el fin de conocer la profundidad del suelo blando a densificar y sus propiedades geotécnicas iniciales. Por último, el costo de la compactación dinámica debe ser comparada con el costo de otros sistemas de mejoramiento o fundaciones profundas.
- **Requisitos de diseño:** Dependiendo del uso del suelo que va a tener el suelo mejorado, así mismo serán los requisitos de diseño; no es lo mismo la construcción de bodegas y edificios, que la construcción de una vía. En nuestro caso se deben determinar los asentamientos (inmediato, por consolidación y total) y capacidad portante que requiere la construcción de una bodega, cumpliendo lo estipulado en la NSR 10.
- **Diseño del mejoramiento:** se define la altura de caída de la platina; peso de la platina; separación de caída de la platina y número de repeticiones por punto.

- **Ejecución de la Compactación dinámica:** La compactación dinámica se realiza siguiendo una grilla de medidas previamente establecidas, en orden ajedrezado comenzando por los bordes y terminando en el centro.
- **Análisis Final:** Se realizan: sondeos a 10m de profundidad, ensayos de laboratorio a las muestras de suelo extraídas y ensayos geofísicos después del mejoramiento; con el objeto de determinar el grado de mejoramiento.
- **Comprobación de resultados:** Con la información del suelo antes y después de la intervención por la compactación dinámica, se realizan gráficas de los resultados de laboratorio y velocidades de onda para comprobar el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo.

El principal objetivo del presente trabajo de grado es mostrar las características esenciales de esta técnica y presentar un poco de los muchos logros que esta técnica ha permitido en trabajos de: vías, construcción de edificios y bodegas, acceso a puentes vehiculares y construcciones marinas.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar la técnica de la compactación dinámica para mejorar las propiedades geomecánicas y dinámicas de suelos cohesivos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Presentar el procedimiento de compactación dinámica, como uno de los métodos de mejoramiento de suelos cohesivos, rápido, económico y eficaz que viene siendo empleado en nuestro país en los últimos años.

Presentar un caso práctico, mostrando metodología, maquinaria, sondeos, ensayos de campo y laboratorio, ensayos geofísicos (REMI), controles y beneficios de la compactación dinámica.

Demostrar que el uso de la técnica de compactación dinámica en suelos cohesivo es viable y muy eficiente.

Implementar la técnica de compactación dinámica para el desarrollo de proyectos de ingeniería a bajo costo.

2. ALCANCE

La compactación dinámica se enfoca principalmente en mejorar la capacidad portante de terrenos que originalmente poseen propiedades geotécnicas menores a las deseables; mediante la aplicación de esfuerzos dinámicos intensos producidos por la caída de una pesa de 6.8 ton desde una altura de 15m.

El tipo de suelo hacia la cual se orientará el trabajo de grado, serán suelos cohesivos que requieran ser tratadas para mejorar sus características geotécnicas y así, poder soportar grandes cargas con asentamientos despreciables por medio de zapatas.

3. PROCEDIMIENTO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA

La compactación dinámica es un método patentado y desarrollado en 1969 por el ingeniero francés Louis Menard. Se ha implementado en más de 50 países, incluyendo los Estados Unidos y Colombia. Inicialmente la técnica fue conocida como *platina pesada*, su campo de acción se limitaba principalmente a suelos granulares y rellenos de balasto; rápidamente fue posible extender su campo de aplicación a suelos cohesivos saturados y suelos aluviales. Desde entonces y en adelante la técnica ha tomado el nombre de consolidación dinámica.

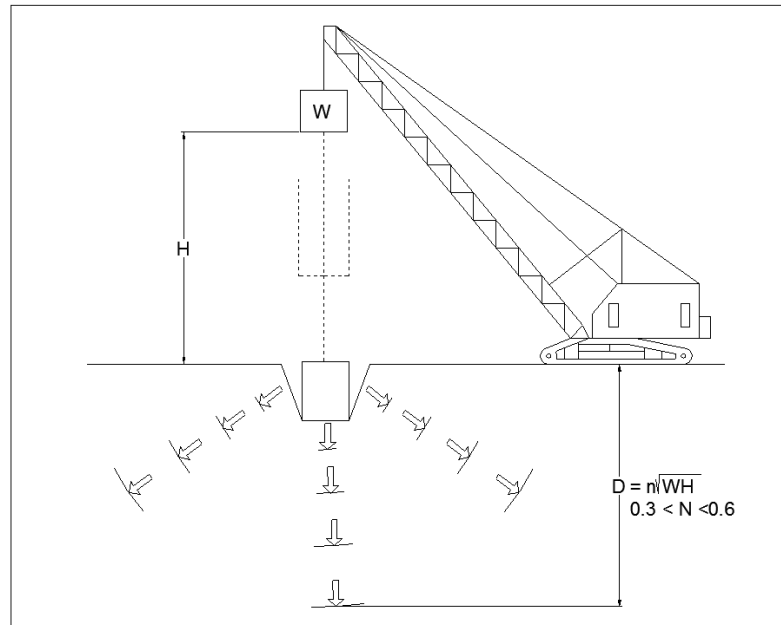
Básicamente, el método consiste en densificar el suelo empleando energía de ondas de impacto producidas por la caída libre de una platina pesada desde grandes alturas, entre 15m y 60m. La energía se aplica generalmente en fases en un patrón de rejilla sobre todo el terreno a mejorar desde el centro hacia el perímetro, usando varios golpes por punto con el fin de romper la estructura de la arcilla y sacar la humedad.

El grado de mejoramiento es una función de la energía aplicada: peso de la platina, altura de caída, espacio de la cuadrícula y el número de golpes por punto. En el anexo 3, registro fotográfico se muestra el proceso de la compactación dinámica y los equipos que se emplean regularmente.

Las características esenciales de la compactación dinámica son: la energía aplicada el número de repeticiones por punto y tiempo de disipación de poros. Estos son determinados por tres parámetros geotécnicos los cuales son: la profundidad del suelo a ser densificado, su naturaleza y la permeabilidad.

La compactación dinámica ganó gran aceptación para tratamiento de suelos no saturados y suelos granulares, por otra parte, tan pronto la técnica fue aplicada a suelos cohesivos fuertes prejuicios fueron encontrados a pesar de la consistente favorabilidad de los resultados obtenidos.

Figura 1 Compactación Dinámica



A continuación se presentan las directrices que normalmente se emplean para el uso de la compactación dinámica en el mejoramiento de los suelos inestables y compresibles.

3.1. ANÁLISIS INICIAL

Se realiza una evaluación inicial para determinar si el mejoramiento del suelo por medio de la compactación dinámica es apropiado comparada con otros sistemas de mejoramiento desde el punto de vista: económico, extensión de área del terreno a densificar, si las vibraciones y desplazamiento lateral del suelo tienen impacto en propiedades adyacentes; (especialmente importante en zonas urbanas).

3.1.1. Caracterización del suelo

Antes de realizar la densificación del suelo por medio de la compactación dinámica, será necesario evaluar las condiciones del suelo y el subsuelo, esto se

consigue por medio de sondeos con pruebas in situ de penetración estándar (SPT), ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos. Con la exploración del suelo se determina: espesor de la capa vegetal, espesor del estrato blando, tipos de suelo que conforman el perfil y profundidad del nivel freático.

La elección del tipo de perforación, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos dependerán del tipo de suelo, equipos disponibles y experiencia del diseñador con ese tipo de ensayos.

De las muestras extraídas de los sondeos se deberán ensayar cada metro o cambio de material.

Se debe efectuar un programa de laboratorio encaminado principalmente a identificar y determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y los parámetros de deformación de cada uno de los estratos del perfil encontrado.

En la Tabla 1, se relaciona algunos tipos de ensayos que se deben ejecutar.

Tabla 1. Tipo de Ensayos de Laboratorio

ENSAYOS
Humedad Natural
Límite Líquido
Límite Plástico
Lavado sobre tamiz No. 40-200
Compresión Inconfinada
Consolidación Lenta
Corte directo
Peso unitario

La información geotécnica se complementa con un estudio geofísico, realizando ensayos REMI o MASW o Down Hole y/o Líneas de refracción sísmica antes y después de la compactación dinámica.

De los ensayos geofísicos se obtienen la siguiente información:

Velocidades de onda de corte (V_s)

Velocidades de onda compresional (V_p)

Relación de Poisson (μ)

Módulo de corte dinámico (G)

Módulo de Young (E)

3.1.2. Requisitos de diseño (construcción de bodegas)

Se requiere realizar un cálculo de capacidad portante y asentamientos antes y después de realizar la densificación del suelo por medio de la compactación dinámica, comparar los resultados y verificar que cumpla con lo establecido en la Norma Colombiana Sismo Resistente 2010.

En la planeación del diseño del mejoramiento se debe tener en cuenta los siguientes análisis:

Cálculo de asentamientos inmediatos, por consolidación y total antes del mejoramiento del terreno.

Cálculo de la capacidad portante antes de la compactación dinámica.

La edificación debe soportarse sobre el terreno de forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento.

La evaluación de los asentamientos y capacidad portante debe realizarse mediante modelos de aceptación generalizada empleando parámetros de deformación obtenidos de ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos.

El objeto de realizar el cálculo de los asentamientos y capacidad portante antes del mejoramiento del suelo es comparar la deformación estimada con la deformación tolerada. Si la deformación es excesiva y la capacidad portante baja, se justifica el mejoramiento del suelo.

3.1.3. Estimación de Costos

Es necesario realizar una estimación preliminar de los costos que genera realizar el mejoramiento del suelo por medio de compactación dinámica, que permita comparar con otras alternativas de mejoramiento o la construcción de cimentaciones profundas.

El costo del mejoramiento del suelo por medio de la compactación dinámica depende directamente del tipo de equipo que se requiere para realizar los trabajos.

En Colombia el costo de operación de grúas mayores a las necesarias para manejar una pesa, por ejemplo de 10 toneladas sube desproporcionadamente, porque se trata de grúas de operación totalmente mecánica, que sufren un desgaste importante por el sistema de operación.

Ahora, en el exterior es común usar grúas con sistemas hidráulicos de transmisión de la potencia para levantar la pesa, lo cual produce desgaste mucho menor del sistema comparado con los sistemas de embrague y levantamiento repetitivo de la pesa.

En la tabla 2 se presentan los equipos requeridos para diferentes tipos de platina.

Tabla 2. Equipo requerido para diferentes tipos de platina

Peso Platina (Ton)	Capacidad de la Grúa (Ton)	Diámetro del cable (mm)
5.4 - 7.3	36.3 - 45.4	19 - 22
7.3 - 12.7	45.4 - 90.7	22 - 25
12.7 - 16.3	90.7 - 113.4	25 - 29
16.3 - 22.7	136.1 - 158.8	32 - 38

Figura 2 Grúas empleadas en el mejoramiento del suelo para cimentar superficialmente una bodega ubicada en el parque industrial Celta (Bogotá).



Tabla 3. Se presenta un estimativo del costo de la compactación dinámica por metro cuadrado en Bogotá con diferente peso de platina. Incluye movilización.

Peso de la platina requerida (Ton)	Costo por m ² (Peso colombiano)
4 a 7	45.000
7 a 15	55.000

Los precios mencionados en la tabla 3 no incluyen:

- Monitoreo durante y después de la compactación dinámica
- Sondeos o ensayos para verificar el nivel de compactación.

3.1.4. Diseño del mejoramiento del suelo por medio de la compactación dinámica

Pasos a tener en cuenta para el diseño del mejoramiento del suelo por medio de la compactación dinámica.

Establecer el espesor de suelo compresible a mejorar.

Definir la energía que debe ser aplicada al suelo para obtener el mejoramiento deseado.

Seleccionar el área a ser densificada

Determinar la grilla de espaciamiento y el número de repeticiones por punto.

Si el desempeño del mejoramiento no es el esperado, el ingeniero diseñador podrá modificar los cuatro parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 4. Resumen del proceso de diseño

Secuencia Parámetros de diseño	Proceso para determinar los parámetros de diseño.
<p>Paso 1: Determinar el peso de la platina y la altura de caída para el espesor de suelo a mejorar</p> <p style="text-align: center;"><i>Ecuación 1: $D = n(WH)^{0.5}$</i></p>	<p>Determinar por medio de sondeos, laboratorio y ensayos geofísicos el espesor de suelo compresible. Usar con criterio la ecuación 1 y seleccionar el valor n de la tabla 7, según el tipo de suelo. Seleccionar el equipo de compactación dinámica basada en el peso de la platina y altura de caída.</p>
<p>Paso : 2 Definir el área del Proyecto a densificar</p>	<p>Según el área a mejorar, definir las dimensiones de la grilla y su separación más un sobre ancho. <u>El sobre ancho debe ser igual al espesor del mejoramiento.</u> Si en el área del proyecto existe una concentración de cargas puntual, se debe aplicar energía adicional según se requiera.</p>
<p>Paso 3: Separación de grilla y número repeticiones por punto.</p> <p style="text-align: center;"><i>Ecuación 2: $EA = \frac{N(W)(H)(P)}{(separación\ grilla)^2}$</i></p> <p>Donde: EA= Energía aplicada N = número de caídas por sitio P = número de pasada W = peso de la platina H = altura de caída</p>	<p>Seleccionar el espaciamiento de una grilla, en un rango de 1.5 a 2.5 veces el lado menor de la pesa par a suelos granulares. En suelos cohesivos la separación es 0.25 veces el lado menor de la pesa. Aplicar la ecuación 2 con los valores de la ecuación del paso 1. Usar la ecuación 2 para calcular la energía aplicada en cada punto, generalmente se requiere entre 10 y 15 caídas por punto de la grilla, si los cálculos indican más de 15 o menos de 10 caídas el espaciamiento de la grilla se debe ajustar.</p>
<p>Paso 4: Número de pasadas</p> <p>La predicción de la profundidad del cráter o el desplazamiento del suelo por la caída de la pesa es muy difícil. Para determinar los desplazamientos y profundidad del cráter es necesario establecer puntos de observación y equipos de monitoreo.</p>	<p>La profundidad del cráter debe limitarse al espesor de la pesa más 0.3 m. La energía de aplicación debe disminuir si se producen grandes desplazamientos en el suelo. Si los ítem A o B ocurren antes de que el número de caídas requeridas sea aplicadas, se deben aumentar el número de pasadas para: Permitir la nivelación del suelo Perimir la disipación de la presión de poros.</p>

Fuente: Federal Highway Administration, Geotechnical Engineering Circular 1

El coeficiente empírico n de la ecuación 1, intenta tener en cuenta otros factores adicionales a la altura de caída de la platina y peso de la platina como:

- Eficiencia de la caída según el mecanismo de la grúa.
- Cantidad de energía aplicada.
- Tipo de suelo que está siendo densificado
- Disipación de la energía en las capas de suelo.
- Uniformidad de la superficie del terreno
- El coeficiente “n” varía entre 0.3 y 0.8.

En la tala 5 se presenta en valor de “n” para diferentes tipos de suelo.

Tabla 5. Valor de “n” para diferentes tipos de suelo

Tipo de suelo	Grado de saturación	Valor de recomendado “n”
Depósito de suelos permeables – suelos granulares	alta	0.5
	baja	0.5 – 0.6
Depósito de suelos semi permeables – principalmente limos con índice de plasticidad < 8	alta	0.35 – 0.4
	baja	0.5 - 0.6
Depósito de suelo impermeables – principalmente suelos arcillosos con índice de plasticidad mayor de > 8	alta	0.5
	baja	0.4

Fuente: Federal Highway Administration, Geotechnical Engineering Circular 1

4. TIPOS DE SUELOS DONDE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA HA SIDO APLICADA CON ÉXITO

Suelos naturalmente sueltos: aluviales, llanuras inundadas, depósito de rellenos hidráulicos.

Depósitos de tierra antiguos y jóvenes.

Rellenos y escombros de construcción.

Arcillas saturadas y parcialmente saturadas.

Suelos colapsables

Arenas sueltas (para reducir el potencial de licuación).

Limos sueltos

5. CASOS HISTORICOS DE MEJORAMIENTO DEL SUELO POR MEDIO DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA EN COLOMBIA

R Maldonado Ingenieros S.A.S.

En 1959 el Ingeniero Roberto Maldonado Guilfoyle fundó su propia compañía de Estudios Geotécnicos, la cual evolucionó hasta convertirse en R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S. Desde entonces el Ing. Maldonado ha ejecutado y/o supervisado más de 3000 estudios y diseños, y ha sido asesor durante diseño y construcción de varios de estos proyectos.

Durante su ejercicio profesional el Ing. Maldonado ha participado como ingeniero director y especialista de grandes proyectos de ingeniería, tanto en Colombia como en el exterior. A continuación se mencionan algunos proyectos donde R Maldonado Ingenieros S.A.S empleo la compactación dinámica como sistema de mejoramiento del suelo:

5.1. ESTUDIO DE LOS SUELOS Y CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LA BASE NAVAL DEL PACIFICO EN BAHIA MALAGA 1984, COLOMBIA, PARA ABV-TEKNIC DE SUECIA.

Se estudió un área de 1.5 km. por 3.0 km. en tierra y tres áreas marinas para la factibilidad técnica de la Base. Después se efectuó el estudio de suelos definitivo y

se asesoró durante cinco años en la construcción de la Base y los diseños detallados de las cimentaciones, taludes en suelos residuales, sistemas de contención marinos y en superficie, características de erosión y su tratamiento. En los taludes residuales se usaron drenes, sistemas de contención de base, protecciones con vegetación y geotextil, etc. Aunque no se conocía la técnica de compactación dinámica bajo agua, aportada por una firma de Consultoría Sueca, se estudiaron los sistemas y se monitoreó su ejecución con un presiómetro Menard.

