



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO DE SUELO ARENOSO MEDIANTE UN SISTEMA DE
ESTABILIZACIÓN FÍSICO, CONDOMINIO KALANI EN CAÑETE, LIMA, PERÚ

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotécnica**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Arredondo Mendoza, Cesar Luis

Asesor:

Tello Malpartida, Omart Demetrio
(ORCID: 0000-0002-5043-6510)

Jurado:

Pumaricra Padilla, Raul Valentin
Ramos Flores, Miguel Angel
Romero Rios, David

Lima - Perú

2022

Referencia:

Arredondo, C. (2022). *Mejoramiento de suelo arenoso mediante un sistema de estabilización físico, Condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal].
Repositorio Institucional UNFV.
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/6469>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO DE SUELO ARENOSO MEDIANTE UN
SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN FÍSICO, CONDOMINIO
KALANI EN CAÑETE, LIMA, PERÚ

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y
Geotécnica

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor(a)

Arredondo Mendoza, Cesar Luis

Asesor(a)

Tello Malpartida, Omart Demetrio
(ORCID: 0000-0002-5043-6510)

Jurado:

Pumaricra Padilla, Raul Valentin

Ramos Flores, Miguel Angel

Romero Rios, David

Lima – Perú

2022

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Ana, por forjar en mí el carácter y perseverancia para cumplir mis sueños, por siempre ser mi soporte cuando más los necesito. A mi hermano Mariano que con sus pasos me guía y motiva a ser cada día mejor. A mi familia y amigos que me brindaron una mano cálida durante el desarrollo de esta investigación. A mi alma mater por formarme y otorgarme los conocimientos en la etapa universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este apartado agradezco principalmente a Dios por darme una vida con salud y las fuerzas para trabajar por mis objetivos.

Al Ing. Carlos Francisco Gutierrez Davila, un especial agradecimiento por las enseñanzas y asesoramiento técnico sobre el tema de investigación, con la gentileza que lo caracteriza brindándome su confianza y amistad, por compartir sus conocimientos y haber guiado a la elaboración de esta tesis.

A mis amigos el Ing. Joel Ávila Fernández y el Ing. Norman Chura Vilcanqui, por su tiempo y apoyo con el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Juan Sánchez Guando, por las enseñanzas de la asignatura de mecánica de suelos, y por el apoyo brindando a esta investigación.

Al Ing. Luis Aldana Huamán, por darme la motivación para el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Omart Demetrio Tello Malpartida, por ser mi asesor de tesis, que continuamente me brindo sus observaciones y recomendaciones para culminar eficazmente esta tesis.

A mis amigos Pierre Angelo y Daleska Geraldine quienes me apoyaron compartiéndome información, y dándome su apreciación en cada avance de esta tesis.

A mi amigo Juan Carlos, por su gran amistad y consejos que me ayuda a ser mejor persona y profesional.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCION	15
1.1. Descripción y formulación del problema	16
1.1.1. Descripción del problema.....	16
1.1.2. Formulación del problema	16
1.2. Antecedentes	17
1.2.1. En el ámbito nacional.....	17
1.2.2. En el ámbito internacional.....	22
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo general	27
1.3.2. Objetivos específicos.....	27
1.4. Justificación	28
1.4.1. Justificación teórica.....	28
1.4.2. Justificación practica	28
1.4.3. Justificación económica	28
1.4.4. Justificación social	29
1.5. Hipótesis.....	29
1.5.1. Hipótesis general	29
1.5.2. Hipótesis específica.....	29

II. MARCO TEÓRICO	30
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	30
2.1.1. Mejoramiento de Suelo	30
2.1.2. Sistema de Cimentación	36
2.1.3. Sistema de Estabilización.....	41
2.1.4. Sistema Geopier	44
2.1.5. Vibrocompactación	49
2.1.6. Licuación de Suelos	51
2.1.7. Diseño Sistema Geopier Impact	60
2.1.8. Diseño Vibrocompactación	67
III. MÉTODO	72
3.1. Tipo de investigación	72
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	73
3.3. Variables	73
3.3.1. Variable independiente.....	73
3.3.2. Variable dependiente.....	73
3.4. Población y muestra.....	73
3.5. Instrumentos.....	74
3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	74
3.5.2. Validación de Instrumentos.....	75
3.6. Procedimientos	76

3.6.1. Procedimiento.....	76
3.6.2. Ejecución del procedimiento.....	78
3.7. Análisis de datos.....	97
IV. RESULTADOS	98
4.1. Resultados de la investigación.....	98
4.1.1. Propiedades mecánicas del suelo en condición no mejorada (suelo patrón)..	98
4.1.2. Propiedades mecánicas de suelo mejorado con estabilización físico.....	100
4.1.3. Comparación de resultados	107
4.1.4. Matriz de comparación condición suelo inicial vs mejorado.....	127
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	129
5.1. Discusión de capacidad portante	129
5.2. Discusión de asentamiento	130
5.3. Discusión de potencial de licuación	131
VI. CONCLUSIONES.....	133
6.1. Conclusión 1	133
6.2. Conclusión 2	133
6.3. Conclusión 3	134
6.4. Conclusión 4	134
VII. RECOMENDACIONES	135
7.1. Recomendación 1	135
7.2. Recomendación 2	135

7.3. Recomendación 3	135
7.4. Recomendación 4	136
7.5. Recomendación 5	136
VIII. REFERENCIAS.....	137
IX. ANEXOS.....	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Número de puntos de exploración</i>	31
Tabla 2 <i>Sistemas de clasificación de tamaño de partícula de suelo</i>	34
Tabla 3 <i>Valores FS mínimos</i>	37
Tabla 4 <i>Tipos de sistemas Geopier</i>	44
Tabla 5 <i>Descripción de recursos de instalación Geopier Impact</i>	47
Tabla 6 <i>Ensayos de calidad pilas Geopier</i>	48
Tabla 7 <i>Descripción de recursos de instalación por Vibrocompactación</i>	50
Tabla 8 <i>Validación por juicio de expertos</i>	76
Tabla 9 <i>Parámetros de diseño Geopier Impact-Asentamientos P-01</i>	83
Tabla 10 <i>Parámetros de diseño licuación de suelo P-01</i>	85
Tabla 11 <i>Parámetros de diseño por Priebe sondaje P-01</i>	89
Tabla 12 <i>Parámetros de diseño Vibrocompactación-Asentamientos P-01</i>	92
Tabla 13 <i>Propiedades geotécnicas iniciales de suelo arenoso sin mejorar</i>	98
Tabla 14 <i>Efecto sísmico de asentamiento post-licuación, condición no mejorada</i>	98
Tabla 15 <i>Factores de seguridad en condición no mejorada</i>	99
Tabla 16 <i>Capacidad portante mejorada con Sistema Geopier Impact</i>	100
Tabla 17 <i>Asentamiento elástico mejorado con Sistema Geopier Impact</i>	100
Tabla 18 <i>Potencial de licuación mejorado con Sistema Geopier Impact</i>	101
Tabla 19 <i>Asentamiento Post-licuación mejorado con sistema Geopier Impact</i>	102
Tabla 20 <i>Capacidad portante mejorada con Sistema Vibrocompactación</i>	103
Tabla 21 <i>Asentamiento elástico mejorado con Sistema Vibrocompactación</i>	103
Tabla 22 <i>Potencial de licuación mejorado con Sistema Vibrocompactación</i>	104
Tabla 23 <i>Asentamiento post-licuación mejorado con Sistema Vibrocompactación</i>	105
Tabla 24 <i>Tiempo de ejecución de Sistema Geopier Impact</i>	106

Tabla 25 <i>Tiempo de ejecución de Sistema Vibrocompactación</i>	106
Tabla 26 <i>Comparativo de capacidad portante</i>	107
Tabla 27 <i>Comparativo de asentamientos elásticos (cm)</i>	109
Tabla 28 <i>Comparativo de asentamiento post-licuación</i>	111
Tabla 29 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-01</i>	114
Tabla 30 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-02</i>	115
Tabla 31 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-03</i>	116
Tabla 32 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-04</i>	118
Tabla 33 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-05</i>	119
Tabla 34 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-06</i>	120
Tabla 35 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-07</i>	121
Tabla 36 <i>Comparativo de potencial de licuación sondaje P-08</i>	122
Tabla 37 <i>Comparativo de factor de seguridad de licuación</i>	124
Tabla 38 <i>Comparativo de costos y tiempo de sistemas de estabilización</i>	125
Tabla 39 <i>Cuadro comparativo de condición inicial vs mejorada promedio</i>	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Partes del sondaje SPT</i>	32
Figura 2 <i>Dimensiones de muestreador caña partida</i>	33
Figura 3 <i>Límites de consistencia</i>	34
Figura 4 <i>Simbología de grupo SUCS</i>	36
Figura 5 <i>Dimensiones de cimentación superficial</i>	38
Figura 6 <i>Tipos de losa de cimentación</i>	39
Figura 7 <i>Dimensiones de cimentación profunda</i>	40
Figura 8 <i>Pilotes instalados en condiciones de suelo</i>	41
Figura 9 <i>Tipos de estabilización y su aplicabilidad al suelo</i>	42
Figura 10 <i>Pilas de agregado compactado - Sistema Geopier Impact</i>	46
Figura 11 <i>Proceso constructivo - Sistema Impact</i>	47
Figura 12 <i>Proceso constructivo - Vibrocompactación</i>	50
Figura 13 <i>Licuaion de suelo causado por terremoto Niigata 1964</i>	52
Figura 14 <i>Consecuencias de licuación de suelos</i>	54
Figura 15 <i>Casos históricos de licuación en correlación del $(N_1)_{60cs}$ y el CSR</i>	56
Figura 16 <i>Relación entre deformación volumétrica vertical y deformación máxima por corte</i>	58
Figura 17 <i>Relación entre deformación máxima por corte y factor de seguridad por licuación</i>	59
Figura 18 <i>Correlación entre el valor límite de deformación por corte (γ_{lim}) y el $(N_1)_{60cs}$</i>	60
Figura 19 <i>Valores de diseño Geopier en condición mejorada</i>	61
Figura 20 <i>Capas de análisis de asentamientos zona superior e inferior</i>	61
Figura 21 <i>Analogía de resortes de diseño Geopier Upper Zone</i>	62

Figura 22 <i>Porcentaje de contribución de esfuerzo de corte</i>	65
Figura 23 <i>Relacion de Priebe entre el n_0 y A/A_c</i>	67
Figura 24 <i>Incremento de relacion de area (A/A_c) respecto a la relacion de modulos D_c/D_s</i>	69
Figura 25 <i>Resumen gráfico de procedimiento</i>	78
Figura 26 <i>Perfiles de suelo obtenidos por ensayo SPT</i>	79
Figura 27 <i>Ubicación de condominio Kalani</i>	80
Figura 28 <i>Proyecto Kalani trazado y lotización</i>	80
Figura 29 <i>Dimensiones de cimentación típica</i>	81
Figura 30 <i>Asentamiento superior – Geopier Impact sondaje P-01</i>	84
Figura 31 <i>Asentamiento inferior – Geopier Impact sondaje P-01</i>	85
Figura 32 <i>Asentamiento Geopier Impact Post- licuación y F.S de sondaje P-01</i>	89
Figura 33 <i>Capacidad portante por Priebe 1995 sondaje P-01</i>	92
Figura 34 <i>Asentamiento superior- Vibrocompactación sondaje P-01</i>	94
Figura 35 <i>Asentamiento inferior – Vibrocompactación sondaje P-01</i>	94
Figura 36 <i>Asentamiento Vibrocompactación Post- licuación y F.S de sondaje P-01</i>	96
Figura 37 <i>Costo directo de Sistema Geopier Impact</i>	105
Figura 38 <i>Costo directo de Sistema Vibrocompactación</i>	106
Figura 39 <i>Cuadro estadístico de capacidad portante (σ_{adm} kN/m²)</i>	108
Figura 40 <i>Incremento de capacidad portante con sistemas de estabilización físico</i>	109
Figura 41 <i>Cuadro estadístico de asentamiento elástico</i>	110
Figura 42 <i>Reducción de asentamiento elástico con sistemas de estabilización físico</i>	111
Figura 43 <i>Cuadro estadístico de asentamiento post-licuación (cm)</i>	112
Figura 44 <i>Reducción de asentamiento post-licuación con sistemas de estabilización físico</i>	113

Figura 45 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-01</i>	115
Figura 46 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-02</i>	116
Figura 47 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P--03</i>	117
Figura 48 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-04</i>	118
Figura 49 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-05</i>	119
Figura 50 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-06</i>	120
Figura 51 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-07</i>	122
Figura 52 <i>Cuadro estadístico de potencial de licuación P-08</i>	123
Figura 53 <i>Aumento del factor de seguridad de licuación con sistemas de estabilización físico</i>	125
Figura 54 <i>Cuadro estadístico de costos de sistemas de estabilización</i>	126
Figura 55 <i>Cuadro estadístico de tiempo de ejecución de sistemas de estabilización</i>	126

RESUMEN

En esta investigación se calculó la influencia de la estabilización físico al suelo arenoso con fines de cimentación del condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú. El tipo de investigación por propósito es aplicada, por enfoque es cuantitativo, de nivel explicativo y de diseño cuasi-experimental. Se utilizó fichas técnicas de instrumentación que sintetizan un comparativo entre el Sistema Geopier y la Vibrocompactación, midiendo los indicadores de capacidad portante, asentamientos y potencial de licuación; según los manuales y teorías de diseño aceptados por la ingeniería geotécnica. Los resultados obtenidos con un porcentaje de área de reemplazo de 3.55% para ambos sistemas, indican que para Geopier Impact y la Vibrocompactación respectivamente aumenta la capacidad portante respecto a la condición no mejorada en un porcentaje de 284.3% y 314.0%; para caso del asentamiento elástico se reducen en el orden de 63.3% y 61.9%, de manera similar los asentamientos post-licuación reducen en 76.3% y 73.6%, y el factor de seguridad de licuación resultan aumentados en 541.5% y 520.2%. Sumado a esta evaluación técnica, mediante un análisis de costos y tiempo de ejecución se determinó que la aplicación de la Vibrocompactación presenta un ahorro en costos de 25,505.08 dólares, y una ejecución menor de 8 días en comparación del sistema Geopier Impact. Por consiguiente, se concluye que los sistemas de estabilización físico mejoran las propiedades geotécnicas y reducen el efecto sísmico, del suelo arenoso del proyecto Kalani con fines de cimentación.

Palabras clave: Geopier Impact, Vibrocompactación, suelo arenoso, columnas de grava, pilas de grava.

ABSTRACT

In this research, the influence of physical stabilization on sandy soil was calculated for the foundation of the Kalani condominium in Cañete, Lima, Peru. The type of research by purpose is applied, by approach it is quantitative, explanatory level and quasi-experimental design. Instrumentation technical sheets were used that synthesize a comparison between the Geopier System and Vibrocompaction, measuring the indicators of bearing capacity, settlements and liquefaction potential; according to accepted geotechnical engineering manuals and design theories. The results obtained with a replacement area percentage of 3.55% for both systems, indicate that for Geopier Impact and Vibrocompaction, respectively, the bearing capacity increases with respect to the unimproved condition by a percentage of 284.3% and 314.0%; in the case of elastic settlement, they are reduced in the order of 63.3% and 61.9%, similarly post-liquefaction settlements are reduced by 76.3% and 73.6%, and the liquefaction safety factor is increased by 541.5% and 520.2%. In addition to this technical evaluation, through an analysis of costs and execution time, it was determined that the application of Vibrocompaction presents a cost saving of 25,505.08 dollars, and an execution of less than 8 days compared to the Geopier Impact system. Therefore, it is concluded that the physical stabilization systems improve the geotechnical properties and reduce the seismic effect of the sandy soil of the Kalani project for foundation purposes.

Keywords: Geopier Impact, Vibrocompaction, sandy soil, stone columns, rammed aggregate pier.

I. INTRODUCCION

La construcción en suelos arenosos ha presentado retos debido a que son susceptibles a problemas como la licuación generando un riesgo potencial a tener asentamientos altos y pérdida de capacidad portante, como consecuencia de este comportamiento las edificaciones tienen tendencia a daños estructurales como grietas, rajaduras, fallas en elementos o el colapso total. El aumento demográfico e industrias generan que se requieran usar espacios estratégicos para el desarrollo de sus actividades poniéndose frente, en muchas ocasiones suelos no aptos por lo que requieren soluciones optimas, a través del tiempo se han desarrollado nuevos métodos y tecnologías para estabilización de suelo para cumplir la serviciabilidad de las estructuras como es el caso de la construcción del condominio de playa de la presente investigación.

Se analizaron dos alternativas de sistema de estabilización físico que garanticen el cumplimiento de valores admisibles según normatividad, se presenta al Sistema Geopier Impact que es un método patentado por la empresa Geopier Foundation Company, usa un mandril de desplazamiento que nos permite instalar las pilas de grava compactada para reforzar suelos sin la necesidad de una excavación previa. Por otro lado, el sistema Vibrocompactación que penetra el suelo hasta la profundidad requerida mediante un vibrador cilíndrico que utiliza aire comprimido para el deposito del agregado, de esta forma reordena las partículas de suelo y compacta a la vez, dejando instalada la columna de grava.

La presente investigación describe y analiza los criterios de diseño, proceso constructivo, controles de calidad de ambas alternativas propuestas evaluando que se cumplan con los valores admisibles de capacidad portante, asentamiento y potencial de licuación que son fundamental para la ejecución de una estructura en suelo arenoso; teniendo en cuenta ello se toma en consideración los costos y tiempo de ejecución de cada sistema.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Para la construcción efectiva en suelos arenosos es de importancia que se elija el sistema de estabilización que optimice las características del suelo para cumplir con condiciones que garantice la estabilidad de la carga transmitida al suelo sin fallar; el tiempo, costo y calidad de las construcciones son relevantes para las tomas de decisiones en métodos constructivos a emplear.

En los suelos arenosos una constante en la falla de estructuras cimentadas es la susceptibilidad a la licuación, especialmente en zonas de playa donde está ubicada la construcción del condominio Kalani, esto debido a presencia de nivel freático cerca de la superficie; los asentamientos deben ser analizados para elegir un sistema que permita tener valores permisibles, dentro de lo estipulado en la normatividad peruana, así mismo cumplir con la capacidad portante para el soporte de la estructura superior; por ello el uso del Sistema Geopier Impact y/o Vibrocompactación son soluciones que presentan ventajas frente a otros sistemas de estabilización, se basan en tener una cuadrilla reducida, gran trabajabilidad y rendimiento de instalación de unidades, por lo que resultan ser viables para proyectos que demanden aminorar costos y tiempo de ejecución.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿De qué manera los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?

- ¿En cuánto los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?
- ¿En qué magnitud los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?

1.2. Antecedentes

1.2.1. En el ámbito nacional

Huamán (2018), en su investigación titulada “*Mejoramiento del suelo arcilloso utilizando geoestructuras de geopier para una edificación en la avenida Juan Lecaros frente al estadio municipal de Puente Piedra, 2018*”. Tuvo como objetivo de investigación determinar la relación que existe entre en el mejoramiento del suelo arcilloso y las geoestructuras Geopier. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel descriptivo y diseño cuasi experimental, la población de estudio fue el suelo de 5560 m² donde se realizó la construcción del edificio ubicado en la avenida Juan Lecaros en Puente Piedra, tuvo como muestra los materiales extraídos de 6 calicatas ubicadas en los 5560 m² según NTP 339.162 y como muestreo fue de tipo no probabilístico intencional. Debido a que los suelos arcillosos presentan propiedades como la expansión y contracción, las cimentaciones están propensas a tener asentamientos diferenciales, causar fallas y rajaduras en las edificaciones por lo que se opta por mejorar el suelo arcilloso con elementos Geopier-sistema X1, detallando el proceso constructivo y métodos de cálculo. Se realizaron trabajos de campo para recolección de muestras inalteradas para ensayos de laboratorio obteniendo así la clasificación de suelos, límites de Atterberg, ensayo CBR, ensayos de densidad, tuvo como instrumentos fichas de recolección de datos y formato de características del suelo, así como el uso de equipo de casa grande, consolidómetro, cono de arena. Finalmente se compararon los resultados del suelo sin mejorar y mejorado obteniendo un aumento de la capacidad portante de 0.63 kg/cm² a 5 kg/cm² (mediante prueba de módulo de rigidez), el asentamiento reducido

de 8.7 cm a 0.3 cm (resultado de prueba de estabilidad de CST) y la densidad del suelo aumentado de 78% a 95% (método cono de Arena). Se concluyó que las geoestructuras Geopier es influyente al mejoramiento de suelos arcillosos con fines de cimentación de edificaciones optimizando los valores admisibles de capacidad portante, asentamiento y densidad dentro de los rangos indicados en las normas E0.50 y MTC E114.