5.2. CUSIANA, 1992, 1994

Estudios Geotécnicos y recomendaciones de cimentación para el CPF-CUSIANA, el cual incluye tanques de almacenamiento de crudo con capacidad de 50.000 a 10.000 barriles, cimentados sobre suelos licuables que fueron compactados por medio de caída de pesos de 10 ton hasta de 15m de altura (Compactación dinámica). Monitoreo de la densidad obtenida por medio de velocidad de onda.

5.3. BIOFILM S.A. 2003

Proyecto y Supervisión de compactación dinámica en Tampico Méjico. Los suelos eran colapsables y de baja densidad. Después de compactación dinámica, se cimentaron estructuras y maquinaria hasta fatigas de 30 ton/m². Se usaron dos grúas con dos pesas de 10 toneladas para compactar en corto tiempo 32000 m².

5.4. URBANIZACION INDUSTRIAL CELTA 2008

Edificio de la Firma Producción y Gestión. Por ser este edificio el primero de esta zona donde se mejorarían los suelos por medio de compactación dinámica, se hizo un análisis con perforaciones antes de compactación dinámica y después de compactación dinámica. También se hizo Geofísica, antes de compactación dinámica, durante compactación dinámica y después de compactación.

Los suelos del área son arcillas con límite líquido de 91 a 158%, límite plástico de 38 a 91% y humedades naturales de 73 a 138% en los primeros 10 m del perfil de suelos. La clasificación de estos suelos es principalmente CH y hay algunos MH; las cantidades de arcillas y limos que pasan Tamiz 200 de 91 a 100%.

Tabla 6 Velocidades de Onda

Características Geofísica	Vs (m/s)	Vp (m/s)	G (Ton/m²)	E (Ton/m²)	Relación de Poisson
Antes de Compactación	48	108	352	970	0.32
Después de Compactación	179	433	5226	14601	0.40

Las resistencias inconfiadas se muestran en la gráfica adjunta. Hay que tener en cuenta que si se hacen cortes directos las cohesiones tienden a conservarse constantes, pero los ángulos de fricción crecen a valores de 15 a 25 grados y consecuentemente la capacidad portante crece más de cinco veces en el caso que se describe.

El mejoramiento del suelo llegó a profundidades comprobadas de 10 m. Los asentamientos del edificio apoyado superficialmente fueron ligeramente menores a los computados empleando el módulo de corte dinámico G y el módulo elástico de Young. El edificio es de concreto y tiene 6 pisos de altura.

5.5. PLANTA DE PROCTER GAMBLE EN RIONEGRO, ANTIOQUIA 2009

La planta estaba diseñada con cimentación sobre pilotes, que no eran adecuados para cargas laterales. Los suelos del área son arcillas residuales del Batolito Antioqueño. Se propuso cimentación por medio de zapatas después de compactación dinámica. Hubo controversias sobre la solución propuesta por la creencia generalizada que las arcillas no son mejorables con compactación dinámica. Durante las labores de compactación dinámica hubo un invierno muy fuerte que hizo difícil el tránsito de las grúas de compactación por el lote y excesos de humedad en las arcillas que se iban a compactar dinámicamente. A pesar de las dificultades se terminó el trabajo y se comprobó por medio de ensayos geofísicos REMI que las velocidades de onda correspondían a suelos mejorados que cumplían con todas las especificaciones de capacidad portante y asentamiento.

Se instalaron antes de iniciar la construcción dos BM para nivelar las cimentaciones durante construcción y después de haber recibido toda la carga.

Todos los asentamientos estuvieron dentro de las especificaciones, aun en los casos más difíciles por la influencia del invierno. Procter&Gamble envió todos los datos de nivelación, de geofísica y de cómputos de asentamientos de acuerdo con geofísica a su consultora de Méjico, quienes aprobaron el sistema.

Hubo un caso de asentamiento de 2 cm y todos las demás columnas tuvieron asentamientos menores a 1 cm.

5.6. PUENTE DE SIBERIA 2010

Las aproximaciones al puente fueron construidas con terraplenes apoyados directamente sobre el suelo compactado dinámicamente con mejoramiento hasta 12 m de profundidad y con sobre ancho del costado Sur hasta 5 m de profundidad, por medio de compactación dinámica. En el costado norte, los constructores no dejaron hacer el mejoramiento de 5 m de sobre ancho, debido a problemas de acceso de la carretera en operación; los problemas de no tener sobre ancho se resolvieron con grupos de pilotes a lo largo de la zona crítica para contener los efectos laterales del terraplén. Como era de esperarse, los asentamientos del costado norte fueron mayores a los del costado sur, pero finalmente el sistema está en operación sin problemas subsiguientes.

La fatiga del terraplén fue de 11.9 ton/m² en la zona crítica y los asentamientos del costado Sur del orden de 3 cm.

En este trabajo se utilizó una pesa de 10 toneladas con caídas de 15 m.

6. APLICACIÓN DE LA COMPACTACIÓN DINÁMICA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SUELO COHESIVO EN BOGOTÁ

La aplicación de la compactación dinámica se realizó en Bogotá en un lote ubicado en el kilómetro 6.5 vía Bogotá – Medellín parque industrial Celta. El terreno cumple con las condiciones necesarias para la viabilidad de la compactación dinámica como mejoramiento del suelo.

Figura 3. Ubicación del terreno densificado dinámicamente



6.1. ANÁLISIS PRELIMINAR

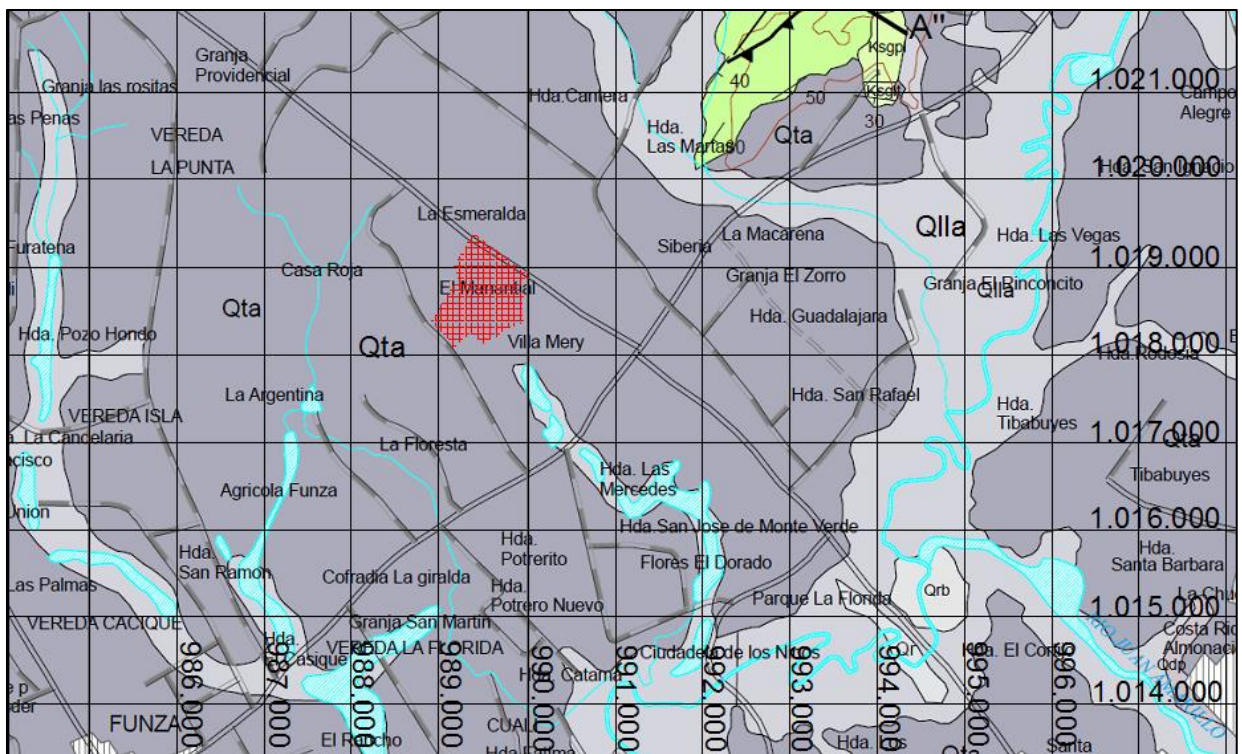
Como se puede observar en la figura 2, el terreno a mejorar por medio de la compactación dinámica se encuentra retirado de cualquier construcción. Esta zona tiene dimensiones del orden de 250m de longitud y 50m de ancho, destinada al almacenamiento de ingredientes para la fabricación de cemento. Las alturas de la pila son de 15 a 10m y se ha estimado que la carga máxima en la zona más alta es del orden de 20 ton/m².

6.1.1. Estudio de suelos

6.1.2. Geología

Para el desarrollo de esta actividad se tomó como base la plancha geológica 227- La Mesa INGEOMINAS (1998), en la cual se localiza el área de estudio hacia el centro como se muestra en la Figura 1. Litológicamente la zona se encuentra representada por un depósito aluvial, llanura aluvial, y hacia el norte el Grupo Guadalupe.

Figura 4. Localización de la zona de estudio en la plancha 227- La mesa (INGEOMINAS 1998).



A continuación se hará la descripción de las unidades geológicas de las más antiguas a la más nueva a saber:

6.2. GRUPO GUADALUPE

6.2.2. Formación arenisca dura (Ksgd):

La Formación Arenisca Dura es la unidad litoestratigráfica inferior del Grupo Guadalupe y su nombre se debe a Hubach (1931). Renzoni (1962) la eleva al rango de Formación Arenisca Dura y propone como sección de referencia la secuencia de areniscas cuarzosas, de grano fino, con niveles de liditas que aflora a lo largo de la carretera Choachí-Bogotá. Pérez & Salazar (1971) proponen como sección tipo la secuencia que aflora por el carreteable al cerro del Cable, al oriente de la ciudad de Bogotá.

Su sección tipo se estima en un espesor de 250 m, su base se caracteriza por potentes capas de cuarzoarenita, inmediatamente encima las lodolitas y limolitas de cuarzo.

6.2.3. Depósitos aluviales (Qal).

Los depósitos cuaternarios en la zona se conforman por terrazas y aluviones recientes ubicados sobre las márgenes del Río Bogotá, con depositación fino granular variando desde arcillas limosas hasta gravas con diámetros no superiores a 10 mm. Con espesores no superiores a 10 metros. La fotografía No 1 muestra una panorámica hacia los depósitos aluviales recientes que conforman el área de estudio.

Figura 5 Depósitos aluviales recientes, en terrazas conformadas por materiales finas granulares.



6.2.4. Exploración Geotécnica.

6.2.4.1. Trabajos de campo y Ensayos de laboratorio antes de Compactación Dinámica.

Entre los días 7 y 9 de julio del presente año, se efectuaron los trabajos de exploración directa en el área del proyecto. Se realizaron cinco sondeos manuales a profundidades entre 10 y 12.1m.

En cada perforación se tomaron muestras representativas del perfil, maestras inalteradas tipo Shelby y alteradas tomadas por el sistema de penetración estándar (SPT). Muchas de estas muestras fueron posteriormente ensayadas en el laboratorio.

En combinación con el proceso de muestreo se efectuó el ensayo de penetración estándar “SPT” y torcometro de mano, cuyo registro aparece en las memorias de los sondeos; además se registró la profundidad del nivel freático en cada sondeo. Una descripción general de los puntos de exploración se presenta a continuación:

Tabla 7. Resumen de Actividades de Exploración Directa

NOMBRE	COORDENADAS		PROF (m)	COTA (m)	N.F. (m)
	ESTE	NORTE			
Sondeo 1	89505.5	119276.2	12.1	2550.2	5.2
Sondeo 2	89471.1	119303.3	10.1	2550.8	3.7
Sondeo 3	89429.9	119232.0	10.1	2551.8	3.8
Sondeo 4	89461.3	119214.3	12.1	2549.3	5.1
Sondeo 5	89391.5	119167	10	2551.9	2.5

En la figura 2, se muestra la ubicación de los sondeos realizados en el área del proyecto.

6.2.4.2. Ensayos Geofísicos

Las penetraciones estándar en muchos casos no reflejarían el aumento de densidad y la reducción de espacios entre las partículas que componen las arcillas, por lo cual, se realizó además de hacer las penetraciones estándar, dos

ensayos tipo REMI para determinar, velocidad de ondas de corte, compresionales, antes de la compactación y dos REMI después de compactación.

De estos REMI se deducen los parámetros G (módulo de corte dinámico) E (módulo de Young), K (coeficiente de Balasto) y (Relación de Poisson).

Con los parámetros antes mencionados, se calcularon asentamientos elásticos inmediatos y por sollicitación del esfuerzo cortante, los cuales sumados son los asentamientos totales.

6.2.4.3. Ensayos de laboratorio

Se efectuó un programa de laboratorio encaminado principalmente a identificar y determinar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y los parámetros de deformación de cada uno de los estratos del perfil encontrado.

En la Tabla 8, se relaciona el tipo y cantidad de ensayos ejecutados.

Tabla 8. Tipo y Cantidad de Ensayos de Laboratorio

ENSAYO	CANTIDAD TOTAL
Humedad Natural	25
Límite Líquido	21
Límite Plástico	21
Contenido Materia Orgánica	13
Compresión Inconfinada	4
Consolidación Lenta	2
Corte directo	1

6.2.4.4. Descripción del perfil estratigráfico

La caracterización geomecánica de los materiales existentes en la zona de estudio, se realizó teniendo en cuenta los depósitos de suelo encontrados en la exploración geotécnica, y a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio antes mencionados.

PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO

Capa Vegetal (0.0 – 0.20m)

Desde el nivel natural del terreno y con un espesor promedio de 0.20 m, se encontró la capa vegetal. Por sus propiedades geotécnicas deficientes y contenido de material orgánico, es necesario retirar este material antes de realizar cualquier obra civil.

Material 1. Relleno de arena, limo, arcilla y capa vegetal (0.20 – 1.0 m)

Bajo la capa vegetal y con un espesor promedio de 0.8m, se encuentra un relleno conformado por: arcilla, limo, arena, raíces y escombros de construcción de consistencia muy blanda (N= 2 golpes por pie); presenta humedad natural y plasticidad alta. El relleno no es apto para soportar las cargas transmitidas por la bodega. Las propiedades mecánicas y dinámicas son las siguientes:

Humedad natural (wn):	47 – 74%.
Limite Líquido (LL):	67 – 103%.
Limite Plástico (LP):	29 – 45%.
% de finos	38.7%
% de arena	29%
% grava	32.3
Velocidad de corte (m/s)	48
Velocidad Compresional (m/s)	108
Relación de Poisson	0.38
Módulo de corte dinámico (Ton/m ²)	352
Módulo de Young (Ton/m ²)	970

Material 2. Arcilla (1.0 – 12.1 m)

Bajo el relleno heterogéneo y hasta la máxima profundidad investigada en los sondeos (12.1m), se encuentra una arcilla gris oscura, consistencia muy blanda a blanda. Las propiedades mecánicas y dinámicas son las siguientes:

Humedad natural (wn) %:	65 – 127.
Limite Liquido (LL) %:	87 – 159

Limite Plástico (LP) %:	29 - 42
Peso unitario total (γ_t):	1.4 a 1.5 Ton/m ³ .
Índice de re compresión Cr:	0.78 – 0.15
Índice de compresión Cc	1.6 – 1.36
Relación de vacíos	1.78 – 3.96
Angulo de fricción	17°
Cohesión	0.5 Kg/cm ²
Resistencia a la penetración estándar N:	2a 6 golpes/pie
Velocidad de corte (m/s)	138
Velocidad Compresional (m/s)	321
Relación de Poisson	0.39
Módulo de corte dinámico (Ton/m ²)	3106
Módulo de Young (Ton/m ²)	8614

6.2.4.5. Nivel de agua freático

Según la exploración geotécnica, el nivel freático fluctúa entre 2.5 y 5.6m.

6.2.4.6. Evaluación de la capacidad portante

La evaluación de la capacidad portante se realizó sobre una muestra inalterada tipo shelby a 4.7m de profundidad.

La ecuación empleada para los análisis de capacidad portante es la siguiente:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{cg} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} F_{qg} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} F_{\gamma g}$$

En donde:

C: Cohesión

q: Esfuerzo efectivo a nivel de fundación

γ : Peso específico del suelo

B: Ancho de la cimentación

F_{cs}, F_{qs}, F _{γ s}: Factores de forma

F_{cd}, F_{qd}, F _{γ d}: Factores de profundidad

F_{ci}, F_{qi}, F _{γ i}: Factores de inclinación de la carga

N_c, N_q, N _{γ} : Factores de capacidad de carga

Para el cálculo de los factores de forma, profundidad, inclinación de carga e inclinación del terreno se emplearon las expresiones propuestas por Meyerhof (1963).

Aplicando la ecuación general de capacidad portante para una zapata de 2m x 2m, para un diseño en condiciones consolidado no drenado, se tiene Cohesión=0.5 kg/cm², $\phi'=17.4^\circ$ y FS=3, se obtiene una capacidad portante admisible antes de compactar de 31 ton/m².