Plascencia y Obregón (2021), en su investigación titulada *“Propuesta de utilización de un sistema de pilas de grava compactada para el mejoramiento de un suelo arenoso en el distrito de San Juan Bautista”*. Tuvo como objetivo de determinar si utilizando las pilas de grava compactada geopier es óptimo y eficiente para aumentar la capacidad portante con fines de cimentación de un edificio multifamiliar de nueve niveles en el distrito de San Juan Bautista, Loreto. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño cuasi experimental, la población de estudio fue el suelo de 1140 m² donde se construyó el proyecto inmobiliario de 9 pisos en el distrito de San Juan Bautista, tuvo como muestra los materiales extraídos 6 perforaciones de exploración SPT en base a las normas ASTM D 440, NTP-339.133 Y ASTM D1586. Describiendo los sistemas de mejoramiento de suelos que existen y eligiendo como comparativa entre una propuesta inicial de mejoramiento que consiste en un sistema de pilotes de acero rellenos de concreto armado versus el sistema de pilas de grava compactada teniendo en cuenta indicadores como el costo, tiempo y calidad de la construcción de los sistemas, procediendo a realizar investigación geotecnia de la zona de estudio mediante las normas de exploración de calicatas y técnicas de muestreo (ASTM D 440), descripción visual de suelos (ASTM D 2487) y ensayo de penetración estándar SPT (NTP-339.133 – ASTM D 1586), se realizó un estudio de canteras de grava en la región Loreto y zonas aledañas, esto fue requerido para analizar y evaluar que el material seleccionado cumpla con los requerimientos que el sistema patentado exige. Los principales resultados de los análisis del suelo mejorado teniendo fueron un asentamiento máximo de 1.23 cm quedando

dentro de los valores admisibles considerados por el especialista del EMS, la capacidad portante aumento de 0.5 kg/cm^2 a 1.5 kg/cm^2 , se tuvo un ahorro de 1 millón 240 mil soles optando por la construcción de pilas frente al sistema original, el tiempo de ejecución estimado del sistema de mejoramiento se reduce de 105 a 58 días hábiles. Se concluyó que el sistema Geopier permite tener asentamientos por debajo de los permisibles considerados inicialmente por los EMS (2.54cm), se logró un incremento del 300% de la capacidad portante, en el análisis de costo de ejecución el ahorro representa un 55% del presupuesto inicial, y finalmente el tiempo de ejecución es reducido en un 57%.

Falla (2021), en su investigación titulada *“Propuesta de mejoramiento de suelos licuables mediante el uso de columnas de grava en áreas portuarias”*. Tuvo como objetivo de investigación la propuesta de un diseño de ingeniería a base de aplicación de columnas de grava para mejorar el suelo del puerto del callao disminuyendo el potencial de licuación. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño quasi experimental, la población de estudio fue el área destinada para la construcción muelle 5E del puerto del callao, tuvo como muestra los materiales extraídos de los sondajes realizados en tres distintos años que son reflejados en 12 exploraciones SPT. Debido a que los ensayos de exploración son costosos se usó los sondajes de años pasados para la evaluación del potencial de licuación, se compara el análisis de licuación antes y después del mejoramiento esto con la metodología simplificada de Seed&Idriss modificado, la diferencia es evidenciada por la aplicación de un diseño de columnas de grava que permite mitigar el efecto de licuación en el terreno del proyecto de muelle 5E y este se analizó en dos zonas I y II, se menciona que los suelos del puerto del callao son altamente susceptibles debido a que reúne las características que causan la licuación al estar en una zona altamente sísmica, con nivel freático alto debido a la cercanía al mar y ser clasificada como arena satura. El diseño de las columnas de grava se desarrolló mediante la metodología de cálculo de Seed&Booker, una vez obtenido el diseño se

analizó el potencial de licuación en estado mejorado. Los principales resultados obtenidos de la zona I fueron valores de factor de seguridad a la licuación (FSL) pasaron a ser mayores a 1 (1.5 en promedio) y en la zona II de igual forma los valores obtenidos de FSL pasaron a ser mayores a 1 (1.44 en promedio). Se concluyó que los suelos del puerto del callao se debe tomar importancia en el diseño de soluciones para mitigar el potencial de licuación debido a que es altamente licuable, teniendo valores iniciales de FSL de 0.20, y se evidencio que al aplicar columnas de grava se abatió el riesgo de potencial de licuación debido a que los valores de FSL fueron mayores a 1, medidos en dos zonas cada una con estructuras de columnas de grava de dimensiones particulares.

Reyes (2020), en su investigación titulada “*Mejoramiento de suelos granulares mediante el uso de columnas de grava*”. Tuvo como objetivo realizar un comparativo entre la elección de usar suelo mejorado con columnas de grava y el uso de pilotes en suelo sin mejorar, analizando el tipo de suelo donde son aplicables. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño cuasi experimental, la población el suelo arenoso donde se apoya el puente vehicular de 69 metros, tuvo como muestra los sondajes SPT realizados en las huellas de cimentación del puente (2 pilares y 2 estribos) habiéndose realizado 4 ensayos y determinando las propiedades físicas en laboratorio. Determinando las sollicitaciones de carga precedieron a evaluar las condiciones de terreno mejorado, para el caso del aporte de las columnas de grava fueron evaluados por capacidad portante por los métodos Priebe y Edométrico; los diseños que se presentaron de pilotes se basaron en la normativa AASTHO – LRFD 2014. Los principales resultados fueron que se superaron las condiciones de carga, asentamientos menos de 1” y con el aporte de reducir la licuación con un $(FSL > 1.1)$; por otro lado, los costos de las columnas fueron 60% inferiores al uso de pilotes que vendrían representados por \$ 368,529.28 dólares. Se concluyó que la aplicación de los sistemas supera considerablemente los valores permisibles, pero en caso de los pilotes conlleva a que al

transmitirse poco esfuerzo de carga de la superestructura no se aproveche a su máxima capacidad siendo así muy costosa en comparación a las columnas de grava siendo esta la recomendada como decisión final de solución, que además la característica drenante que posee es una gran ventaja para eliminar el fenómeno de licuación.

Poves (2017), en su investigación titulada *“Influencia de las columnas de grava compactada en el asentamiento de suelos blandos, sector de Palian”*. Tuvo como objetivo determinar el aporte y factor de reducción de asentamientos al agregar grava compactada a suelos cohesivos comparando lo que se obtuvo con tres diámetros diferentes y elegir la relación de área de reemplazo grava suelo que de mejores resultados. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel descriptivo y diseño experimental, la población de estudio fueron los suelos cohesivos de la zona de Palian, Huancayo aplicado a un proyecto de 408 m² (11 pisos), tuvo como muestra el suelo obtenido de 3 calicatas realizadas (cada una de 3 metros). Las muestras fueron llevadas a laboratorio para su identificación de los parámetros de entrada del suelo cohesivo en estado sin mejoramiento, para la representación de la consolidación se usó un molde representativo (cédula edométrica) de 12 cm de diámetro y 4.8 cm de altura, en la que se representaron suelos mejorados de 2,4; 3 y 4m con utilización de 1m de columna de grava, el molde fue cargado por pesos para inducir esfuerzos progresivos con una duración del ensayo de 10 días. Los principales resultados a partir de la obtención de los coeficientes de consolidación hasta esfuerzos de 5.56 kg/cm² fueron los factores de reducción de asentamiento que fueron 0.56; 0.72;0.80 respectivamente y con esto un diseño de columnas separadas a 2.30 m con un análisis de costos de S/. 109.21 por metro instalado. Se concluyó que el dimensionamiento que presenta 2.4 m es la decisión óptima debido a que su factor de reducción es más alto (0.565) y que en la aplicación del proyecto mencionado llega a tener 3.49 cm considerado correcto y el menor de los tres ensayados.

1.2.2. En el ámbito internacional

Trejos (2020), en su investigación titulada “Diseño de cuatro soluciones geotécnicas: mejoramiento de un terreno licuable mediante columnas de grava compactada, estabilización de un talud mediante suelo cosido, diseño de pilotes apoyados en rocas blandas y mejoramiento de un terreno licuable mediante compactación dinámica”. Tuvo como objetivo establecer una alternativa de estabilización de suelo arenoso para un aumento de capacidad portante y tener asentamientos admisibles utilizando pilas de grava compactado siguiendo los manuales proporcionado por la patente Geopier, comprobando los valores con el código de cimentaciones de Costa Rica y la elaboración del expediente técnico (planos, especificaciones, presupuesto). Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño cuasi experimental, la población de estudio fue el suelo arenoso de 1250 m² para cimentar la torre de apartamentos de 15 pisos, ubicado en Puntarenas en Costa Rica, tuvo como muestra los materiales extraídos de 2 perforaciones de exploración de penetración estándar SPT. Para la exploración y conocimiento de parámetros mecánicos del suelo de estudio se realizó ensayo de penetración estándar, a su vez calculó las cargas gravitacionales estáticas y dinámicas que serán transferidas como presión al suelo. Se describió el procedimiento de diseño de elementos Geopier para el aumento de capacidad portante, asentamientos y el aporte a la reducción del potencial de licuación. Los cálculos fueron realizados en el software Slide para los cálculos antes fallas estáticas y dinámicas para condiciones de suelo mejorado y sin mejorar; entregando como resultado el plano de construcción detallando espaciamiento, diámetro y longitud de pilas. Los principales resultados fueron que se obtuvieron factores de seguridad de capacidad portante para condiciones de suelo mejorado son de 3.4 y 2.6 en condición de carga estática y carga estática más dinámica respectivamente. Los asentamientos obtenidos en condición de suelo sin mejoramiento oscilaron entre 5 a 7 cm, por otro lado, el suelo en condición mejorada reflejo asentamiento de 4 cm. La inclusión de pilas de agregado

evidenció el aumento del valor N_{spt} a 15 de esta forma logrando aumentar el factor $N1(60)$ por encima de 25. Se concluyó que la capacidad portante supera satisfactoriamente el factor de seguridad según lo estipulado en el código de cimentaciones de Costa Rica (CCCR) que indican valores de 3.0 y 2.0 para cargas estáticas y dinámicas respectivamente estando por encima un 13% y 30% según lo normado, en cuanto a los asentamientos al incluir las pilas de grava presentaron una reducción del valor de asentamiento respecto a su condición sin mejorar y estando por debajo del rango permitido según el CCCR (5 a 10 cm). la utilización de pilas en el proyecto reflejo que el estrato cumple con valores de $N1(60)$ mayores a 25 de esta manera logrando que no sea susceptible a licuación.

Bello (2013), en su investigación titulada *“Primera experiencia colombiana en construcción de pilas de agregado compacto - Geopier Impact - en un proyecto de vivienda de interés social”*. Tuvo como objetivo analizar la tecnología de pilas de agregado compactado dando seguimiento al proyecto de vivienda antes y después de la aplicación del sistema Geopier de esta forma brindar y hacer de conocimiento a los especialistas geotécnicos colombianos; identificando los parámetros de diseño de pilas compactado en cantidad, espaciamiento, longitud. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño cuasi experimental, la población de estudio fue el suelo de 3247.16 m² donde se realizó la construcción de viviendas sociales de 12 niveles distribuidos en 14 bloques, tuvo como muestra los materiales extraídos captados por tubos shelby habiéndose realizado 17 perforaciones. Los instrumentos empleados fueron el método de exploración por percusión y en el ensayo de penetración estándar para la parametrización de las propiedades geotécnicas obteniendo un estrato identificado como suelos arenosos limosos. Se precisó en el desarrollo del diseño de los elementos Geopier bajo la patente metodológica para cálculo de capacidad portante y control de asentamiento. Se comparó con alternativas similares que fueron cimentación con pilotes pre-excavados y cimentación sistema placa – pilotes comparando las

ventajas y desventajas de cada opción en aspectos técnicos, constructivas, ambientales, económicas y recursos. Los principales resultados fueron que la capacidad portante obtenida por diseño de pilas de grava compactada ascendió a valores de 13.33 Tn/m² y los asentamientos fueron bajos con un valor de 5.9 y 5.2 cm. Se llegó a la conclusión que el uso de pilas de agregado compactado responde a una expectativa mayor de los métodos comunes, teniendo principalmente un aumento en la capacidad portante y al someterse al ensayo de carga estática se verificó que llegó a un 150% de su valor de diseño, se obtuvo un menor valor de asentamiento a comparación del uso de método que incluyan pilotes, a su vez la solución Geopier Impact reflejó ser la mejor opción al ser una alternativa que demanda poco material de recursos, menos tiempos de ejecución por día, limpieza y orden al trabajar en obra, siendo aplicable a distintos tipos de estructuras.

Ebensperger-Cañete et al. (2015), en su investigación titulada *“Uso de pilas de agregado compactado Geopier para apoyar un edificio habitacional en Concepción, Chile”*. Tuvo como objetivo exponer el uso de pilas de grava compactada siguiendo los lineamientos de la patente Geopier para el diseño y las ventajas frente a métodos tradicionales, resaltando el proyecto edificio Monet donde fue el primer uso del sistema en Chile. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño cuasi experimental, la población de estudio fue el suelo limoso de 950 m² donde se ejecutó la construcción del edificio multifamiliar ubicado en la ciudad de Concepción en Chile, tuvo como muestras los materiales extraídos del sondaje de exploración de penetración estándar SPT. Se detalló el que mediante el diagrama de presiones de las cargas en condición estática y dinámica se consideraban con la necesidad de cimentar estructuras de pilotes de dimensiones considerables llevando a cabo el análisis de una solución novedosa como el sistema Geopier, que mediante la exploración SPT se precisó la existencia de limos blandos y arena limosa con un nivel freático a una profundidad de 3.6m. Utilizando el diseño patentado Geopier se detalló

el procedimiento de cálculo de capacidad portante y control de asentamientos, así mismo al presentar nivel freático usando el método simplificado de Seed e Idriss se analizó el potencial de licuación y la influencia que tiene las pilas de grava para mitigarlo. Los principales resultados fueron que la capacidad portante admisible de 240 KN/m², con una ratio de 8.33 de las rigideces de las pilas de grava compactado y el suelo matriz. Mediante el diseño se previó obtener asentamientos menores de 2.54 cm resultando los espaciamientos máximos de 2m, un diámetro de 0.76 m y una longitud de 4.85m, a su vez estas dimensionan lograron que el factor de seguridad ante el potencial de licuación supere la unidad (>1), mitigando el efecto. Se concluyó que las pilas de grava utilizadas respondieron correctamente a la expectativa de rigidez medidos mediante el ensayo de módulo de rigidez, así mismo el uso de las geoestructuras no dañaron las construcciones adyacentes, para suelos de limos blandos y arena limosa la instalación de estructuras Geopier influyeron eficazmente a reducir el potencial de licuación y controlando asentamientos menores a 2.54cm, demostrando así ser una excelente alternativa técnica – económica frente a otros métodos.

Núñez (2017), en su investigación titulada “*Control de asentamiento en terraplenes construidos sobre suelo fino por medio de métodos de mejoramiento de suelos basados en vibro-sustitución*”. Tuvo como objetivo de investigación determinar la influencia del uso de columnas de grava en terraplenes midiendo la relación que tienen los parámetros de diseño geométrico y características de la grava a utilizar que será combinado con el suelo fino todo a fin de reducir los asentamientos. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y diseño experimental, la población de estudio fueron los suelos arcillosos que soportaran terraplenes de arena idealizados teóricamente, tuvo como muestra los suelos de consistencia blanda que serán mejorados con columnas de grava con ángulo de fricción de 35 y 45°. Estableciendo el terraplén se tomaron dos análisis de métodos simplificados en suelos de consistencia desde blanda a firme que fueron calculados por Priebe

y FHWA, se midió la mejora del uso de columnas de grava en relación % de reemplazo obteniendo cociente de mejoramiento; por otro lado, se analizó mediante el software GeoStudio en suelos de consistencia blanda considerando % de reemplazo que van desde los 5.7 a 18.4 y ser comparados con lo obtenido por los métodos simplificados. Los principales resultados fueron que se obtuvieron razones del asentamiento mejorado y asentamiento no mejorado más óptimos por parte del análisis numérico llegando a razón de 0.25 hasta 0.05 gradualmente al incremento del % de reemplazo, esto se traduce a asentamientos 5cm de mejora, en cuanto a los métodos Priebe y FHWA desde 0.71 hasta 0.80. Se concluyó que los métodos de cálculo más conservadores son los aplicados por Priebe y FHWA a diferencia del analizado en GeoStudio, respecto al cálculo por Priebe evidencia ser un análisis más detallado que brinda más información de parámetros aceptado para el cálculo de columnas de grava de forma más precisa y confiable.

Anusch (2017), en su investigación titulada “*Comportamiento sísmico de taludes sobre suelos potencialmente licuables mejorados mediante columnas de grava*”. Tuvo como objetivo de la investigación como influye el uso de columnas de grava para mitigar la licuación de suelos en obras que requieran la construcción de taludes, determinando la relación de mejora que se presenta al considerar progresivamente un aumento de área de remplazo así también tener un mejor control de los desplazamientos laterales. Fue un estudio de tipo aplicada por propósito y cuantitativo por enfoque, de nivel explicativo y experimental, tuvo como población los suelos arenosos blandos con susceptibilidad a licuarse que soportaran la construcción de terraplenes, la muestra fueron los modelos de suelos considerados que se les aplico un área de reemplazo de 5;12.5 y 20 % para inferir el valor de aporte a las condiciones mecánicas del suelo inicial considerando estos valores N de 5,1,15 y 20. Para el desarrollo de sus hipótesis planteadas consideraron en definir la geometría y las condiciones iniciales del suelo (parámetros geotécnicos) con lo que se fueron combinados con los parámetros sísmicos y de esa forma

evaluaron el potencial de licuación, estos datos fueron ingresados al software GeoStudio 2012 para sismos de 7.5; 8 y 8.5 grados de magnitud, determinando así los factores de seguridad según cada caso desarrollado. Los principales resultados fueron que ante una consideración de área de reemplazo de 5% y el valor N a cualquier magnitud no se logró superar el $FS > 1$, por otro lado, respecto al valor 12.5 % es donde a partir del valor $N=10$ empieza a tener un $FS=1.059$ eliminando así el potencial de licuación. Se concluyó que para definir un correcto sistema de mejoramiento influye de forma importante los parámetros sísmicos de entrada a considerar y que no resulta viable el uso de un 5% de área de reemplazo debido a que ocurrirá la licuación para el modelo elaborado de terraplén de 5 m de altura con 50% de pendiente siendo apoyados en un suelo arenoso licuable, en todos los demás porcentajes superan la unidad ($FS > 1$).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Calcular de qué manera los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular en qué medida los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.
- Determinar en cuánto los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.
- Evaluar en qué magnitud los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

La investigación detalla las teorías en que se basan los diseños de los sistemas de solución del sistema Geopier Impact y/o Vibrocompactación. Para el diseño del sistema Impact se rigen bajo los apartados pertenecientes al manual patentado de la empresa estadounidense Geopier Foundation Company y para el caso de la Vibrocompactación se reúne teorías aceptadas de cálculo por la mecánica de suelos para columnas de grava como el método Priebe, teoría de la elasticidad para asentamientos. En ambos casos el análisis de potencial de licuación mide el factor de seguridad y se realiza por medio del método de Seed&Idriss, se tiene conocimiento que si $FSL > 1$ no ocurrirá licuación.

1.4.2. Justificación practica

Es conveniente realizar la investigación porque se desarrollan dos sistemas (Impact y Vibrocompactación) que son aplicables a suelos arenosos de compacidad suelta a media, y con los resultados obtenidos serán comparados técnicamente los valores de mejora en capacidad portante, asentamientos y potencial de licuación de suelos, de esta forma tener conocimiento de la mejora que contribuye cada solución al suelo arenoso, y aportar detallando los métodos de diseño, enfocando la decisión de uso en cuanto a costo beneficio, de esta forma incentivar la investigación y aplicación de estos sistemas en proyectos futuros de similar condición de suelos.

1.4.3. Justificación económica

Los proyectos de construcción requieren que las soluciones elegidas cumplan con 3 puntos principales tiempo, costo y calidad por lo que la utilización de un sistema de estabilización como lo son el sistema Geopier Impact y/o Vibrocompactación son aplicados en un área mínima respecto al área total de cimentación superficial de esta forma generando ahorro en materiales, mano de obra y maquinaria a utilizar; por ende se evita cimentar

convencionalmente eludiendo así grandes dimensiones y profundidades de cimentación que lo único que generaría sería un incremento en el trabajo a realizar, consecuentemente aumentaría el tiempo y costo de construcción.

1.4.4. Justificación social

La investigación tiene como beneficiarios directos a los usuarios de las casas del condominio Kalani y de manera indirecta a la población del distrito de San Antonio de Cañete que amplía su red de comercio y abastecimiento a la nueva construcción. Las aplicabilidades de estos sistemas no comprometen el medio ambiente por lo que es seguro que no surgirán consecuencias adversas. Existen muchos terrenos de arena de playa que serán considerados para ser estabilizados por estos sistemas y futuros usuarios sean los benefactores.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.