6.2.4.7. Asentamientos antes de la compactación dinámica

6.2.4.7.1. Asentamientos empleando los parámetros dinámicos del suelo.

➤ ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS O INSTANTÁNEOS.

Se hacen cálculos de asentamientos elásticos de la zona de la bodega por medio de los parámetros E, módulo de Young, μ , relación de Poisson y sobre carga antes de la compactación dinámica. Los valores de los asentamientos son del orden de 4mm en el centro y 2mm en la esquina. Ver anexo 5.

➤ ASENTAMIENTOS POR SOLICITUD DEL ESFUERZO CORTANTE

Expresión para calcular asentamientos con el tiempo:

$$Z_o = \frac{(1 - \mu)Q_o}{4G_r o}$$

Z_o= Deformación estática

μ = Relación de Poisson

G= Módulo de corte dinámico del suelo donde se apoya la cimentación por medio de zapata. Este módulo se calcula tomando el 80% de los valores determinados por medición de las velocidades de onda de corte y de compresión.

Q_o= peso para el cual se está calculando la deflexión estática.

r_o= Radio del área de zapatas. Este radio se calcula asumiendo una zapata en conjunto con la carga que llevan.

Suponiendo una carga de 2.7 ton/m² (bodega de dos pisos y cubierta)

$$Z_o = \frac{(1 - 0.38)2.7}{435215} = 0.001m = 1mm$$

➤ **ASENTAMIENTO TOTAL**

El asentamiento total esta por el orden de 5mm.

6.2.4.7.2. Asentamientos por consolidación

Se realiza un cómputo de asentamiento por consolidación teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la consolidación lenta realizada a 4.7m de profundidad, sobre la arcilla gris de consistencia muy blanda N= 2 golpes.

Los resultados de la consolidación lenta son los siguientes: Cr= 0.78; Cc= 1.61 y relación de vacíos= 3.96. El espesor del estrato compresible es de 10m. (Ver anexo 1, sondeo 1).

Los asentamientos por consolidación de las capas inferiores blandas se estiman en 19 cm. Ver anexo 4.

6.3. DISEÑO DEL MEJORAMIENTO DEL SUELO POR MEDIO DE LA COMPACTACIÓNDINÁMICA

- Del análisis preliminar podemos concluir:
- El área donde se proyecta realizar la compactación dinámica no presenta restricciones para su implementación; no hay ninguna estructura cercana que se vea afectada por las vibraciones generadas por el golpe de la platina.
- El área a ser consolidada dinámicamente es de 12.500m².
- Por medio de los sondeos, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos (Remi) se determinó que el espesor de suelo a mejorar es de 7m.
- Los asentamientos totales son del orden de 19.4 cm, excesivos y no cumple con lo establecido en la NSR 10.
- Las velocidades de onda de corte y compresional presentan valores muy bajos, Vs= 48m7s y Vp= 108 m/s.

Por lo anterior, se concluye que el área donde se tiene programado la construcción de una bodega requiere densificación del suelo para permitir una cimentación sobre zapatas.

Selección del peso de la platina y altura de caída:

Conociendo el espesor que requiere ser mejorado (7m) y con la ecuación $1, D = n(WH)^{0.5}$; se determina: se requiere de una platina de 6.8 ton con una caída libre de 15m para generar un mejoramiento de las propiedades geotécnicas y dinámicas de 7m.

Patrón de golpes:

Una vez descapotado el área a compactar, se aplica sobre la superficie del terreno una carga dinámica mediante impactos sucesivos por medio de un equipo que deja caer una platina de área 2.20m x 2.40 m y 6.8 ton con caída de 15 m, dando 27 golpes en cada sitio en dos pasadas.

Se determina que por cada sitio se debe dejar caer 27 veces la platina por medio de una prueba de carga. La prueba de carga consiste en contar el número de caídas de la platina hasta que está presente rebote.

La distancia entre bordes de caída de la platina, se estimó en 0.5 m.

El patrón de golpeo es como el que se indica en el siguiente esquema:

Figura 6 Patrón de golpes

SECUENCIAS DE SITIOS DE COMPACTACION DINAMICA

94	72	39	28	6	17	50	61	83
93	71	38	27	5	16	49	60	82
92	70	37	26	4	15	48	59	81
91	69	36	25	3	14	47	58	80
90	68	35	24	2	13	46	57	79
89	67	34	23	1	12	45	56	78
95	73	40	29	7	18	51	62	84
96	74	41	30	8	19	52	63	85
97	75	42	31	9	20	53	64	86
98	76	43	32	10	21	54	65	87
99	77	44	33	11	22	55	66	88



Figura 7 Inicio de la fase 1, se deja caer la platina 27 veces en un mismo sitio



Figura 8 Una vez terminado el primer cuadro, se inicia el segundo separado 0.5m del borde del primer cuadro.



Figura 9 Una vez terminado el segundo cuadro, se inicia el tercero separado 0.5m del borde del segundo cuadro, y así sucesivamente hasta abarcar toda el área del lote a densificar siguiendo la grilla.



Figura 10 Conformación de la grilla



Figura 11 Depresión en suelo cohesivo



Figura 12 Perfil de suelo Cohesivo



Figura 13 Cuando el perfil de suelo está conformado por arcilla, las depresiones son muy grandes, mayores de 1.8m.

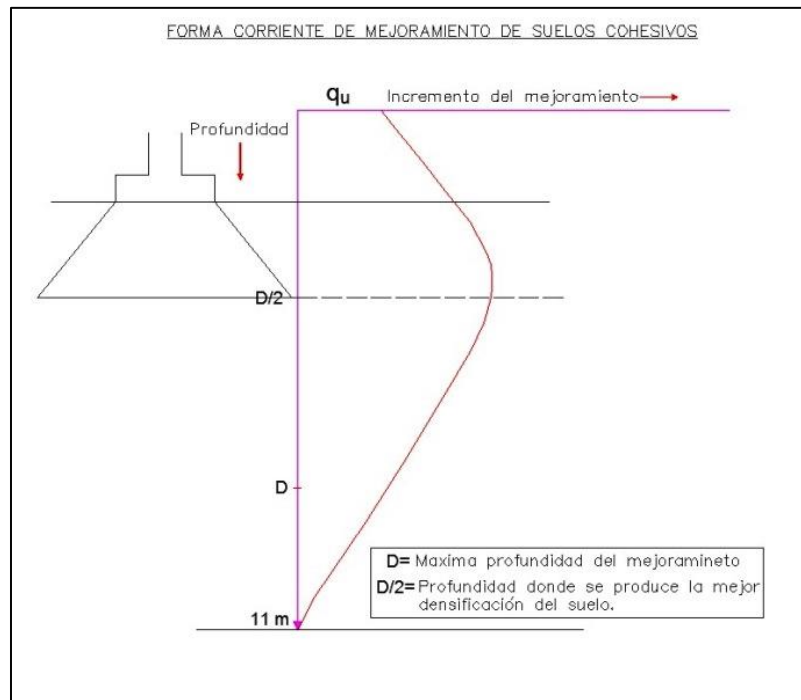


Figura 14 Forma corriente del mejoramiento del suelo cohesivo

6.4. SISTEMA DE MEDICIÓN PARA COMPROBAR EL MEJORAMIENTO DEL SUELO:

Después de la compactación dinámica se realizaron cuatro sondeos a 10m de profundidad con penetración estándar continua. Se complementó con ensayos de laboratorio y dos ensayos geofísicos.

Tabla 9. Resumen de Actividades de Exploración Directa

NOMBRE	COORDENADAS		PROF (m)	N.F. (m)
	ESTE	NORTE		
Barreno A	89510.5	119286.2	10	5.6
Barreno B	89491.1	119310.3	10	3.7
P-A	89449.9	119237.0	10	3.0
P-B	89465.3	119219.3	10	4.2

Tabla 10. Tipo y Cantidad de Ensayos de Laboratorio

ENSAYO	CANTIDAD TOTAL
Humedad Natural	12
Límite Líquido	12
Límite Plástico	12
Contenido Materia Orgánica	2
Compresión Inconfinada	7
Consolidación Lenta	2
Tamiz 200	7

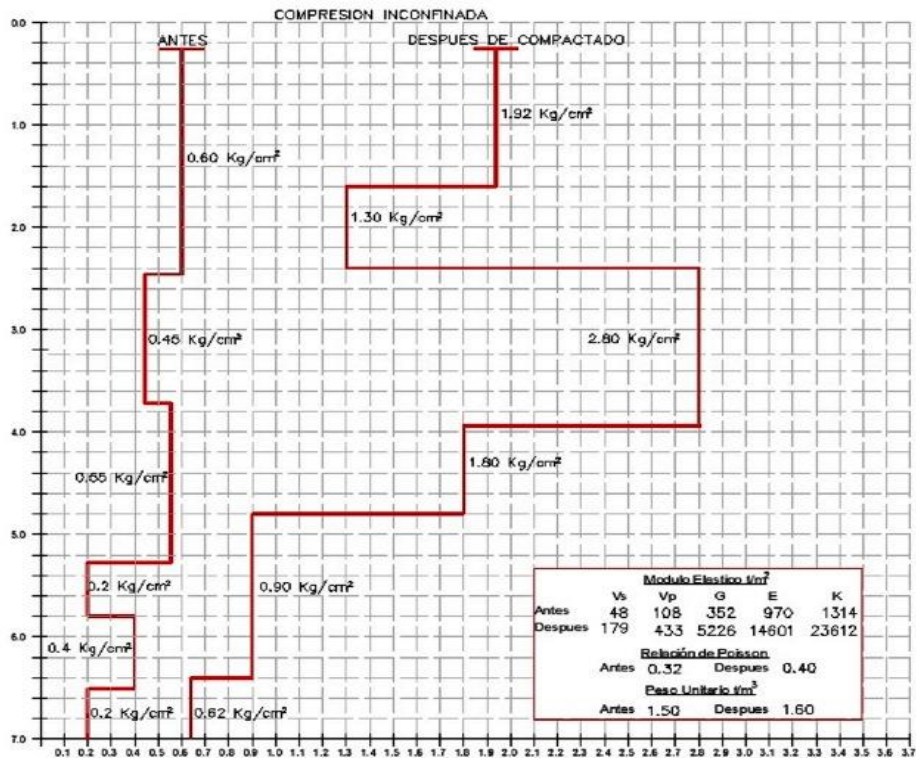
6.4.1. Compresión Inconfinada

Eran de 0.6 kg/cm² hasta 2.5m de profundidad; 0.45 kg/cm² hasta 3.8m; 0.55 kg/cm² hasta 5.2m; 0.2 kg/cm² hasta 6m; 0.4 kg/cm² hasta 6.5m y 0.2 kg/cm² hasta 10m. (Ver figura No. 15).

Después de la compactación dinámica se registró resistencias mínimas de 0.62 kg/cm² a 7m de profundidad, con resistencias máximas de 4 kg/cm² a 2.5m de profundidad.

De 2.8 kg/cm² de 1.5 a 2.5m hubo resistencias de 1.3kg/cm² y 1.92 kg/cm² para el relleno superficial.

Figura 15 Gráfica comparativa resultados de laboratorio antes y después de la Compactación Dinámica



6.4.2. Consolidación lenta

Antes de la consolidación dinámica se registraron valores de $C_c=1.6$; $C_r=0.78$ y relación de vacíos de 3.96. Después del mejoramiento del suelo: $C_c= 1.26$; $C_r=0.2$ y relación de vacíos= 0.8.

6.4.3. Ensayos geofísicos

Se incluye en el anexo No. 4, el informe del Ingeniero Alejandro Ulloa, quien ejecutó los ensayos geofísicos tipo REMI, con el fin de determinar las velocidades de onda compresionales y ondas de corte. Estas mediciones se efectuaron antes y después de iniciar las labores de compactación. Se incluye un cuadro de resumen de resultados.

La tabla adjunta contiene las velocidades de onda compresionales (V_p) y de corte (V_s) para el perfil original del suelo antes de cualquier intervención y los valores correspondientes aparecen como línea 1. Estos valores de velocidad de onda son

los más bajos registrados, puesto que la velocidad de onda es directamente proporcional a la densidad del suelo: $V_p = 108$ m/seg; $V_s = 48$ m/seg. De estas mediciones se puede deducir la relación de Poisson = 0.38; el módulo de corte dinámico = 352 ton/m^2 . (Empleado en los análisis de sismo resistencia); el módulo de Young, E, empleado en el cálculo de asentamientos; y el módulo Bulk, K, para el cálculo de la interacción suelo estructura de cimentación.

Después de realizar la compactación dinámica, se efectuaron las mediciones de velocidades de onda, y como era de esperarse se registraron aumentos de las velocidades con $V_p = 508$ y $V_s = 254$ m/seg. Los parámetros antes mencionados también aumentaron significativamente, lo mismo que los valores de la relación de Poisson y el peso unitario del suelo.

El valor final de las velocidades de onda de las últimas mediciones y su interpretación en términos de los parámetros G, E, K, Peso Unitario, se emplearon para evaluar asentamientos de las zapatas de cimentación apoyadas sobre el estrato de 7m de suelo compactado, y los ensayos de compactación, se emplearon para estimar los asentamientos causados por los suelos bajo la zona de alta compactación, los cuales fueron densificados significativamente hasta 7 metros de profundidad.

6.4.4. Asentamientos después de la compactación dinámica

6.4.4.1. Asentamientos empleando los parámetros dinámicos del suelo

6.4.4.2. Asentamientos elásticos

Se hacen cálculos de asentamientos elásticos de la zona de la bodega después de la compactación dinámica por medio de los parámetros E, módulo de Young, μ ; relación de Poisson y sobre carga. Los valores de los asentamientos después de la compactación dinámica son del orden de 0.03mm en el centro y 0.02mm en la esquina.

6.4.4.2.1. Asentamientos por solicitud del esfuerzo cortante

Expresión para calcular asentamientos con el tiempo:

$$Z_o = \frac{(1 - \mu)Q_o}{4Gro}$$

Zo= Deformación estática

μ = Relación de Poisson

G= Módulo de corte dinámico del suelo donde se apoya la cimentación por medio de zapata. Este módulo se calcula tomando el 80% de los valores determinados por medición de las velocidades de onda de corte y de compresión

Qo= peso para el cual se está calculando la deflexión estática

ro= Radio del área de zapatas. Este radio se calcula asumiendo una zapata en conjunto con la carga que llevan.

Suponiendo una carga de 2.7 ton/m² (bodega de dos pisos y cubierta)

$$Z_o = \frac{(1 - 0.4)2.7}{41460115} = 1.8510^{-6}m = 0.18mm$$

6.4.4.2.2. Asentamiento total

El asentamiento total esta por el orden de 0.21mm.

6.4.4.3. Asentamientos por consolidación

Se realiza un cómputo de asentamiento por consolidación después de la compactación dinámica teniendo en cuenta los resultados de la consolidación lenta realizada a 5.5m de profundidad, sobre la arcilla gris.

Los resultados de la consolidación lenta son los siguientes: Cr= 0.2; Cc= 1.26 y relación de vacíos= 30.8. El espesor del estrato compresible es de 2m. (Ver anexo 1).

Los asentamientos por consolidación de las capas inferiores blandas se estiman en 2.7 cm.

7. CONCLUSIONES

-La compactación dinámica densifico significativamente un espesor de 7m, permitiendo cimentar directamente por medio de zapatas corridas de poco ancho con asentamientos admisibles.

-La reducción de los asentamientos obtenida por el mejoramiento del suelo es más notoria que el incremento de la capacidad portante, la caída de la pesa produce un verdadero asentamiento del suelo que es mayor del asentamiento producido por las cargas de la bodega.

-Los asentamientos totales antes de la compactación dinámica fue de 19.4 cm y después de la compactación dinámica es de 2.74cm. La reducción fue del 86%. Permitiendo cimentar la bodega sobre zapatas.

-La aparente simplicidad del método de la compactación dinámica en campo, su extrema complejidad dentro de la mecánica de suelos y la confiabilidad desde el punto de vista de los resultados obtenidos hace interesante la técnica y aumenta su uso en proyectos.

-La compactación dinámica está completamente desarrollada y a prosperado atravesando fronteras establecidas por teorías tradicionales.

BIBLIOGRAFÍA

MENARD DYNAMIC CONSOLIDATION

Louis Menard

Sols Soils No. 29 - 1979

DYNAMIC COMPACTION

Geotechnical Engineering

Federal Highway Administration

October 1995

DESIGN OF STRUCTURES AND FOUNDATIONS FOR VIBRATING MACHINES

Theory and practical design applications for dynamically loaded structures.

Suresh C. Arya Principal Engineering

Specialist, CE Lummus, Houston, Texas

Michael W. O'Neill

Associate Professor of Civil Engineering, University of Houston

George Pincus

Professor and Chairman of Civil Engineering, University of Houston

Copyright 1979 by Gulf Publishing Company, Houston.