1.5.2. Hipótesis específica

- Los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.
- Los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.
- Los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Mejoramiento de Suelo*

El mejoramiento de suelos consiste en dotar de resistencia mecánica y la persistencia de estas propiedades a lo largo del tiempo, para que podamos aprovechar mejor sus cualidades y obtener superficies más estables para soportar las condiciones climáticas y de carga más severas.

Los métodos de mejoramiento de suelos en la construcción antigua eran empíricos, en la actualidad los conocimientos referentes a estos campos están demostrados por estudios científicos comprobados a través de la experimentación, por lo que se han desarrollado distintos tipos de estabilizaciones y se utilizan los métodos según el tipo de suelo a estabilizar, experiencia en entornos similares y disponibilidad de equipos y materiales.

2.1.1.1. Tipos de mejoramiento

A. *Mejoramiento físico.* Este método se utiliza para mejorar el suelo mediante la creación de cambios físicos, esto se logra con la incorporación de material finos o granulares, o los dos en conjunto cambiando su composición granulométrica y de esta forma aumentar las propiedades de ingeniería del suelo. Se pueden mencionar las siguientes estabilizaciones físicas como lo son las mezclas de suelo, sustitución de suelos, uso de geosintéticos, vibroflotación, pilotes, columnas de agregado.

B. *Mejoramiento químico.* Este mejoramiento consiste en usar aditivos químicos que al ser combinados con las partículas de suelo estas adquieren aumentos en sus propiedades mecánicas. En el caso de suelos arcillosos el uso de químicos ayuda a controlar las expansiones y contracciones que son consecuencia de la variabilidad de la presencia de agua. Son usados el cemento, cal, cenizas volantes como aditivos.

C. Mejoramiento mecánico. Este método de mejoramiento usa la fuerza mecánica aplicada por maquinaria o energías externas para la densificación de los suelos que en estado natural presentan una composición de poca resistencia. Se pueden mencionar los siguientes mejoramientos mecánicos como voladura o blasting, compactación dinámica, pre-compresión, impacto.

2.1.1.2 Exploración de campo. El reconocimiento de campo involucra la observación de las condiciones que refleja la superficie del suelo a cimentar, el profesional competente evalúa según la envergadura y complejidad de la obra, y determina el tipo y número de exploraciones a realizar para conocer el perfil estratigráfico de donde se extraerán muestras para su análisis en laboratorio y saber las propiedades geotécnicas.

Tabla 1

Número de puntos de exploración

Tipo de edificación u Obra	Cantidad de puntos de exploración
I	Se realiza un punto por cada 225 m ² de área techada del primer nivel
II	Se realiza un punto por cada 450 m ² de área techada del primer nivel
Habilitaciones Urbanas de hasta 3 pisos	Se realiza tres puntos por cada hectárea de terreno

Fuente: Adaptado de tabla de *número de puntos de exploración* (p.23), Norma E050, 2018, RNE.

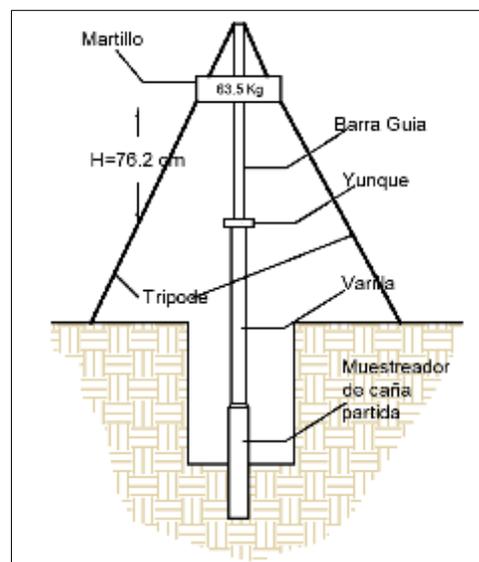
A. Pozos o Calicatas. Son excavaciones manuales o con equipo menor de mayor facilidad para el reconocimiento de los estratos del suelo en estudio, frecuentemente suele ser

de poca profundidad y de una sección de 1m x 1m, su excavación debe realizarse de forma escalonada de acuerdo que vaya apareciendo nuevos estratos al descender. Son realizados en base a la NTP.339.162.

B. Ensayo de penetración estándar. Este tipo de exploración consta en la perforación con la utilización de equipos apoyados en un trípode, que al llegar a la profundidad elegida se introduce un muestreador de caña partida que será hincado al suelo a través de golpes por un martillo que transmite el impacto al chocar con el yunque mediante una elevación de 76.2 cm y soltado a caída libre, se determina la resistencia a la penetración estándar (N) contabilizando los golpes para penetrar 3 capas de 6 in (15cm), se descarta la primera capa que es considerada como un acomodo de hincado y se toma los golpes obtenidos en los dos tramos de 6 in (15 cm), obteniendo así el valor N.

Figura 1

Partes del sondaje SPT

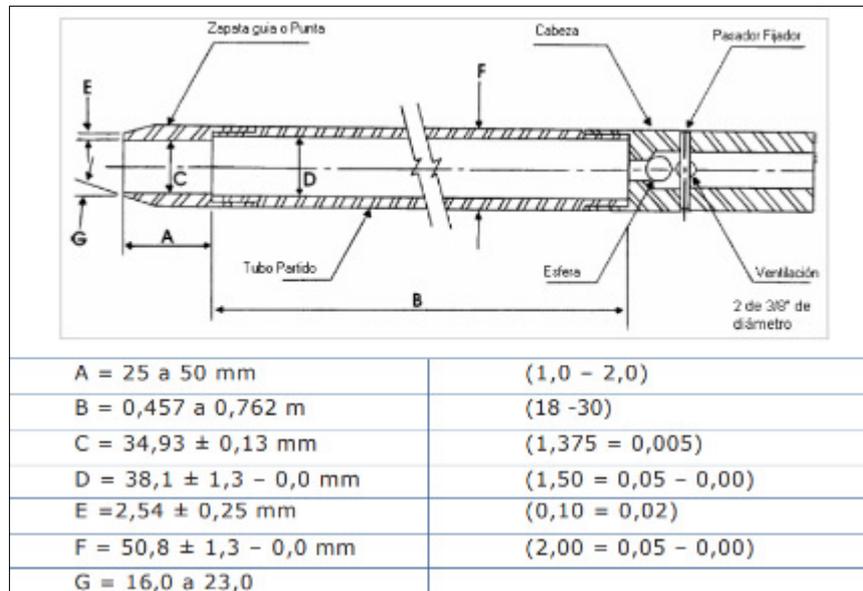


Nota. El martillo se ensambla a una polea mediante una soga y esta es levantada por acción de un malacate. Fuente: Elaboración propia archivo dwg.

Para la obtención de la muestra en la caña partida, esta debe cumplir con las dimensiones según lo estandarizado internacionalmente por la ASTM D1586.

Figura 2

Dimensiones de muestreador caña partida



Fuente: Tomado de *Muestreador de tubo partido*, Manual de ensayos de materiales, 2016, MTC.

C. Nivel freático. Es la profundidad donde se encuentra la presencia de agua, esta es medida desde el nivel de terreno natural o el nivel de piso terminado, su existencia es una causa de reducción de rendimientos de las operaciones de excavación, así como reducir el comportamiento mecánico del suelo.

2.1.1.3. Ensayos de laboratorio.

A. Análisis granulométrico por tamizado. Es el ensayo que nos permite conocer los tamaños de cada partícula que componen el suelo, estos tienen que pasar por tamices que son mallas con una abertura normalizada para su identificación, la muestra que pasa debe ser seca

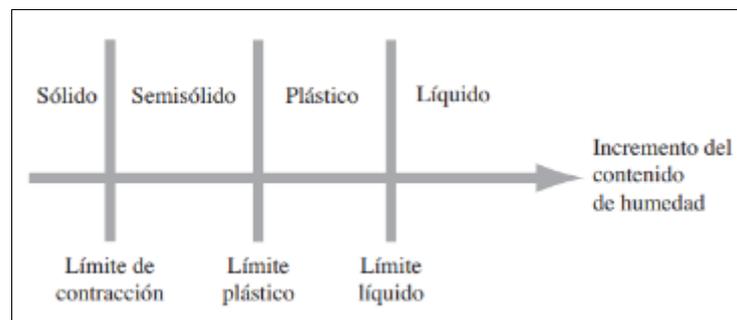
y anotar el porcentaje acumulado que pasa que identifica la distribución representativa de la presencia de gravas, arenas y finos en un suelo.

B. Contenido de humedad. Es la relación expresada en porcentaje que representa el peso del agua respecto al peso de los sólidos, para la cuantificación del peso del agua del suelo en estado natural esta debe ser secada al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, la diferencia de pesos será la cantidad de agua perdida.

C. Límites de consistencia. Vienen a ser representados por los contenidos de humedad que logran la transición de un estado del suelo a otro, esto por la presencia de suelos finos que al combinarse con el agua y variar su cantidad pueden tener consistencias solidas hasta fluidas.

Figura 3

Límites de consistencia



Fuente: Tomado de *Límites de Atterberg*, Braja M. Das, 2015, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

D. Contenido de finos. Según tamaño los suelos son clasificados como suelos granulares y suelos finos (limos y arcillas), distintas organizaciones han parametrizado los valores de cada partícula para su clasificación, universalmente aceptadas son el sistema AASHTO y SUCS.

Tabla 2

Sistemas de clasificación de tamaño de partícula de suelo

Organización	Tamaño de la partícula (mm) – Tamiz normalizado			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
AASHTO (American Association of Standard Highways and Transportation Officials)	76,2 – 2,00 (3” – N° 10)	2,00 – 0,075 (N° 10 - N° 200)	0,075 – 0,002 (N° 200 <)	<0,002
SUCS (Sistema Unificado de clasificación de suelos)	76,2 – 4,75 (3” – N° 4)	4,75 – 0,075 (N° 4 – N° 200)	Finos (Limos y Arcillas < 0,075)	

Fuente: Adaptado de *Límites de separación de tamaño de suelo*, Braja M. Das, 2015, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

E. Clasificación SUCS. Es el sistema que es utilizado para las obras con fines de ingeniería, a diferencia del AASHTO que su clasificación que su uso es a vías de transporte. El sistema unificado esta normado por la ASTM D2487 en la que presenta el procedimiento y símbolos para su identificación del suelo explorado.