GEOTECNIA Y CIMIENTOS II

Coordinador y Director Edición

José Antonio Jiménez Salas

Copyright 1980- Editorial rueda

ANEXOS

Anexo 1. Memoria de Sondeos

Anexo 2. Ensayos de Laboratorio

Anexo 3. Registro Fotográfico

Anexo 4. Ensayos Geofísicos

Anexo 5. Memoria de Cálculo

Anexo 1 Registros de Perforación

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-1	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	ALVARO GUERRERO
COTA:	2550,24	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119276,213	ESTE	89505,486

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2550,24	RELLENO DE LIMO, ARCILLA Y CAPA VEGETAL	M1 0,20m a 0,70m 1/6" 1/12" st
0,70	2549,54	LIMO NEGRO Y CARMELITO	M2 0,80m a 1,30m 1/6" 1/6" 1/6" st
2,20	2548,04	ARCILLA HABANA CON OXIDO AMARILLO	M3 2,40m a 2,90m 1/6" 1/6" 1/6" st o=0,32 q=0.5
2,50	2547,74	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA CON OXIDO CAFÉ Y RASTROS DE TURBA	M4 3,60m a 4,10m 1/6" 1/6" 1/6" st o=0,41 q=1.5
6,20	2544,04	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA	M5 5,60m a 6,10m 2/6" 4/6" 5/6" st o=0,8 q=2.25
			M6 7,40m a 7,90m 1/6" 1/6" 1/6" st o=0,18
			M7 8,40m a 9,40m Shelby
10,00	2540,24		M8 9,60m a 10,10m 1/6" 1/6" 1/6" st

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm ²) q: Penetrometro (kg/Cm ²)	NIVEL FREATICO	08-07-13 5,20m 11-07-13 5,60m
		HOJA: 1 DE 2

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-1	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	ALVARO GUERRERO
COTA:	2550,24	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119276,213	ESTE:	89505,486

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2550,24	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA	M9 11,60m a 12,10m 3/6" 3/6" 3/6" st
12,10	2538,14		

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm ²) q: Penetrometro (kg/Cm ²)	NIVEL FREATICO	08-07-13 5,20m
		11-07-13 5,60m
		HOJA: 2 DE 2

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-2	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	2550,88	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119303,432	ESTE	89470,697

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2550,88	RELLENO DE CAPA VEGETAL CON LIMO ORGANICO	M1 0,20m a 0,70m 1/6" 1/6" 2/6" st
0,80	2550,08	LIMO ORGANICO CARMELITO Y AMARILLO CON RAICES	M2 1,40m a 1,90m 2/6" 1/6" 2/6" st
1,90	2548,98	ARCILLA LIMOSA GRIS CLARA CON RASTRO DE RAICES Y OXIDO CARMELITO (SECO)	M3 2,30m a 2,80m 1/6" 2/6" 2/6" st
5,00	2545,88	ARCILLA LIMOSA GRIS CLARA, Y OXIDO AMARILLO	M4 4,00m a 4,50m 2/6" 2/6" 2/6" st O=0,65 q=2,50
7,70	2543,18	ARCILLA LIMOSA CARMELITA CLARA	M5 5,60m a 6,20m Shelby O=0,71 q=2,25
10,10	2540,78		M6 7,60m a 8,10m 3/6" 3/6" 3/6" st q=1,25
			M7 9,60m a 10,10m 2/6" 2/6" 2/6" st

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm ²) q: Penetrometro (kg/Cm ²)	NIVEL FREATICO 08/07/2013 3,70m
HOJA: 1 DE 1	

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-3	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	2551,88	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119231,572	ESTE	89429,976

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2551,88	CAPA VEGETAL CON RAICES	M1 0,30m a 0,80m 1/6" 2/6" 2/6" st
1,00	2550,88	LIMO ORGANICO CARMELITO Y AMARILLO CON RASTRO DE RAICES	M2 1,30m a 1,80m 2/6" 1/6" 2/6" st
1,80	2550,08	ARCILLA LIMOSA GRIS CLARA, OXIDO CAFÉ Y RASTRO DE RAICES	M3 2,40m a 2,90m 2/6" 2/6" 2/6" st q=1,5
4,00	2547,88	ARCILLA LIMOSA GRIS CLARA Y OXIDO AMARILLO	M4 4,20m a 4,70m 3/6" 3/6" 3/6" st q=2,25
7,00	2544,88	ARCILLA LIMOSA GRIS CLARA Y OXIDO AMARILLO	M5 5,60m a 6,10m 5/6" 3/6" 2/6" st q=1,75
		ARCILLA LIMOSA CARMELITA CLARA	M6 7,20m a 7,70m 4/6" 4/6" 3/6" st q=0,75
			M7 8,60m a 9,20m Shelby
			M8 9,70m a 10,20m 1/6" 2/6" 1/6" st
10,10	2541,78		

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm²)
q: Penetrometro (kg/Cm²)

NIVEL FREATICO 08-07-13 3,80m

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-4	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	ALVARO GUERRERO
COTA:	2549,30	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119214,430	ESTE	89461,054

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2549,30	RELLENO DE ARCILLA, LIMO Y RAICES.	M1 0,30m a 0,70m 1/6" 1/6" 1/6" st
0,80	2548,50	LIMO ORGANICO NEGRO	M2 1,00m a 1,50m 2/6" 3/6" 4/6" st
2,20	2547,10	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA Y HABANA CON OXIDO CAFÉ Y RAICES.	M3 2,40m a 2,90m 3/6" 2/6" 3/6" st O=0,75 q=1,75
		ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA Y HABANA CON OXIDO CAFÉ Y RAICES.	M4 4,10m a 4,50m 5/6" 5/6" 5/6" st O=0,9 q=1,75
		ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA Y HABANA CON OXIDO CAFÉ Y RAICES.	M5 5,60m a 6,10m 4/6" 4/6" 3/6" st O=0,7 q=2,00
		ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA Y HABANA CON OXIDO CAFÉ Y RAICES.	M6 7,50m a 8,00m 3/6" 3/6" 3/6" st q=0,05
		ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA	M7 9,60m a 10,10m 2/6" 2/6" 2/6" st q=0,25
10,10	2539,20		

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm²)
q: Penetrometro (kg/Cm²)

NIVEL FREATICO 08-07-13 5,10m

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	08/07/2013
SONDEO:	B-4	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	ALVARO GUERRERO
COTA:	2549,30	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119214,430	ESTE	89461,054

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
10,00	2539,30	ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA	M8 10,40m a 11,40m Shelby
12,10	2537,20		M8 11,60m a 12,10m 2/6" 1/6" 1/6" st

Nota: o: Torcometro de mano (kg/Cm ²) q: Penetrometro (kg/Cm ²)	NIVEL FREATICO 08-07-13 5,10m <div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">HOJA: 2 DE 2</div>
---	--

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO.

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	09/07/2013
SONDEO:	B-5	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	ALVARO GUERRERO
COTA:	2551,94	EQUIPO:	BARRENO
COORDENADA NORTE:	119167,074	ESTE	89391,45

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	2551,94	LIMO ORGANICO NEGRO Y CARMELITO	M1 0,20m a 0,60m 1/6" 1/6" 2/6" st
1,80	2550,14	ARCILLA HABANA Y GRIS CON OXIDO AMARILLO	M2 2,00m a 2,50m 1/6" 1/6" 1/6" st O=0,6 q=0,75
2,30	2549,64		M3 3,80m a 4,30m 4/6" 5/6" 6/6" st O=0,65 q=0,85
		ARCILLA LIMOSA GRIS OSCURA, CON AXIDO CAFÉ Y MOTES NEGROS ORGANICOS	M4 5,30m a 5,80m 4/6" 4/6" 3/6" st O=0,67 q=2,00
			M5 7,40m a 7,90m 4/6" 4/6" 5/6" st O=0,67 q=1,5
10,00	2541,94		M6 9,60m a 10,10m 8/6" 8/6" 9/6" st O=0,32 q=1,5

Nota: de 2,50m a 3,50 m presento un vacio, se bajo la tuberia con el solo peso de la pesa

o: Torcometro de mano (kg/Cm²)

q: Penetrometro (kg/Cm²)

NIVEL FREATICO

09-07-13 2,50m

HOJA: 1 DE 1

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO DESPUES DE COMPACTACION

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	21/10/2014
SONDEO:	BARRENO A	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO G
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	0,0	EQUIPO:	BARRENO
NORTE	119286,2	ESTE	89510,5

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	0,00	RELLENO DE CAPA VEGETAL CON RECEBO	M1 0,2m a 0,65m 5/6" 9/6" 10/6" st
0,80	-0,80	LIMO CARMELITO Y AMARILLO CON VETAS ORGANICAS	M2 1,1m a 1,55m 8/6" 7/6" 9/6" st
1,40	-1,40		M3 1,8m a 2,25m 4/6" 5/6" 7/6" st
		ARCILLA LIMOSA GRIS CARMELITA CON OXIDO ROJO, RASTROS DE ARENA FINA Y RAICES	M4 3,6m a 4,05m 2/6" 2/6" 2/6" st
4,50	-4,50		M5 5,2m a 6,0m Shelby
		ARCILLA LIMOSA GRIS CARMELITA CLARA	M6 7,6m a 8,05m 1/6" 2/6" 2/6" st
10,00	-10,00		M7 9,4m a 10,0m Shelby

Nota:

TABLA DE AGUA: 3,5m

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO DESPUES DE COMPACTACION

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	21/10/2014
SONDEO:	BARRENO B	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO G
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	0,0	EQUIPO:	BARRENO
NORTE	119310,3	ESTE	89491,1

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0,00	0,00	RELLENO CAPA VEGETAL	M1 0,2m a 0,65m 3/6" 3/6" 6/6" st
0,70	-0,70	LIMO CARMELITO AMARILLO, RAICES Y RASTROS ORGANICOS	M2 0,8m a 1,25m 3/6" 4/6" 5/6" st
1,80	-1,80	ARCILLA HABANA CON OXIDO ROJO, VETAS CARMELITAS ALGO LIMOSAS Y RAICES	M3 2,2m a 2,65m 2/6" 3/6" 4/6" st
4,00	-4,00	ARCILLA LIMOSA GRIS CARMELITA CLARA	M4 4,0m a 4,45m 2/6" 2/6" 2/6" st
			M5 6,0m a 6,6m Shelby
			M6 7,8m a 8,4m Shelby
10,00	-10,00		M7 9,6m a 10,05m 2/6" 1/6" 2/6" st

Nota:

TABLA DE AGUA: 3,6m

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO DESPUES DE COMPACTACION

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	21/10/2014
SONDEO:	P-A	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO G
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	0,0	EQUIPO:	BARRENO
NORTE	119237	ESTE	89449,9


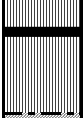
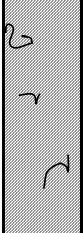
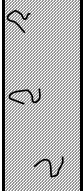
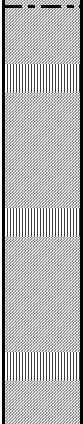
PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
v v	0,00	0,00	
v v v v v v		CAPA VEGETAL CON RAICES	M1 0,3m a 0,75m 2/6" 2/6" 2/6" st
v v	0,70		
		LIMO CARMELITO AMARILLENTO CON MATERIA ORGANICA	M2 1,0m a 1,45m 2/6" 2/6" 2/6" st
	2,60		
		ARCILLA HABANA Y CARMELITA CON OXIDO AMARILLO Y RAICES (MUY SECAS)	M3 2,2m a 2,65m 2/6" 1/6" 2/6" st
	4,50		
		ARCILLA CON ALGO DE LIMO GRIS CARMELITO CLARO	M4 4,0m a 4,45m 2/6" 2/6" 2/6" st
	7,00		
			M5 6,4m a 7,0m Shelby

Nota:	TABLA DE AGUA: 4,4 m
HOJA: 1 DE 1	

R. MALDONADO INGENIEROS S.A.S

MEMORIA DE SONDEO DESPUES DE COMPACTACION

PROYECTO:	MERIDIAM	FECHA:	21/10/2014
SONDEO:	P-B	INGENIERO:	ROBERTO MALDONADO G
UBICACION:	CELTA	PERFORADOR:	HEBERTO GUERRERO
COTA:	0,0	EQUIPO:	BARRENO
NORTE	119219,3	ESTE	89465,3

PROFUNDIDADES		DESCRIPCION	OBSERVACIONES
v v	0,00	0,00	
		CAPA VEGETAL CON RAICES	M1 0,2m a 0,65m 2/6" 2/6" 2/6" st
v v	0,70	-0,70	
		LIMO CARMELITO AMARILLO CON VETAS ORGANICAS	M2 1,0m a 1,45m 2/6" 1/6" 2/6" st
	1,60	-1,60	
		ARCILLA HABANA Y CARMELITA CON OXIDO AMARILLO Y ROJO CON RAICES	M3 1,8m a 2,25m 2/6" 2/6" 3/6" st
	4,60	-4,60	
		ARCILLA CON ALGO DE LIMO GRIS Y CARMELITO CLARO	M4 3,6m a 4,05m 2/6" 1/6" 2/6" st
	7,50	-7,50	
			M5 5,4m a 6,0m Shelby
			M6 7,0m a 7,45m 2/6" 1/6" 2/6" st

Nota:	TABLA DE AGUA: 3,8m
	HOJA: 1 DE 1

Anexo 2 Ensayos de Laboratorio

R MALDONADO INGENIEROS S.A.S.

RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO ANTES DE COMPACTACION

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PROYECTO MERIDIAM

UBICACIÓN: PARQUE INDUSTRIAL CELTA

MUESTRA		PROFUNDIDAD		HN	LL	LP	IP	IL	CONSOLIDACION			q _u		CORTE D.			MO %	USCS	
S	M	DE	A						Cc	Cr	eo	INALT	REMOL	C	FI'	e			
S-1	1	0,2	0,6	47	67	29	38	48								16,8	C	H	
S-1	2	0,8	1,2	70	87	69	18	5				0,60				28,8	M	H	
S-1	3	2,4	2,8	65	87	26	61	64								7,6	C	H	
S-1	4	3,6	4,0	72	131	42	89	34								7,7	C	H	
S-1	5	5,6	6,1	69	120	37	83	38					0,40				C	H	
S-1	6	7,4	7,8	103	117	33	84	84									C	H	
S-1	7	8,4	9,4	134	130	35	96	104	1,61	0,78	3,96						C	H	
S-1	8	9,6	10,0	127	159	42	117	73									C	H	
S-2	1	0,2	0,6	74												25,9			
S-2	2	1,4	1,8	70												22,5			
S-2	3	2,3	2,7	46	76	29	46	36									C	H	
S-2	4	4,0	4,4	66	136	42	94	28									C	H	
S-2	5	5,6	6,2	70	122	38	84	37	0,69	0,09	1,78	0,20		0,5	17,4		C	H	
S-2	7	9,6	10,0	87	150	39	111	43									C	H	
S-3	1	0,3	0,7	64												25,2			
S-3	2	1,3	1,7	65												18,6			
S-3	3	2,4	2,8	47	77	24	53	42									C	H	
S-3	4	4,2	4,8										0,55						
S-3	7	8,6	9,2	126	150	38	111	79									C	H	
S-4	1	0,2	0,7	45	103	34	69	15								9,1	C	H	
S-4	2	1,0	1,4	64	115	71	44	-17								19,6	M	H	
S-4	3	2,4	2,8	60	88	27	61	54								8,5	C	H	
S-4	8	10,4	11,4	113	146	37	109	70									C	H	
S-5	1	0,1	0,6	66	77	45	32	63								18,7	M	H	
S-5	2	2,0	2,4	49	84	27	58	40									C	H	
S-5	3	3,8	4,2	65	125	40	85	29					0,45			9,7	C	H	

R MALDONADO INGENIEROS S.A.S.

RESUMEN ENSAYOS DE LABORATORIO DESPUES DE COMPACTACION

PROYECTO: ESTUDIO DE SUELOS PROYECTO MERIDIAM

UBICACIÓN: PARQUE INDUSTRIAL CELTA

MUESTRA		PROFUNDIDAD		HN	LL	LP	IP	IL	CONSOLIDACION			q _u		T-200	MO %	USCS	
S	M	DE	A						Cc	Cr	eo	INALT	REMOL				
A	2	1,1	1,5	83	105	69	36	0,4						95,6	6,3	M	H
A	3	1,8	2,3	74	111	38	72	0,5						100		C	H
A	4	3,6	4,1	73	124	44	79	0,4						99,6		C	H
A	5	5,5	6,0	86	136	43	93	0,5	1,26	0,2	2,312	0,46				C	H
A	6	7,6	8,1	131	147	42	105	0,9						100		C	H
A	7	9,4	10,0	113	137	42	95	0,8	1,08	0,73	3,01	0,14				C	H
B	1	0,20	0,70	87,0	104,0	91,0	13,0	-0,3						96,9		8,4	M
B	2	0,80	1,30	75,0	91,0	69,0	22,0	0,3						91,1	M		H
B	3	2,20	2,70	76,0	107,0	44,0	63,0	0,5							C		H
B	4	4,00	4,50	89,0	134,0	41,0	92,0	0,5						100,0	C		H
B	5	6,00	6,60	118,0	140,0	38,0	102,0	0,8				0,57			C		H
B	6	7,80	8,40	138,0	158,0	45,0	113,0	0,8				0,23			C		H
PA	1	0,30	0,75														
PA	3	2,20	2,70														
PA	4	4,00	4,45														
PA	5	6,40	7,00														
PB	4	3,60	4,10														
PB	5	5,40	6,00														

Anexo 3 Registro Fotográfico

EQUIPOS COMPACTACION DINÁMICA



FOTOS 1 Y 2 BULDOZER



FOTOS 3 Y 4 GRUA CON ORUGA



FOTOS 5 Y 6 PLATINA



FOTOS 7 Y 8 POLEA CABLE



FOTOS 9 Y 10 GRUA CON LA PLATINA

SECUENCIA DE LA COMPACTACION DINAMICA



FOTOS 11 Y 12 DESCAPOTE



FOTOS 13 Y 14 PERFIL DEL SUELO A MEJORAR (SECTOR 1)



FOTO 15 ESPESOR CAPA VEGETAL

PRUEBA DE CARGA

CONSISTE EN DEJAR CAER LA PESA HASTA QUE ESTA PRESENTE REBOTE. EN ESTE CASO FUE DE 27 CAIDAS. ASI SE DETERMINA QUE PARA LOGRAR LA DENSIDAD ADECADADA SE DEBE DEJAR CAER LA PESA EN CADA PUNTO 27 VECES.



FOTOS 16, 17 Y 18

SEPARACIÓN GRILLA



FOTOS 19, 20 Y 21

CONFORMACIÓN GRILLA



FOTOS 22



FOTOS 23 Y 24
27 GOLPES EN UN PUNTO, GENERA UN ASENTAMIENTO DE 77 CM



FOTOS 25 Y 26
ADEMAS DE LOS SUELOS COHESIVOS TAMBIEN SE COMPACTARON ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN



Anexo 4 Ensayos Geofísicos



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN **HOJA**
Revision Sheet
0 1 DE OF 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA **NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Client Name : Doc Number :



**INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE
BODEGAS CELTA TRADE PARK**

0	22-ENE-2014	EMISIÓN FINAL	Paola Cárdenas Angelina Soler	Alejandro Ulloa	Alejandro Ulloa	
REVISIÓN	FECHA DE REVISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN	PREPARÓ	CHEQUEÓ	APROBÓ	AUTORIZÓ
Revision	Revision Date	Revision Description	Prepared by	Checked by	Approved by	Authorized by



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE
Project : CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE
PARK

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN **HOJA**
Revision Sheet
0 2 DE
Of 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA **NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Client Name : Doc Number :

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	4
2. OBJETIVOS.....	4
3. LOCALIZACIÓN	5
4. METODOLOGIA.....	7
4.1 TEORIA DEL ENSAYO REMI:	7
5.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	8
5.1 LINEAS SISMICAS DEL LOTE 104	9
5.2 LINEAS SISMICAS EN LA NUEVA ETAPA DE CONSTRUCCION	13
6.CONCLUSIONES	19



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor :
COPIA: DIGITAL
Copy :
REVISIÓN **HOJA**
Revision Sheet
0 3 DE
Of 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA **NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Client Name : Doc Number :

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS1, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.	10
Tabla 2. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS2, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.	12
Tabla 3. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS3, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.	14
Tabla 4. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS4, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.	16
Tabla 5. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS5, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las líneas sísmicas LS1 y LS2, lote 104.....	5
Figura 2. Localización de las líneas sísmicas LS3, LS4 y LS5.....	6
Figura 3. Escala de medición de los ensayos MASW (fuente activa) y ReMI (fuente pasiva).....	8
Figura 4. Gráfica REMI LS1.....	9
Figura 5, Gráfica REMI LS2.....	11
Figura 6. Gráfica REMI LS3.....	13
Figura 7. Gráfica REMI LS4.....	15
Figura 8. Gráfica REMI LS5.....	17



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE
Project : CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE
PARK

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision
0

HOJA
Sheet
DE
OF
4 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

1. INTRODUCCION

Este documento presenta el resultado de los estudios de exploración geofísica de cinco (5) líneas sísmicas donde se realizaron ensayos de medición de ondas de corte realizados por Ulloa&Diez en la bodegas Celta Trade Par, municipio de Siberia.

La exploración geofísica realizada se orientó a obtener información básica del subsuelo tal como características mecánicas del suelo y velocidades de onda de corte.

Se presentan los resultados de los ensayos realizados por medio de gráficas que representan los perfiles de ondas de corte para cada línea sísmica, junto con el cálculo de la densidad para cada estrato y su módulo de corte (G) correspondiente.

2. OBJETIVOS

El estudio geofísico tuvo como objetivo específico complementar la información geotécnica del área en los siguientes aspectos:

- Medición de tiempos de llegada de las ondas de corte, y cálculo de las velocidades de corte.
- Determinar la densidad del suelo y del Módulo de Corte (G)
- Obtener perfiles unidimensionales de onda de corte.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

COPIA: DIGITAL

REVISIÓN 0
Revision 0
HOJA 5
Sheet Of 5
DE 19
Of 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name: AMAVIA

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA

3. LOCALIZACIÓN

Los 5 ensayos del presente informe se realizaron para el proyecto, bodegas Celta Trade Park, en el lote 104 y en la nueva etapa de construcción de las bodegas, la ubicación de los ensayos se indica en las siguientes figuras.

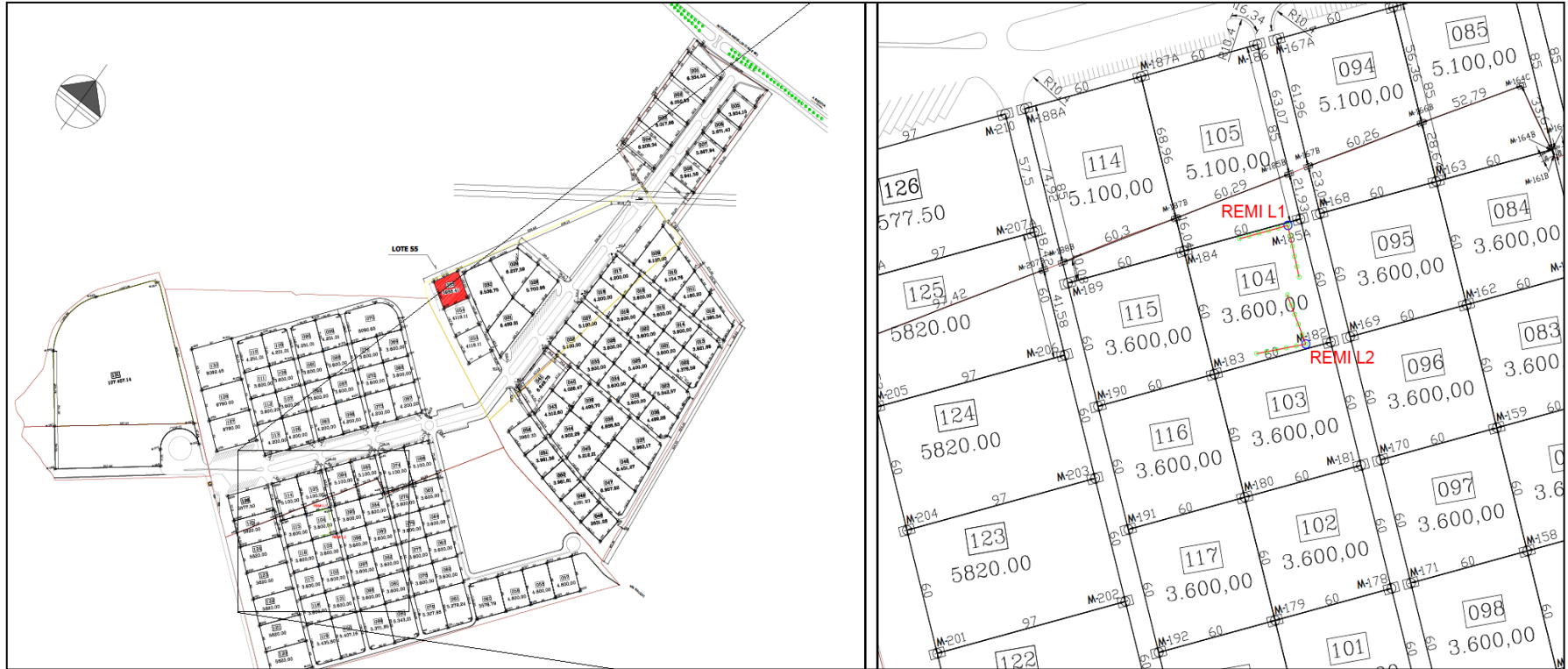


Figura 1. Localización de las líneas sísmicas LS1 y LS2, lote 104.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:

COPIA: DIGITAL
 Copy:

REVISIÓN: 0
 Revision: 6
 HOJA: 19
 Sheet Of

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

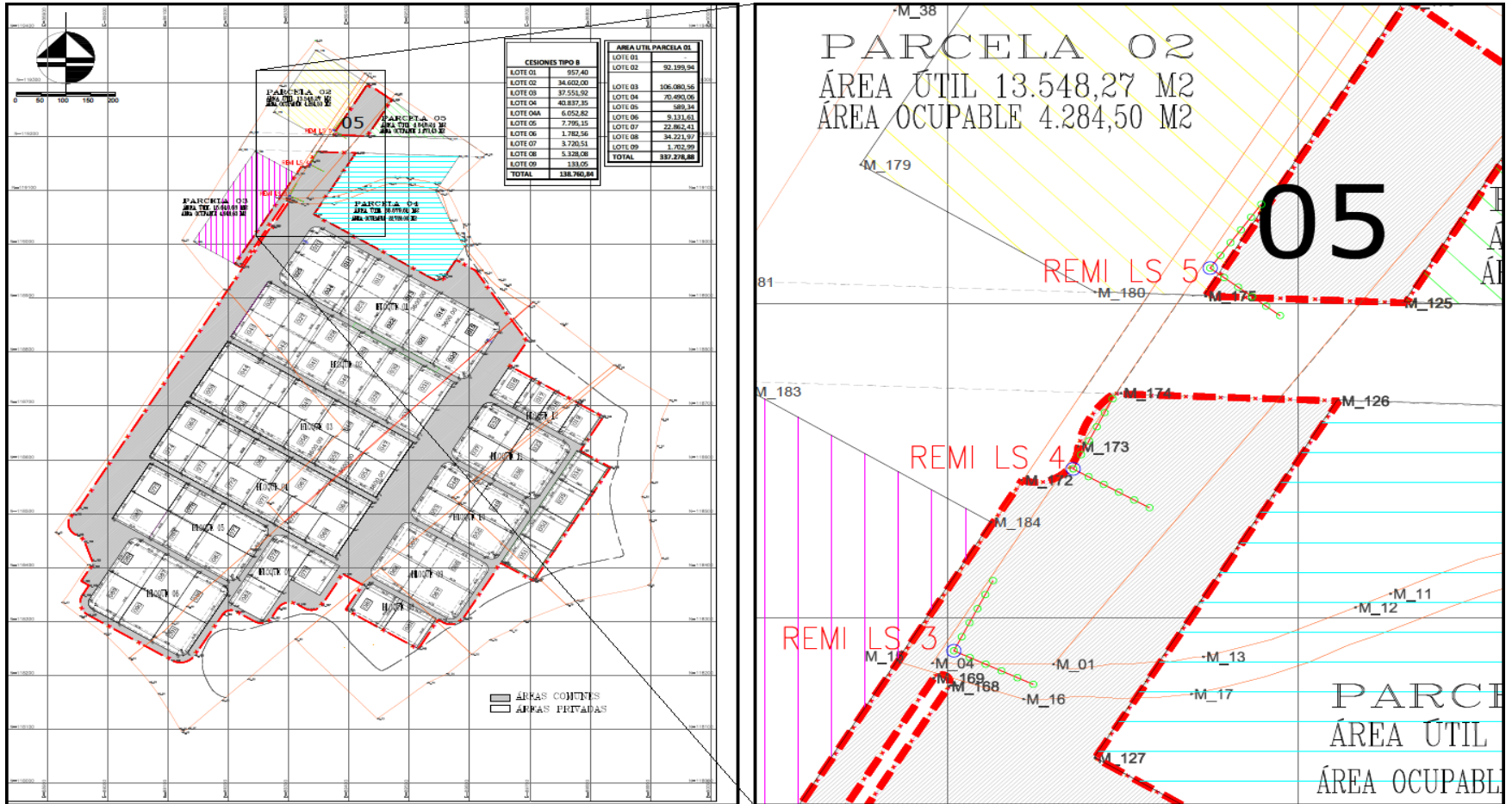


Figura 2. Localización de las líneas sísmicas LS3, LS4 y LS5.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE
Project : CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE
PARK

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL REVISIÓN HOJA
Copy: Copy: Revision Sheet
0 7 DE
Of 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Client Name : Doc Number :

4. METODOLOGIA

Para desarrollar los ensayos propuestos en esta investigación, se estableció el procedimiento que se describe a continuación.

- ✓ Planeamiento y definición de sitios.
- ✓ Localización en terreno de los sitios de los ensayos
- ✓ Ejecución de los ensayos sísmicos (adquisición de datos).
- ✓ Revisión de datos en campo
- ✓ Interpretación en oficina.
- ✓ Elaboración de informe.

4.1 TEORIA DEL ENSAYO REMI:

El ensayo REMI es un nuevo método geofísico de la sísmica pasiva que Consiste en determinar la distribución de los valores de la velocidad de transmisión de las ondas de corte (V_s) a través del terreno hasta varios metros de profundidad. Este proceso se lleva a cabo a partir del análisis espectral de las ondas superficiales del tipo Rayleigh, incluidas en el ruido sísmico ambiental producido por el tráfico y por otras actividades características de los medios urbanos.

El importante significado geotécnico de los valores de V_s del terreno justifica el interés de este tipo de estudios, especialmente en zonas urbanas en las que se proyecten o ejecuten obras subterráneas de cierta importancia.

El Remi resulta también particularmente útil en áreas donde el ruido antrópico limita la aplicación de métodos clásicos (refracción y reflexión), dependiendo de las propiedades del material del subsuelo, arreglo geométrico y tipos de sensores (distancia y frecuencia geófonos), ReMi puede determinar velocidades de ondas a profundidades mínimas de 30m y hasta un máximo de 400m usando arreglos más grande y sismógrafos inalámbricos.

El procedimiento de adquisición de data consiste en obtener de 20 a 30 registros de ruido sísmico de 20 segundos usando el sismo equipo convencional y geófonos de onda P. La fuente de la señal es representada por ruido natural o por ruido inducido por el operador geofísico (martillazos, un carro que maneja cerca del perfil de geófonos, etc.). La transformación del campo de onda del registro de ruido revela la curva de dispersión de la onda, la cual es distinta en las capas superficiales de baja velocidad y en las capas más profundas que presentan velocidades más altas.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:
COPIA: DIGITAL
 Copy:
REVISIÓN 0
 Revision
HOJA 8
 Sheet
DE Of
19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :
NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

En la figura 3 se muestra la escala de investigación que es posible obtener. La llamada fuente activa es el mismo ensayo MASW y la fuente pasiva es el ensayo REMI.

Escala de investigación

	Longitud de onda	Frecuencia	Aplicaciones
Ondas Superficiales con Fuente Activa	1 a 15 metros (decenas de pies)	5 - 50 Hz	<ul style="list-style-type: none"> •UBC Vs30 / IBC Vs100 clasificación de sitios. •Ingeniería de cimentaciones •detección de oquedades. •Investigación de sitios de relleno y tiraderos. •Estudios de estratigrafía y litología
Ondas Superficiales con Fuente Pasiva	Decenas de metros a varios kilómetros (decenas de pies a varias millas)	0.2 - 10 Hz	<ul style="list-style-type: none"> • UBC Vs30 / IBC Vs100 clasificación de sitios • Estudios profundo para estructuras geológicas

Figura 3. Escala de medición de los ensayos MASW (fuente activa) y ReMI (fuente pasiva).

5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En el Anexo 1 y a continuación se presentan los resultados para los 5 ensayos realizados en la zona de estudio. Cada uno de ellos está soportado por una gráfica y una tabla con los resultados obtenidos en la interpretación. Para la lectura de las gráficas se hacen las siguientes observaciones: las velocidades (Vs) de corte están representadas por las zonas de color gris y su escala ubicada en la parte de superior de la gráfica esta nombrada como "S velocity".

En la parte izquierda de la gráfica se encuentra la escala de profundidad, y en el eje vertical derecho se encuentran las capas geofísicas con su correspondiente velocidad de corte (Vs) y profundidad.

Las tablas muestran los valores representados en las gráficas para las velocidades de corte para cada una de las capas geofísicas indicadas en la gráfica. Adicionalmente se ofrece un estimativo de la densidad específica del suelo dependiendo de la velocidad de corte encontrada.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision

9

HOJA
Sheet
DE
OF

19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

5.1 LINEAS SISMICAS DEL LOTE 104

En esta zona se realizaron dos líneas sísmicas LS1 Y LS2 como se muestra en la figura 1, teniendo en cuenta que ambos perfiles se encontraban la tercera fase de compactación, sobre un material arcilloso con un poco de gravas en la superficie.