Figura 4

Simbología de grupo SUCS

		Ingles		Español
G	➔	Gravel	➔	Grava
S	➔	Sand	➔	Arena
M	➔	Silt	➔	Limo
C	➔	Clay	➔	Arcilla
O	➔	Organic	➔	Limos organicos y arcillas
Pt	➔	Peat	➔	Turba y suelos organicos
H	➔	High	➔	Alta plasticidad
L	➔	Low	➔	Baja plasticidad
W	➔	Well	➔	Bien gradado
P	➔	Poor	➔	Mal grado

Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Sistema de Cimentación

Las cimentaciones son las estructuras de que tienen contacto con el terreno y cumplen la función de distribuir uniformemente la carga de la estructura superior, deben contar con dimensiones adecuadas que garanticen estabilidad, y que no sobre esfuercen el suelo que de ser así podrían afectarse por fallas por corte y asentamientos fuera del rango permisible, según su profundidad son superficiales y profundas.

2.1.2.1. Condiciones de cimentación. Las cimentaciones deberán cumplir con valores admisibles y serán hallados mediante los cálculos universales de la ingeniería geotécnica.

A. Capacidad de carga (q_u). Se calcula la capacidad última de carga (q_u) que de ser alcanzada ocurre falla por corte, mediante las formulas convencionales universales (Terzhagi; Meyerhof).

B. Asentamientos. Las cargas aplicadas a los suelos a través de los cimientos provocan un descenso respecto al nivel original del fondo de cimentación, las estructuras se diseñan para tener un asentamiento máximo que no comprometan a fallas o sobre esfuerzos.

C. Factor de seguridad por corte (FS). Es el valor (FS) que reduce el valor de q_u , con el fin de dar seguridad al diseño.

Tabla 3

Valores FS mínimos

Cargas	Valores FS
Estáticas	3.00
Dinámico	2.50

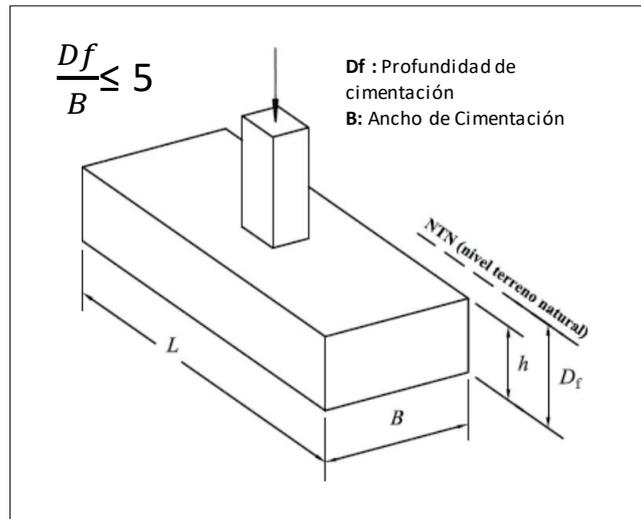
Fuente: Adaptado de norma E.050, 2018, RNE.

D. Presión admisible (q_{adm}). Se obtiene de la división entre el q_u y el FS, o también se considera que el q_{adm} no debe generar asentamientos mayores a los permitidos, por lo tanto, se escoge el menor valor.

2.1.2.2. Cimentaciones superficiales. Son los tipos de estructuras que se cimientan a poca profundidad, tiene como regla que el cociente entre su profundidad y su ancho de cimentación son valores menores o igual a 5, estos tipos son usados en proyectos no tan complejos con poca altitud y que su peso no compromete a grandes asentamientos o fallas por corte del suelo.

Figura 5

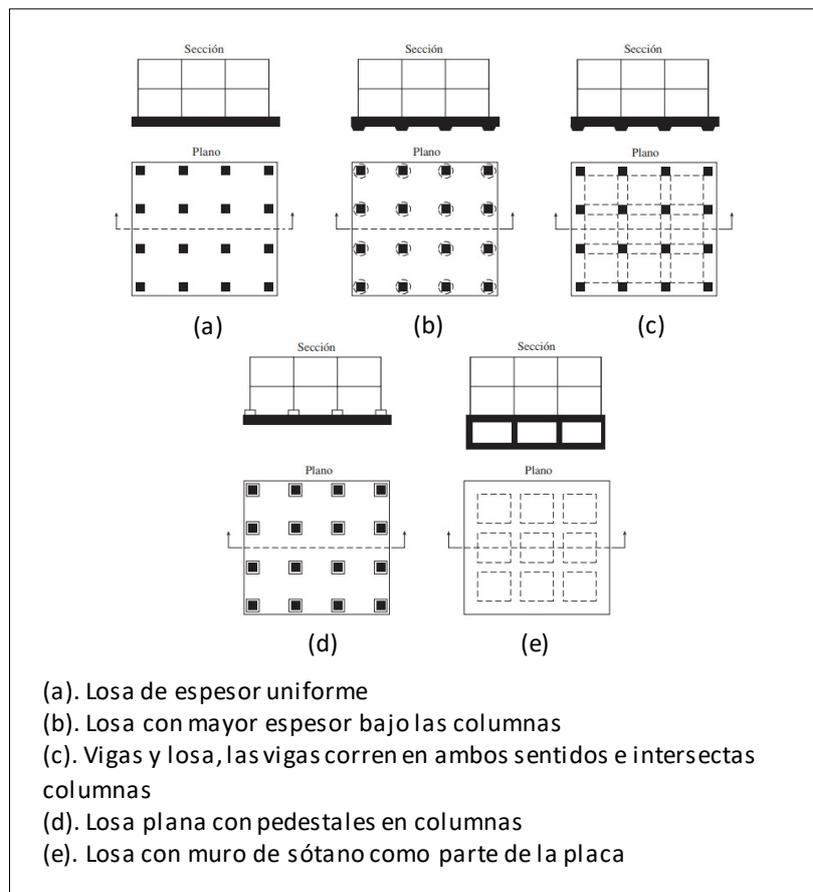
Dimensiones de cimentación superficial



Fuente: Adaptado de norma E.050, 2018, RNE.

A. Tipos de cimentaciones superficiales. Pueden ser de tipo zapatas aisladas pudiendo variar su forma según la dimensión de sus lados (cuadradas, rectangulares, circulares), las uniones de dos zapatas son conectadas, al requerir un vaciado continuo estas por recibir muros portantes son llamadas zapatas corridas, al presentarse sobre carga y se requiere distribuir mejor el peso para evitar asentamientos o falla por corte se usan losas de cimentación o también llamados plateas.

B. Losa de cimentación. Das (2015) son un tipo de cimentación monolítica que abarca gran extensión esto debido a que de esa forma las cargas de la estructura disminuirán su presión por unidad de área, esto ayuda mucho a suelos de naturaleza de baja capacidad portante, se conectan las mallas de los aceros de la losa con los elementos verticales que en ella descansan. Suelen ocupar mayor área que la cantidad de área techada del primer nivel de la estructura.

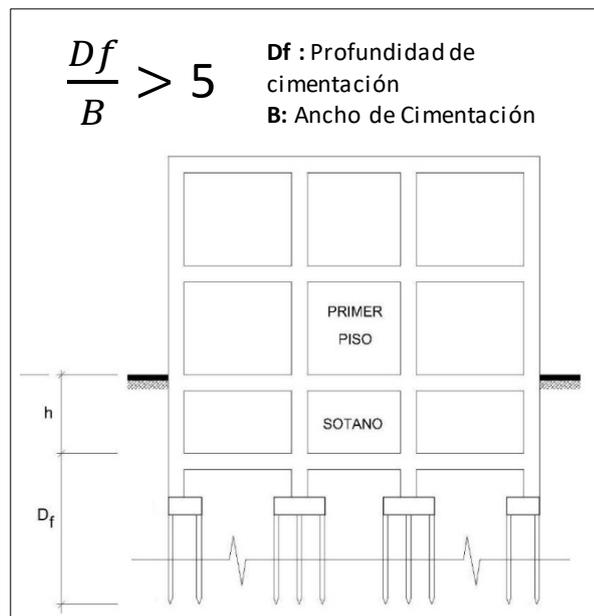
Figura 6*Tipos de losa de cimentación*

Fuente: Adaptado de *Tipos comunes de losas de cimentación*, Braja M. Das, 2015, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

2.1.2.3. Cimentaciones profundas. Son requeridos cuando surge la necesidad de profundizar debido a que las capas superficiales son muy compresibles o presentan asentamientos fuera de lo admisible, este tipo de cimentación es sugerido para estructuras con condiciones especiales como arcillosos (causando expansión y contracción), licuación de suelos al existir presencia del nivel freático. El cociente entre su profundidad y su ancho de cimentación son mayores a 5. También frecuentemente su uso es para apoyar en un suelo rocoso o suelo firme cuando este es identificado a una profundidad prudente.

Figura 7

Dimensiones de cimentación profunda

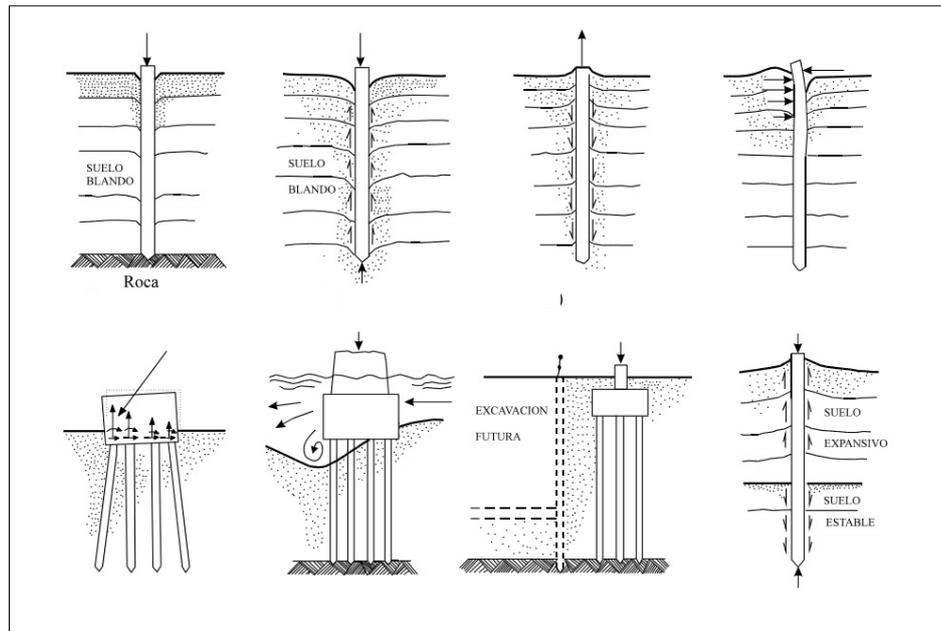


Fuente: Adaptado de norma E.050, 2018, RNE.