PERFIL DE VELOCIDAD DE CORTE LS1:

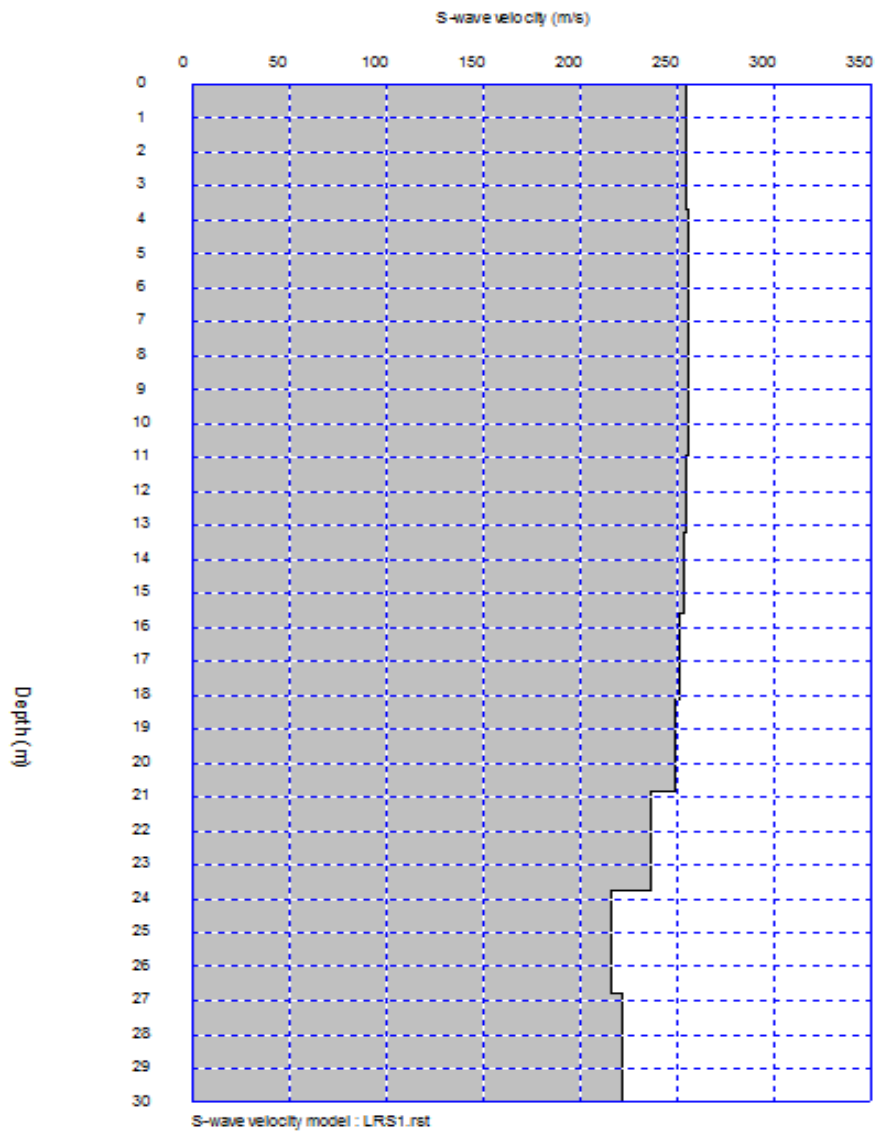


Figura 4. Gráfica REMI LS1



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:
COPIA: DIGITAL
 Copy:
REVISIÓN 0
 Revision
HOJA 10
 Sheet
DE 19
 Of

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :
NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

REMI LRS1			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	254,42	22,91	148,27
1,07	254,49	21,45	138,91
2,31	254,76	20,53	133,22
3,71	255,19	20,03	130,45
5,27	255,66	19,70	128,74
7,01	255,92	19,44	127,34
8,90	255,79	19,23	125,83
10,96	255,05	19,05	123,90
13,19	253,61	18,88	121,40
15,58	251,43	18,71	118,29
18,13	248,62	18,55	114,66
20,85	236,07	18,24	101,62
23,74	215,52	17,77	82,54
26,79	222,00	17,81	87,75
36,43	255,92	18,17	119,03

Tabla 1. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS1, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.

Comentarios referentes a la línea sísmica LS1:

De acuerdo con los resultados anteriores se evidencia el nivel de compactación y homogeneidad a la cual ha llegado el suelo después de realizada la compactación dinámica, desde la superficie hasta unos 20m de profundidad el suelo presenta valores de Vs que se encuentran alrededor de los **250m/s**, sin presentar muchas variaciones como se aprecia en la Figura 4.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision

HOJA
Sheet
DE
OF

0

11

19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

PERFIL DE VELOCIDAD DE CORTE LS2:

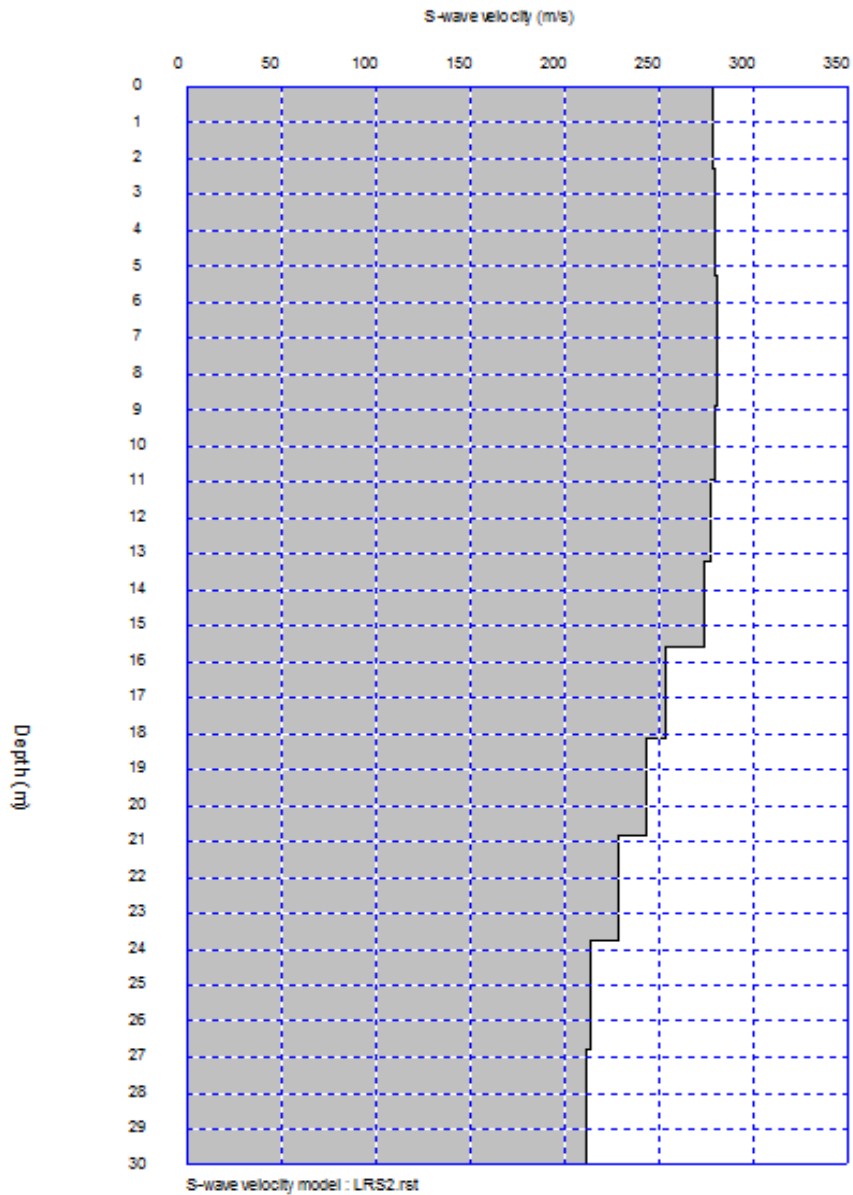


Figura 5, Gráfica REMI LS2



PROYECTO:
Project :

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE
CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE
PARK

CONTRATISTA:
Contractor:

ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

COPIA:
Copy:

DIGITAL

REVISIÓN
Revision

0

12

HOJA
Sheet
DE
OF

19

NOMBRE DEL CLIENTE:
Client Name :

AMAVIA

NÚMERO DOCUMENTO:
Doc Number :

UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA

REMI LRS2			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0,40	278,25	23,14	179,15
1,07	278,48	21,75	168,67
2,31	279,08	20,86	162,47
3,71	279,83	20,38	159,61
5,27	280,42	20,06	157,71
7,01	280,42	19,80	155,72
8,90	279,51	19,58	153,00
10,96	277,51	19,38	149,29
13,19	274,45	19,19	144,57
15,58	253,82	18,75	120,79
18,13	243,13	18,46	109,11
20,85	228,11	18,10	94,16
23,74	213,49	17,73	80,82
26,79	211,07	17,60	78,41
36,43	280,42	18,55	145,84

Tabla 2. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS2, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.

Comentarios referentes a la línea sísmica LS2:

De acuerdo con la gráfica REMI para la línea sísmica LS2 el terreno presenta velocidades de onda de corte en superficie del orden de **270m/s**, manteniendo este valor casi constante hasta los 15m de profundidad donde la Vs comienza a disminuir solo un poco en profundidad, sin presentar variaciones bruscas.

Este comportamiento evidencia el nivel de compactación y homogeneidad a la cual ha llegado el suelo después de realizada la compactación dinámica



5.2 LINEAS SISMICAS EN LA NUEVA ETAPA DE CONSTRUCCION

En esta zona se realizaron tres líneas sísmicas LS3, LS4 y LS5 como se muestra en la Figura 2, teniendo en cuenta que todos los perfiles sísmicos se encuentran en una fase de compactación diferente y para todas las líneas de esta nueva etapa, se utilizó material de relleno compuesto por arenas negras, a diferencia de las dos primeras líneas donde el material es arcilla. Línea LS3 presentaba un nivel de compactación de fase 2, Línea LS4 se encontraba en fase 1 de compactación y línea LS5 no presentaba ningún tipo de compactación dinámica.

PERFIL DE VELOCIDAD DE CORTE LS3:

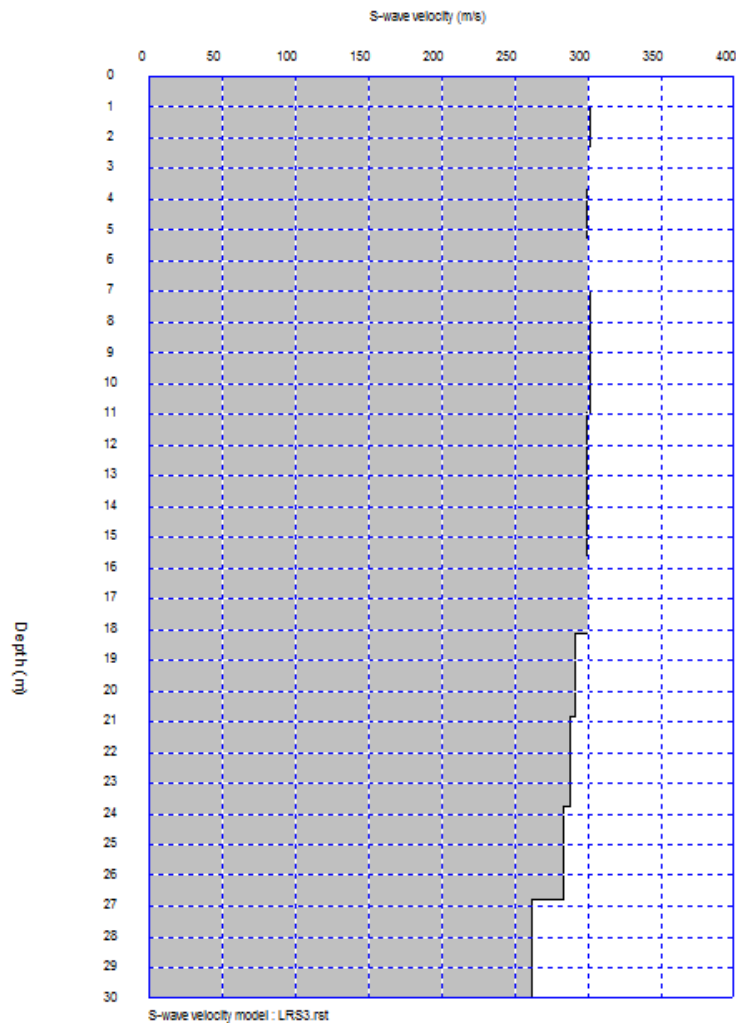


Figura 6. Gráfica REMI LS3.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:
COPIA: DIGITAL
 Copy:
REVISIÓN 0
 Revision
HOJA 14
 Sheet
DE
 Of
19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :
NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

REMI LRS3			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	300,00	23,33	209,94
1,07	301,29	22,00	199,73
2,31	300,00	21,12	190,08
3,71	298,71	20,63	184,05
5,27	300,00	20,31	182,83
7,01	301,29	20,08	182,28
8,90	301,29	19,88	180,45
10,96	298,71	19,68	175,56
13,19	298,71	19,53	174,26
15,58	300,00	19,42	174,78
18,13	291,06	19,19	162,53
20,85	287,81	19,04	157,71
23,74	283,40	18,88	151,66
26,79	261,67	18,47	126,50
36,43	294,79	18,75	162,93

Tabla 3. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS3, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.

Comentarios referentes a la línea sísmica LS3:

La tercera línea sísmica presenta un comportamiento muy similar a los perfiles sísmicos anteriores (LS1 y LS2), con una velocidad de onda de corte casi constante del orden de **300m/s**, presentando variaciones muy pequeñas hasta los 18 metros aproximadamente y variaciones un poco mayores pero no muy significantes de los 18m hasta los 26.7m.

Este comportamiento evidencia el nivel de compactación y homogeneidad a la cual ha llegado el suelo después de realizada la compactación dinámica.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision

HOJA
Sheet
DE
OF

0

15

19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

PERFIL DE VELOCIDAD DE CORTE LS4:

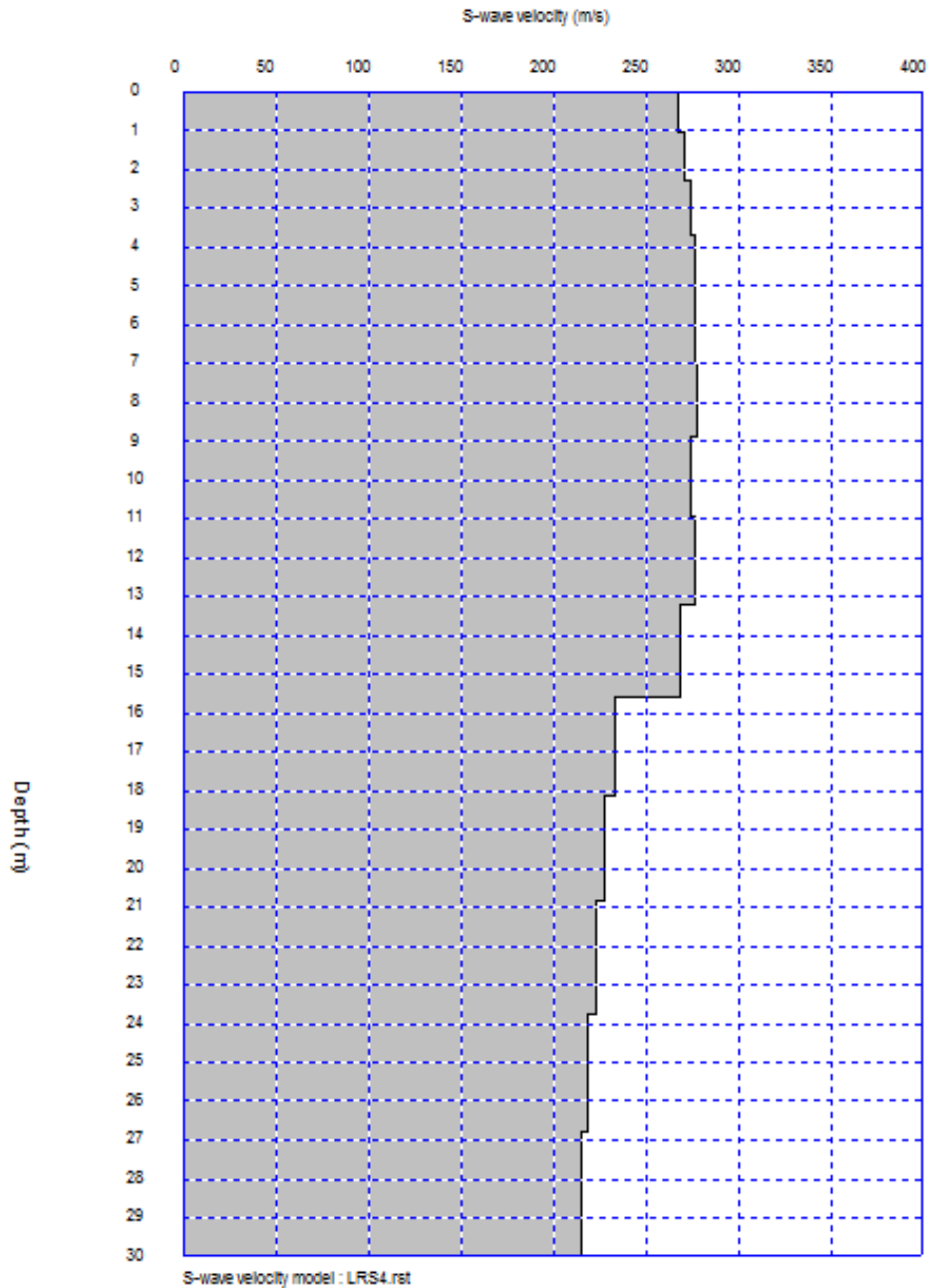


Figura 7. Gráfica REMI LS4.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:
COPIA: DIGITAL
 Copy:
REVISIÓN 0
 Revision
HOJA 16
 Sheet
DE 19
 Of

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :
NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

REMI LRS4			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	267,10	23,03	164,33
1,07	270,32	21,65	158,21
2,31	273,87	20,79	155,96
3,71	276,13	20,33	155,03
5,27	276,13	20,00	152,47
7,01	277,10	19,76	151,69
8,90	273,87	19,50	146,29
10,96	276,13	19,36	147,65
13,19	268,06	19,10	137,24
15,58	233,14	18,40	100,03
18,13	227,64	18,19	94,27
20,85	222,63	18,00	89,20
23,74	218,43	17,83	85,05
26,79	214,96	17,68	81,68
36,43	293,30	18,73	161,11

Tabla 4. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS4, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.

Comentarios referentes a la línea sísmica LS4:

De acuerdo con la gráfica REMI para la línea sísmica LS4 el terreno presenta velocidades de onda de corte en superficie del orden de **270m/s**, manteniendo este valor casi constante hasta los 13m de profundidad donde la Vs comienza a disminuir significativamente hasta alcanzar valores de **214m/s**.

Este comportamiento constante desde la superficie hasta los 13m de profundidad muestra en la el nivel de compactación y homogeneidad a la cual ha llegado el suelo después de realizada la compactación dinámica.



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision

17

HOJA
Sheet
DE
OF

19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

PERFIL DE VELOCIDAD DE CORTE LS5:

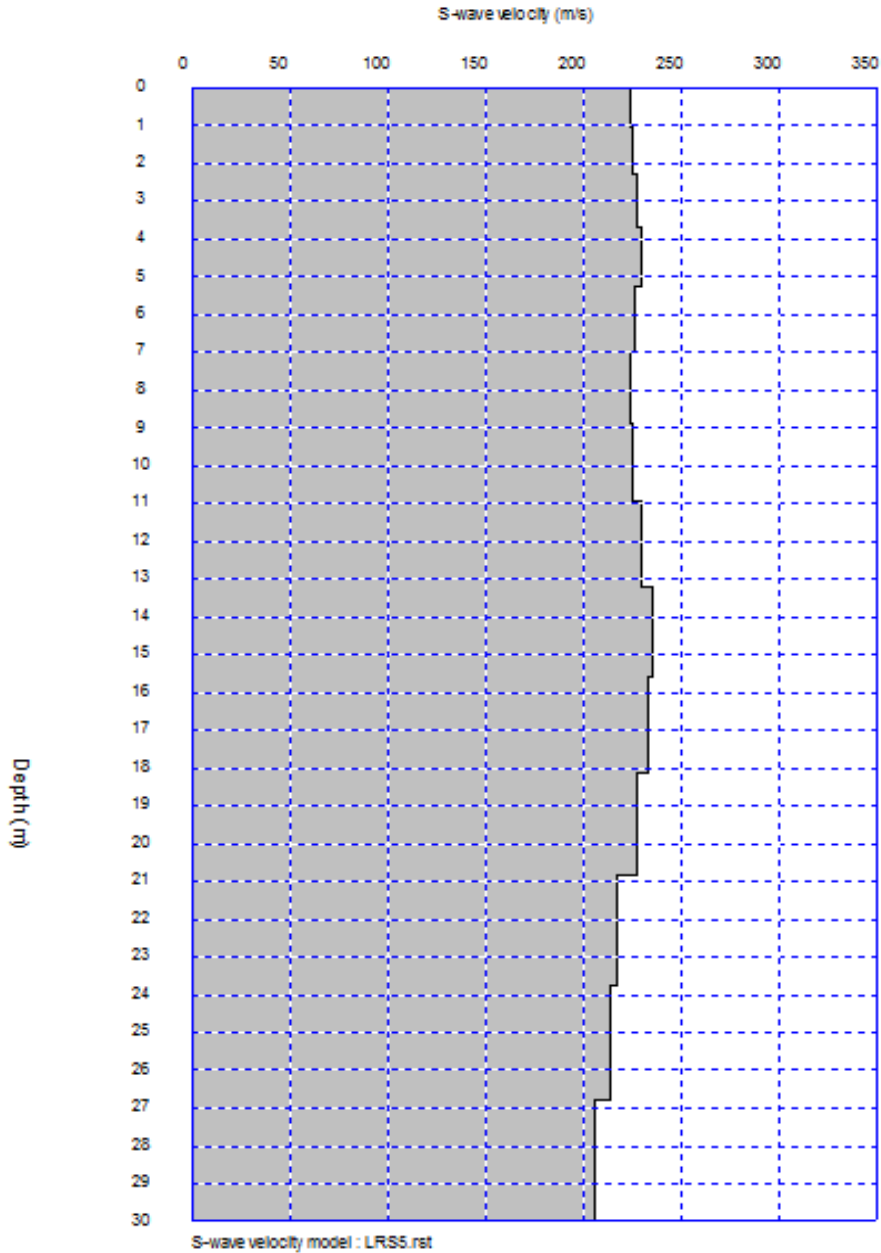


Figura 8. Gráfica REMI LS5



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE PARK
 Project :
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
 Contractor:
COPIA: DIGITAL
 Copy:
REVISIÓN: 0
 Revision:
HOJA: 18
 Sheet DE Of 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
 Client Name :
NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
 Doc Number :

REMI LRSS			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	223,87	22,55	113,02
1,07	224,84	21,02	106,25
2,31	227,10	20,09	103,62
3,71	229,35	19,62	103,19
5,27	226,13	19,21	98,23
7,01	223,87	18,91	94,76
8,90	224,84	18,71	94,60
10,96	229,35	18,62	97,94
13,19	235,16	18,57	102,69
15,58	232,90	18,40	99,81
18,13	227,10	18,18	93,77
20,85	216,77	17,89	84,06
23,74	213,55	17,73	80,87
26,79	205,48	17,49	73,86

Tabla 5. Tabla que relaciona las velocidades de corte para la línea LS5, con el Modulo de Corte máximo (Go) y densidad.

Comentarios referentes a la línea sísmica LS5:

La tercera línea sísmica presenta un comportamiento muy similar a los perfiles sísmicos anteriores, con una velocidad de onda de corte casi constante del orden de **220m/s**, presentando variaciones muy pequeñas en profundidad hasta los 26.79m, donde la velocidad disminuye a **205m/s**



PROYECTO: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE
Project : CORTE PARA EL PROYECTO BODEGAS CELTA TRADE
PARK

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.
Contractor:

COPIA: DIGITAL
Copy:

REVISIÓN
Revision

HOJA
Sheet
DE
OF

0 19 19

NOMBRE DEL CLIENTE: AMAVIA
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2014-1219-11277-14- AMAVIA - CELTA
Doc Number :

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por los ensayos Remi, se puede concluir que el suelo a mejorado su nivel de compacidad en todos los lotes estudiados, sin embargo como algunas de estas zonas no presentan las mismas etapas de compactación, en las gráficas se puede ver como aumentan las velocidades de corte a medida que aumenta la etapa de compactación.

Al mejorar su nivel de compacidad el terreno aumenta su resistencia y se vuelve menos susceptible a asentamientos o deformaciones por efectos de la carga.

Como en las líneas LS1 Y LS2 el suelo se compone de arcillas principalmente el valor máximo alcanzado de velocidades de onda de corte es de **270m/s**, mientras que para las líneas LS3, LS4 y LS5 el material es una arena negra de relleno, las velocidades de onda de corte son más altas llegando a valores de **300m/s**.



REMI LRS1			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	254,42	22,91	148,27
1,07	254,49	21,45	138,91
2,31	254,76	20,53	133,22
3,71	255,19	20,03	130,45
5,27	255,66	19,70	128,74
7,01	255,92	19,44	127,34
8,90	255,79	19,23	125,83
10,96	255,05	19,05	123,90
13,19	253,61	18,88	121,40
15,58	251,43	18,71	118,29
18,13	248,62	18,55	114,66
20,85	236,07	18,24	101,62
23,74	215,52	17,77	82,54
26,79	222,00	17,81	87,75
36,43	255,92	18,17	119,03

REMI LRS2			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	278,25	23,14	179,15
1,07	278,48	21,75	168,67
2,31	279,08	20,86	162,47
3,71	279,83	20,38	159,61
5,27	280,42	20,06	157,71
7,01	280,42	19,80	155,72
8,90	279,51	19,58	153,00
10,96	277,51	19,38	149,29
13,19	274,45	19,19	144,57
16	253,82	18,75	120,79
18,13	243,13	18,46	109,11
20,85	228,11	18,10	94,16
23,74	213,49	17,73	80,82
26,79	211,07	17,60	78,41
36,43	280,42	18,55	145,84



REMI LRS3			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	300,00	23,33	209,94
1,07	301,29	22,00	199,73
2,31	300,00	21,12	190,08
3,71	298,71	20,63	184,05
5,27	300,00	20,31	182,83
7,01	301,29	20,08	182,28
8,90	301,29	19,88	180,45
10,96	298,71	19,68	175,56
13,19	298,71	19,53	174,26
15,58	300,00	19,42	174,78
18,13	291,06	19,19	162,53
20,85	287,81	19,04	157,71
23,74	283,40	18,88	151,66
26,79	261,67	18,47	126,50
36,43	294,79	18,75	162,93

REMI LRS4			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	267,10	23,03	164,33
1,07	270,32	21,65	158,21
2,31	273,87	20,79	155,96
3,71	276,13	20,33	155,03
5,27	276,13	20,00	152,47
7,01	277,10	19,76	151,69
8,90	273,87	19,50	146,29
10,96	276,13	19,36	147,65
13,19	268,06	19,10	137,24
15,58	233,14	18,40	100,03
18,13	227,64	18,19	94,27
20,85	222,63	18,00	89,20
23,74	218,43	17,83	85,05
26,79	214,96	17,68	81,68
36,43	293,30	18,73	161,11

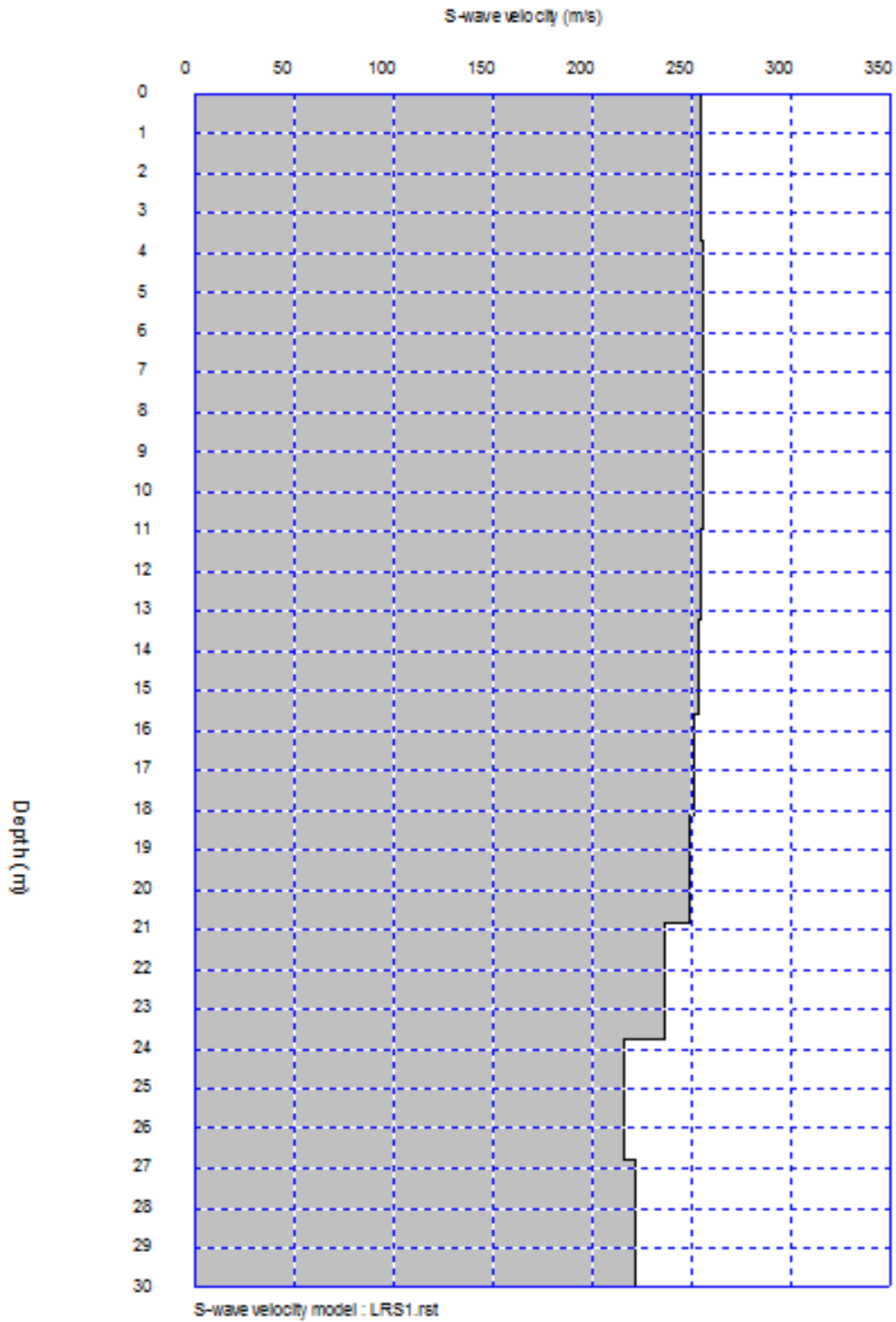


ANEXO 2. RESULTADOS DEL ENSAYO REMI

REMI LRS5			
Profundidad (m)	S-Velocidad de corte (m/s)	Densidad (kN/m ³)	G (MPa)
0	223,87	22,55	113,02
1,07	224,84	21,02	106,25
2,31	227,10	20,09	103,62
3,71	229,35	19,62	103,19
5,27	226,13	19,21	98,23
7,01	223,87	18,91	94,76
8,90	224,84	18,71	94,60
10,96	229,35	18,62	97,94
13,19	235,16	18,57	102,69
15,58	232,90	18,40	99,81
18,13	227,10	18,18	93,77
20,85	216,77	17,89	84,06
23,74	213,55	17,73	80,87
26,79	205,48	17,49	73,86