A. Tipos de cimentaciones profundas. Tipos de estas cimentaciones se encuentran los pilotes que llegan a altas profundidades al igual que los pilares, se distinguen entre sí por la dimensión de sus diámetros siendo estos menor o igual a 90 cm, y mayor que 90 cm respectivamente. También se encuentran los micropilotes que tienen diámetros de hasta 30 cm y su composición es con un núcleo de barra de acero y cubierto de material cementante, se tienen otras soluciones más como los cajones de cimentación (sobre compensados), muros pantalla.

Figura 8

Pilotes instalados en condiciones de suelo



Fuente: Tomado de *Casos donde pueden necesitarse pilotes*, Jorge E. Alva, 2007, Diseño de cimentaciones.

2.1.3. Sistema de Estabilización

Estos surgen ante la adversidad que presentan los suelos para soportar las cargas de las construcciones, siempre se hará de conocimiento las propiedades geotecnicas, el tipo de suelo con su respectiva clasificación y según criterio de los diseñadores saber que se requerirá mejorar para que pueda cumplir con el objetivo de soportar las estructuras que ellos se apoyaran, a la actualidad se han presentan variedad de sistemas que mejoran el suelo, por lo que se presenta en mención alguna de ellas.

Figura 9

Tipos de estabilización y su aplicabilidad al suelo

Técnica o tratamiento	Suelo		Tipo de Mejora			Profundidad eficaz del tipo de estabilización
	Granular	Cohesivo	Capacidad portante	Deformabilidad	Permeabilidad	
Sustitucion del terreno	Cualquier suelo problemático (suelos blandos, arcillas expansivas, suelos colapsables)		SI	SI	SI	Moderada (normalmente menos de 3m)
compactacion con rodillo	Cualquier terreno no saturado		SI	SI	NO	Pequeña (normalmente menos de 1m)
precargas	SI	SI	SI	SI	NO	Hasta varias decenas de metros
mechas drenantes	NO	SI	NO	NO	SI	Hasta varias decenas de metros
compactacion dinamica	Cualquier tipo		SI	SI	NO	varia entre 7 y 12 m, aproximadamente
Jet Grouting	Cualquier tipo		SI	SI	Algo	Normalmente menos de 20 m
Columnas de grava	Cualquier tipo de suelo blando		SI	SI	SI	Normalmente menos de 20 m
Vibración profunda	SI Vibroflotacion	SI Vibrosustitución	SI	SI	NO	Normalmente hasta 15 m de profundidad

Fuente: Adaptado de *Campo de aplicación de las principales técnicas de mejora del terreno*, Alonso Pollán, 2014, Tesis doctoral.

2.1.3.1. Vibroflotación. Este tipo de técnica requiere del uso de un vibroflot que genera una fuerza vibratoria que lograr densificar suelos blandos poco cohesivos, la aplicación es sugerida en suelos que presenten menos del 15% de finos. Consta en el comportamiento que se presenta al exponer a los suelos granulares a un vibrado permanente, esta acción genera que las partículas se reacomoden densificándose de esta forma al introducir el vibroflot por capas de 30 cm. Se requiere en ocasiones el lanzamiento de chorros de agua para la facilidad del ingreso al terreno del vibroflot hasta la profundidad requerida.

2.1.3.2. Compactación dinámica. Es un procedimiento que densifica los suelos a través de una energía externa de impacto, esto se consigue soltando una masa de concreto

armado reduciendo los vacíos y de esta forma mejora la capacidad portante y teniendo un mejor control de asentamientos, es importante que para su aplicabilidad no se presenten suelos saturados. La masa soltada oscila entre las 10 a 15 Tn y la altura desde la que son soltadas varían desde los 2m hasta 20m según el requerimiento de densificación, se requiere de una grúa sobre orugas unidas con tensores que son los que cargan la masa. Cuando se termina los puntos de compactación pueden quedar cavidades desde 1m a 2m por lo que se requerirá un relleno controlado.

2.1.3.3. Precargas. Se basa en simular mediante la conformación de un relleno temporal, la carga que transmitirán las estructuras hacia el suelo que lo soportará, esto con la finalidad de que mediante la presión puedan densificarse los suelos y genere asentamientos que surgirían en tiempo de serviciabilidad. En primera instancia la sobrecarga genera un asentamiento inicial y cuando esta sea retirada se procederá a la construcción de la estructura que teóricamente consta como una carga puesta nuevamente, por la primera carga aplicada en forma de relleno la nueva carga genera asentamientos mínimos o la ausencia de estos. Su aplicación es considerada de bajo costo porque se utiliza maquinaria de movimiento de tierras y el material de precarga puede ser utilizado para otras sobrecargas o como relleno en algún punto requerido.

2.1.3.4. Jet Grouting. Es un sistema que consiste en inyectar a una presión alta lechadas cementantes para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, se debe introducir el inyector fracturando el suelo y de esa forma depositando radialmente las lechadas construyendo así columnas de suelo reforzado, los sistemas de inyección de fluido pueden ser simple, doble o triple (esto implica el uso de aire comprimido, agua, lechada) mientras más presión se genere, más podrá fracturarse el suelo. Este sistema es aplicado a suelos arenosos medianamente denso o suelos cohesivos blandos, como también ser utilizado para generar capas impermeables.

2.1.3.5. Columnas de grava. Su aplicabilidad es en arenas y suelos cohesivos blandos, el tipo de instalación pueden ser por sustitución de suelos mediante un perforado previo o el uso de hincadores que son penetrados mientras se instalan las columnas y se va retirando mientras se va compactado las gravas. Estos sistemas has estado evolucionando técnicamente su construcción como también el análisis de cálculos del aporte a un suelo natural.

En la presente investigación se enfoca en la comparación del sistema Geopier Impact y Vibrocompactación que serán detallados en los apartados siguientes, cada cual con sus particularidades y aportes de propiedades mecánicas.

2.1.4. Sistema Geopier

Son sistemas patentados por la empresa estadounidense Geopier Foundation Company que tiene como base el uso de agregado compactado, la patente propone un tipo de cimentación intermedia sin la necesidad de llegar a grandes profundidades de cimentación en comparación frente a otras soluciones, estos ayudan a aumentar significativamente el capacidad portante, y disminuir notablemente los asentamientos, a su vez la densificación en combinación con el suelo matriz logra que el efecto de licuación se vea mitigado o hasta eliminado, mejorando así los suelos. Sus diseños se fundamentan en el manual Geopier de reforzamiento de suelos.

2.1.4.1. Tipos de sistema Geopier. Según la aplicación estas se clasificación de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4

Tipos de sistemas Geopier

Sistemas Geopier			
Pilas de agregado compactado		Densificación de arenas	Inclusiones de concreto
Sustitución	Desplazamiento	Desplazamiento	Desplazamiento

GP3	IMPACT		
	X1	DENSIPACT	GCC

Nota. El sistema X1 es una combinación de las metodologías GP3 e Impact, se considera que es un híbrido de método susti-desplazamiento. Adaptado de *Intermediate Foundation solutions*, Geopier, 2016, Geopier Foundation.

A. Pilas de agregado compactado. Es la solución que usa material agregado que es compactado mediante una fuerza mecánica ejercida por maquinaria hasta llegar a la profundidad de diseño, estos pueden ser por sustitución (GP3) o desplazamiento (Impact), en el caso de la sustitución se realiza un excavado previo y eliminación del suelo no competente para proceder con el llenado de agregado y ser compactado por capas de 0.30m.

B. Densificación de arenas. Este sistema es aplicado a suelos sueltos que usa una herramienta multidentada que ejercerá presión a través de una maquinaria de apisonamiento que desplazara los suelos densificándola mediante el desplazamiento, al retirar la herramienta esta deja una cavidad hueca que tiene que ser rellenada con arenas o gravas de diámetro muy pequeño, repitiendo el proceso hasta llegar a la cota de excavación se dará como finalizado el mejoramiento de suelo. Este mecanismo es por desplazamiento (sistema Densipact).

C. Inclusiones de concreto. Las inclusiones de concreto mantienen la estructura de apisonamiento del elemento de cimentación con la diferencia que solo en la base se realiza una compactación de 3 capas de concreto que resultaran en un bulbo ancho, luego de ellos se verterá en la cavidad el concreto quedando apoyadas en los bulbos, este método es por desplazamiento el mandril apisonado estará conectado a una bomba de concreto, se tiene al sistema GeoConcrete.

2.1.4.2. Sistema Geopier Impact. Perteneciente a la familia de pilas de agregado compactado que consiste en un método por desplazamiento, no se requiere una excavación

previa para la aplicación del elemento Geopier en el suelo a mejorar. Estas pilas de agregado compactado son conocidos como RAP por sus siglas en inglés (Rammed Aggregate Pier).

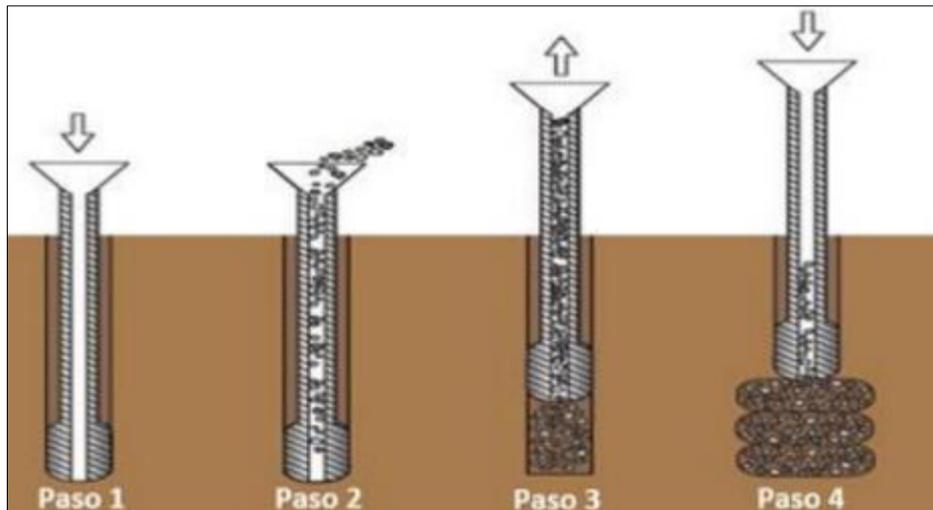
Figura 10

Pilas de agregado compactado - Sistema Geopier Impact



Fuente: Tomado de *Intermediate Foundation solutions*, Geopier, 2016, Geopier Foundation.