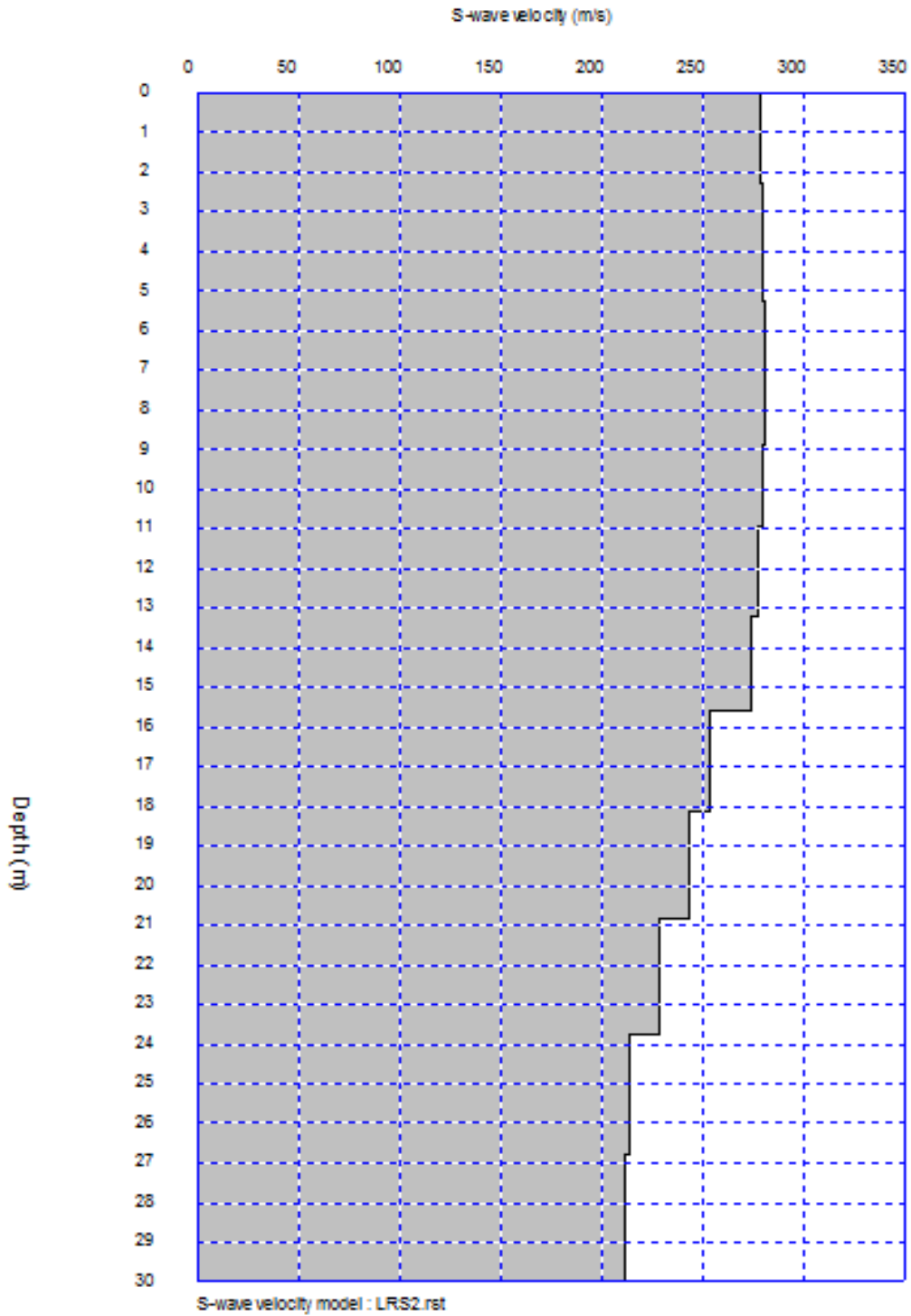


GRAFICA REMI LS1





GRAFICA REMI LS2



PROYECTO

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE ONDA DE CORTE

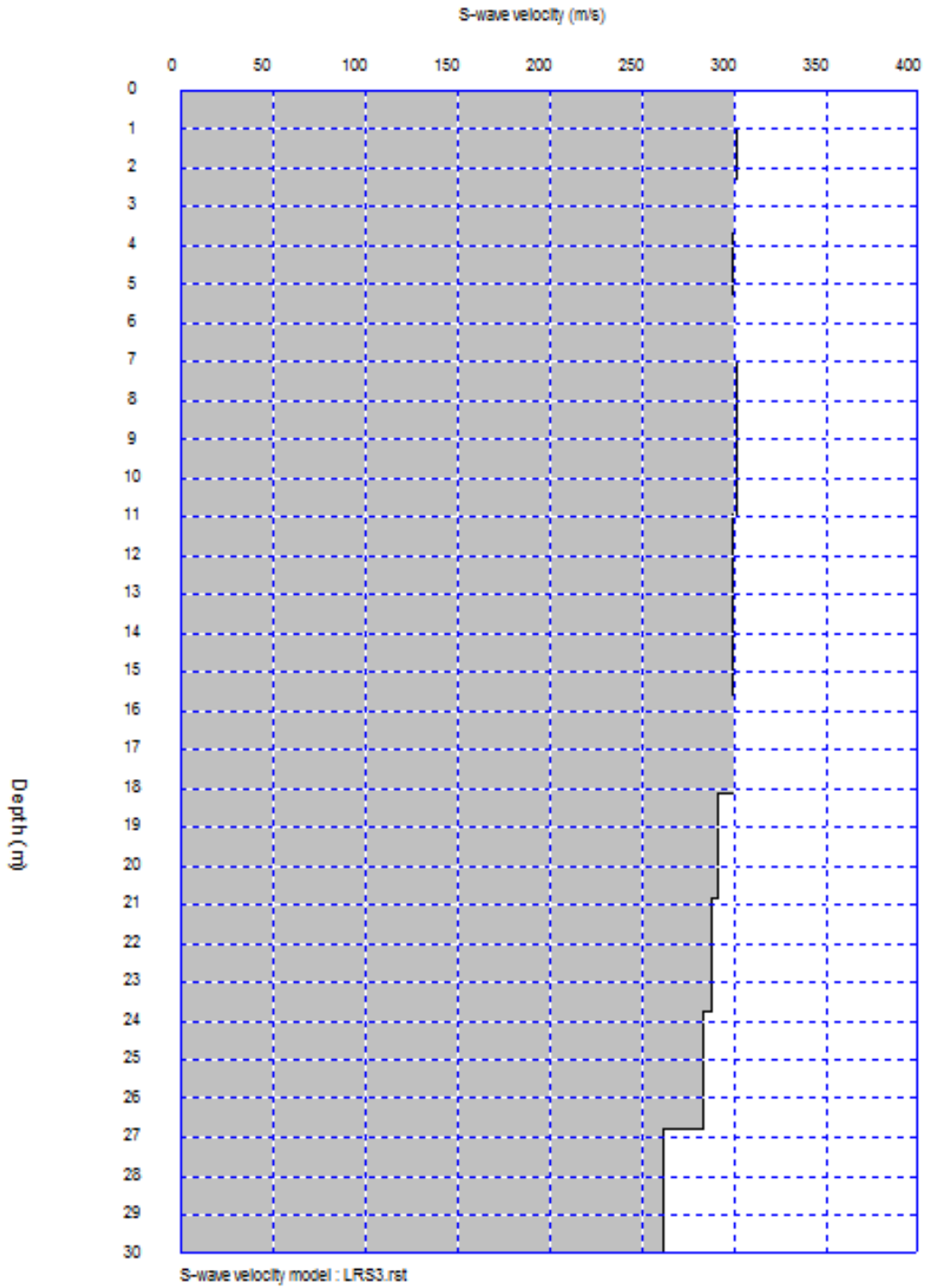
BODEGAS CELTA TRADE PARK

FECHA

06-03-2014

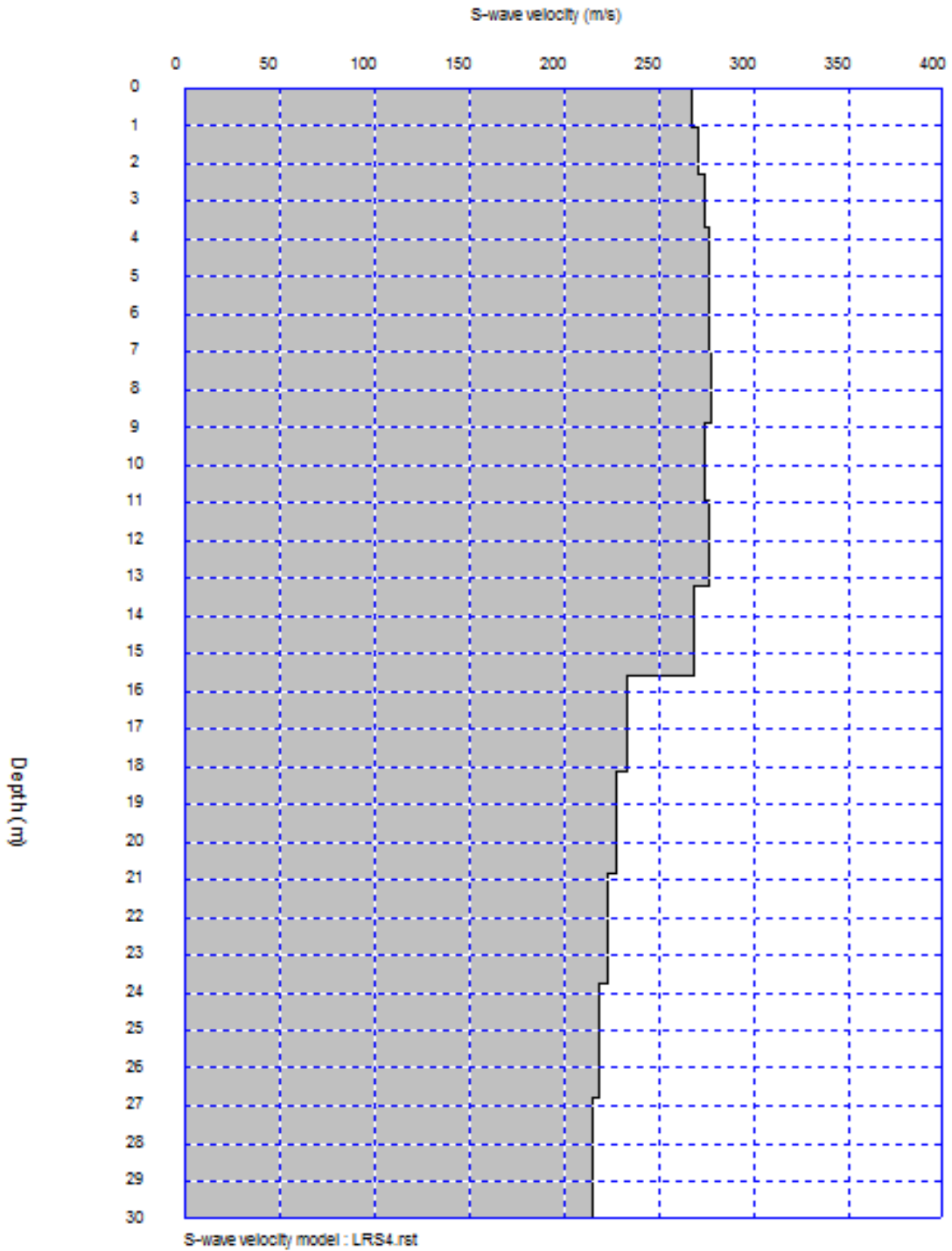


GRAFICA REMI LS3



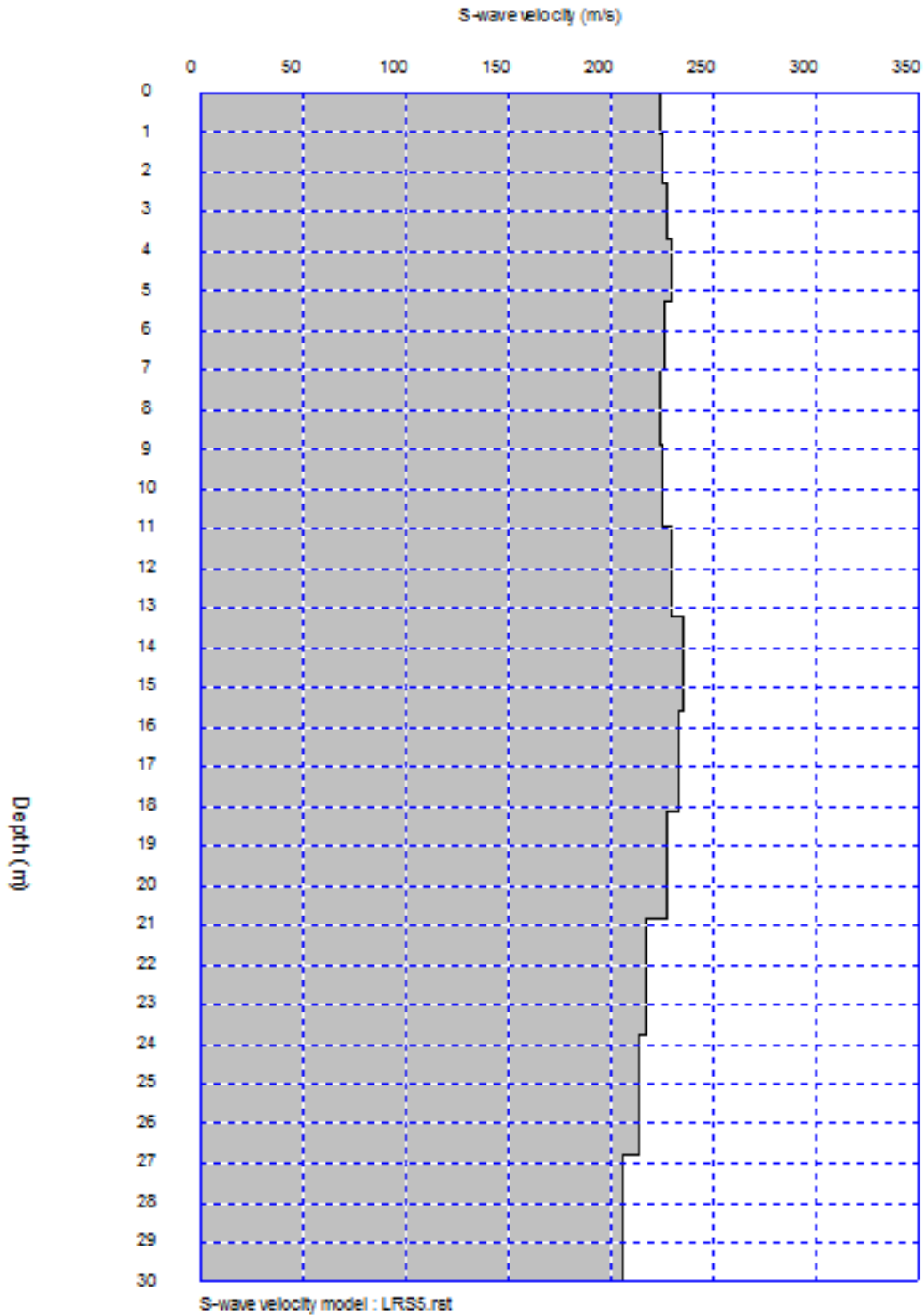


GRAFICA REMI LS4





GRAFICA REMI LS5



Anexo 5 Memorias de Cálculo

HOJA DE CALCULO CAPACIDAD PORTANTE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

PROYECTO: Compactación Dinámica Trabajo de Grado

CONDICION NO DRENADA

Datos de Entrada			
ϕ	=	17,5 °	Angulo de Fricción
Cu	=	50,0 kPa	Cohesión No Drenada
γ	=	15,0 kN/m ³	Peso Unitario del Suelo por Encima del Nivel de Fundación
γ'	=	14,0 kN/m ³	Peso Unitario Sumergido
β	=	0,0 °	Inclinación de la Carga Respecto de la Vertical
H'	=	2,5 m	Profundidad del Nivel Freático
Df	=	0,3 m	Profundidad de Desplante
FS	=	3	Factor de Seguridad

Factores de Capacidad Portante		
Nc	=	12,70 s/Meyerhof
Nq	=	5,00 s/Meyerhof
N γ	=	1,82 s/Meyerhof

Factores de Corrección por Inclinación de la Carga (Meyerhoff, 1981)		
Fci	=	1,00
Fqi	=	1,00
F γ i	=	1,00

$$q_u = C_u N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 1/2 \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

qu: Capacidad Portante Ultima (kPa)

q	=	1,0 kPa	Esfuerzo Efectivo al Nivel de Desplante de la Fundación
---	---	---------	---

Carga Aplicada (Estimada)		
Q	=	214 T
	=	2098,5 kN

L/B=		7,9		Factores de Forma			Factores de Profundidad			qu	qu neta	qadm	Qadm
B (m)	L (m)	B/L	Df/B	Fcs	Fqs	Fys	Fcd	Fqd	Fyd	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN)
2,0	2,0	1,0	0,150	1,372	1,186	1,186	1,056	1,028	1,028	956,6	955,6	318,5	1274

ASENTAMIENTOS

CALCULO DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS CENTRO

PROYECTO : ANTES DE COMPACTACIÓN DINÀMICA

ESTRUCTURA: BODEGA

$$\rho_i = P * I_p * B * \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

ρ_i : asentamiento inmediato

P: Carga

I_p : Factor de Influencia del desplazamiento vertical

B: Ancho del cimiento

ν : Relación de Poisson ,

E: Módulo de Young

PESO	300 TON
BASE	2 m
LARGO	2 m

Carga distribuida	10,00 TON/m ²
L/B	1,0
I_p	2,4
ρ_i :	0,42 cm

Cu1	0 kN/m ²
e1	0 m
E1	0 kN/m ²
Cu2	0 kN/m ²
e2	0 m
E2	0 kN/m ²
ν	0,38
Eeq	970 Ton/m ²

ASENTAMIENTOS

CALCULO DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS ESQUINA

PROYECTO : ANTES DE COMPACTACIÓN DINAMICA

ESTRUCTURA: BODEGA

$$\rho_i = P * (I_p / 2) * B * \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

- ρi: asentamiento inmediato
- P: Carga
- Ip: Factor de Influencia del desplazamiento vertical
- B: Ancho del cimiento
- ν: Relación de Poisson ,
- E: Módulo de Young

PESO	300 Ton
BASE	2
LARGO	2 m

Carga distribuida	10,0 Ton/m ²
L/B	1,0
Ip/2	1,2
ρi:	0,2 cm

Cu1	0 kN/m ²
e1	0 m
E1	0 kN/m ²
Cu2	0 kN/m ²
e2	0 m
E2	0 kN/m ²
ν	0,38
Eeq	970 Ton/m ²

ASENTAMIENTOS

CALCULO DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS CENTRO

PROYECTO : DESPUÉS DE COMPACTACIÓN DINÀMICA

ESTRUCTURA: BODEGA

$$\rho i = P * I_p * B * \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

ρi : asentamiento inmediato

P: Carga

I_p : Factor de Influencia del desplazamiento vertical

B: Ancho del cimiento

ν : Relación de Poisson ,

E: Módulo de Young

PESO	300 TON
BASE	2 m
LARGO	2 m

Carga distribuida	10,00 TON/m ²
L/B	1,0
I_p	2,4
ρi :	0,03 cm

Cu1	0	kN/m ²
e1	0	m
E1	0	kN/m ²
Cu2	0	kN/m ²
e2	0	m
E2	0	kN/m ²
ν	0,4	
Eeq	13033	Ton/m ²

ASENTAMIENTOS

CALCULO DE ASENTAMIENTOS INMEDIATOS ESQUINA

PROYECTO : DESPUÈS DE COMPACTACIÓN DINAMICA

ESTRUCTURA: BODEGA

$$\rho_i = P * (I_p / 2) * B * \frac{(1 - \nu^2)}{E}$$

ρi: asentamiento inmediato
 P: Carga
 I_p: Factor de Influencia del desplazamiento vertical
 B: Ancho del cimiento
 ν: Relación de Poisson ,
 E: Módulo de Young

PESO	300 Ton
BASE	2
LARGO	2 m

Carga distribuida	10,0 Ton/m ²
L/B	1,0
I _p /2	1,2
ρi:	0,02 cm



Cu1	0	kN/m ²
e1	0	m
E1	0	kN/m ²
Cu2	0	kN/m ²
e2	0	m
E2	0	kN/m ²
ν	0,4	
Eeq	13033	Ton/m ²

CÁLCULO ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACION
DESPUES DE LA COMPACTACIÓN DINAMICA

$$S = Cr / (1 + e) * H * \log_{10} (Po + \Delta\rho) / Po$$

Cr :	0,2	
e :	0,8	
Po :	7,92	Ton/m ²
$\Delta\rho$:	2,56	Ton/m ²
H :	200	cm

S = 2,7 cm

 Datos Ingreso
 Datos de Salida