A. Proceso constructivo. Este proceso utiliza un mandril apisonador que penetra el suelo hasta una profundidad de diseño con la energía que transmite el equipo mecánico (Vibro martillo) una vez que la punta del mandril se encuentra en posición se abre la compuerta dejando pasar el agregado, estos son transportados desde el punto de acopio y colocados mediante una tolva en la parte superior conectada al mandril y cayendo por su cavidad hueca, se levanta el mandril unos 90 cm (3 pies) y se cierra la compuerta procediendo a compactar el agregado hasta lograr un capa densa de 30 cm (pie), este proceso se repite hasta lograr la longitud de diseño.

Figura 11*Proceso constructivo - Sistema Impact*

Fuente: Tomado de *Procedimiento constructivo de las pilas de agregado compactado Impact*, Emin Geoestructuras, (s.f), Geopier Systems.

B. Materiales y equipos. Para la ejecución de los RAPs consiste de una cuadrilla reducida conformada por 1 operador de telehandler, 1 operador de excavadora con aditamentos Impact y un técnico de control de calidad. Se detalla la descripción de cada recurso empleado.

Tabla 5*Descripción de recursos de instalación Geopier Impact*

Recurso	Descripción
Excavadora	Debe ser una maquinaria de 35 a 45 toneladas se conectará en él, el grupo de instalación Impact.
Mandril Apisonador	Es el elemento que penetrara el suelo llevando el agregado por su interior hueco hasta ser depositado a la profundidad requerida.

Tolva	Conocida también como embudo se encuentra en la parte superior donde se deposita el agregado y conduce al mandril.
Telehandler	Es el equipo de elevación para transportar el agregado desde el punto de acopio hasta la tolva.
Vibro Martillo	Es el equipo que compacta las pilas de grava, a través de transmitir la carga dinámica vertical al mandril.
Agregado	Se utiliza agregado de grava chancada de ½ a 1” de tamaño con menos de 10% de finos, con una resistencia a la degradación máxima de 40%

Fuente: Elaboración propia.

C. Control de calidad. Se realiza controlando y comparando los valores asumidos de diseño con los siguientes ensayos.

Tabla 6

Ensayos de calidad pilas Geopier

Ensayos de	Descripción	Norma
Control de Calidad		
Módulo de Rigidez	Se realiza con equipo pesado para lograr a un 150% de esfuerzo de compresión teórico del elemento, leyendo las lecturas en los diales para saber la deformación y obtener la rigidez, estos ensayos se realizaran en razón 1 prueba cada 1500 pilas instaladas.	ASTM-D1143

Estabilización**Estática (CST)**

Se realiza durante la instalación propia de la pila con el equipo, se interrumpe la compactación y se sobre carga a una profundidad indicada por el personal responsable y se mide el asentamiento, se realizan en el 10% del total de pilas a instalar. ASTM-D1194

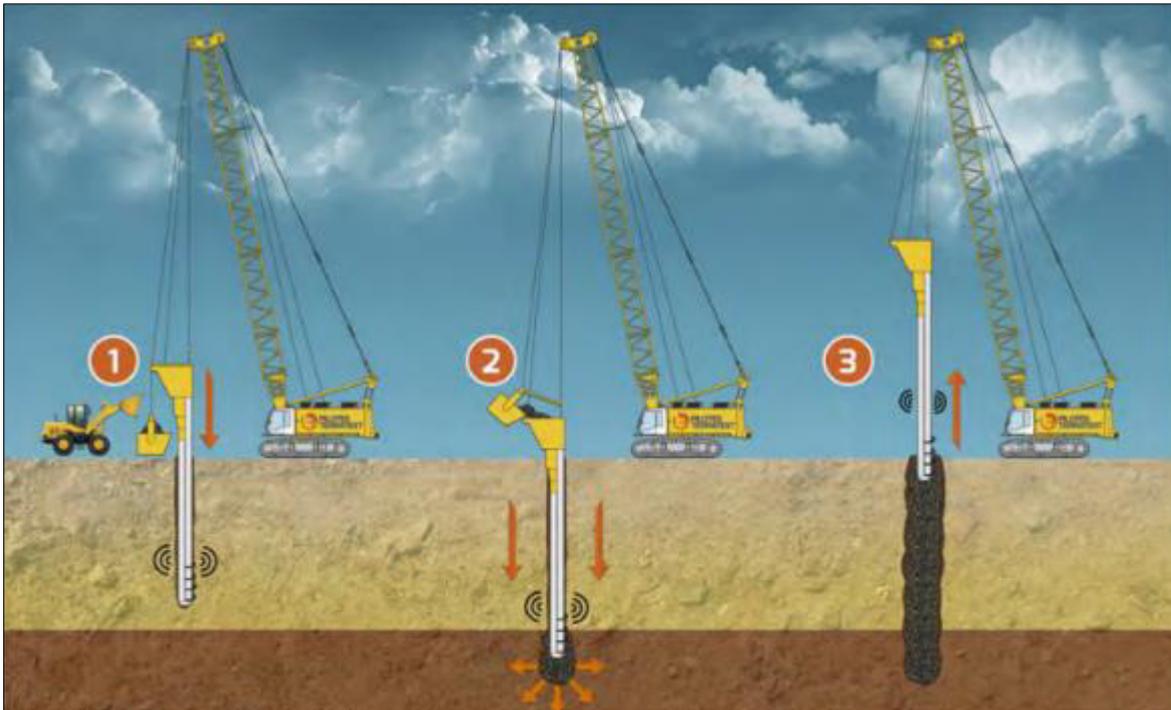
Fuente: Elaboración propia.

2.1.5. Vibrocompactación

Este tipo de sistema es utilizado para la aplicación de columnas gravas compactadas y vibradas lateralmente en suelos de compacidad suelta a media y cohesivos, esta técnica tiene como base y evoluciona con los años a partir de la vibroflotación (creada desde 1930), es un método que se realiza mediante la vía seca en suelos secos e incluso ante la presencia de nivel freático por la capacidad drenante de las gravas.

2.1.5.1. Proceso constructivo. La técnica empleada para la introducción del vibrador y compactado de gravas es mediante la vía seca (en inglés Dry-way) se acomoda en la ubicación del punto destinado a mejorar y se posiciona el vibrador unido a un tubo tremie que es por donde la grava se deposita hasta llegar a la punta del vibrador. Para recibir el material de grava se usa un bobcat que colocará en la tolva y esta será suspendida por la grúa de sostenimiento.

Se introduce hasta la profundidad requerida con el aire comprimido activado, el vibrador realizara elevaciones y descensos a fin de formar capas de 50 cm para la compactación de la columna de grava. Este procedimiento continuo hasta llegar a la cota de terreno.

Figura 12*Proceso constructivo - Vibrocompactación*

Fuente: Tomado de *columnas de grava vía seca (bottom feed)*, Terratest, (s.f), Columnas de grava.

2.1.5.2. Materiales y Equipos. Estas columnas de grava se realizan con la fuerza laboral de 1 operador de Vibrolanza con grúa, 1 operador de pala cargadora, y 1 técnico de aseguramiento de calidad.

Tabla 7*Descripción de recursos de instalación por Vibrocompactación*

Recurso	Descripción
Vibrolanza sobre Grúa	Equipo de sostenimiento de 80 Tn que cargara mediante la grúa al vibrador que se ubicara en los puntos de perforación.

Vibrador	Penetra el suelo hasta la profundidad requerida y deposita la grava con sistema de aire comprimido por la parte inferior (bottom feed), con una fuerza excéntrica de 270 KN.
Pala cargadora	Deposita la grava del punto de acopio hacia el balde
Balde	Recipiente que recibe la grava y es elevada por tensores hacia la tolva.
Tolva	Donde se vierte la grava para transportarla hasta la punta del vibrador, usualmente está unida a un tubo tremie.
Agregado	Se emplea Grava chancada de 3/8" a 1 1/2" con menos de 2% de finos y una degradación máxima de 40%.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5.3. Control de calidad. De igual forma que el sistema Impact, se realiza ensayo de módulo de rigidez bajo la ASTM-D1143 y controlar la instalación de las columnas de grava garantizando el diámetro, y el rendimiento de ejecución de estas.

2.1.6. Licuación de Suelos

2.1.6.1. Definición. Este fenómeno se produce en los suelos granulares de compactación suelta a media saturados que, al estar sometidos a esfuerzos cortantes cíclicos causados por sismos, las ondas que estas producen logran que se incremente la presión de poros, de esta forma llegar a tal punto de incrementar e igualarse al esfuerzo total y anulando así el esfuerzo efectivo temporalmente. Esto tiene como efecto que el suelo pase del estado sólido a un material fluido (licuado), perdiendo la resistencia cortante de manera breve y debido al movimiento cíclico las partículas se acomodan disminuyendo así la relación de vacíos que se traducen en asentamientos post-licuación.

Las estructuras que se encuentran cimentadas sobre suelos altamente licuables tienen la tendencia de finalizando el esfuerzo cíclico a la que es sometida presente asentamientos diferenciales altos, un estado más denso, pero con las construcciones en la gran mayoría fallas o colapsos de gran importancia y dejando la superficie saturada por la expulsión del agua.

Los proyectos deben tener en consideración la evaluación de potencial de licuación en el caso presenten las condiciones que requiere que el evento suceda (esto se detallara en el siguiente apartado), sin embargo, estos análisis tienen como precedente y necesidad de investigación a partir del caso ocurrido por el terremoto Niigata en 1964 llamando a la reflexión a los diseñadores.

Figura 13

Licuacion de suelo causado por terremoto Niigata 1964



Fuente: Tomado de tilting of apartment buildings caused by the 1964 Niigata earthquake, Idriss y Boulanger, 2008, EERI.

2.1.6.2. Condiciones de suelo para ocurrencia de licuación. En los proyectos a construir debe ser de cuidado evaluar el potencial que tenga este a la licuación debido a que generan asentamientos altos, provocando fallas, vuelcos o colapsos de las superestructuras. En

Perú la zona costera esta propensa a presentar sismos de gran magnitud y de duración alta por lo que se invita al análisis e identificar los requisitos que solicita una licuación de suelo.

A. Suelos granulares. Los suelos suelen ser suelos arenosos limpios o con limos no plásticos, presentando una compacidad suelta a media (densidad relativa menor que el 60%), teniendo así una relación de vacíos que se verán reducidas cuando exista una carga cíclica que los obligue a reacomodar sus partículas, disminuyendo así su volumen unitario que al finalizar la carga evidencian asentamientos. Empíricamente se tiene que si los valores obtenidos de resistencia a la penetración estándar $N < 25$ estos podrían ser potencialmente licuables, de igual forma el ángulo de fricción del suelo en condiciones iniciales si este es $\Phi < 27$ esta propenso al efecto.

B. Sismos. Los sismos deben ser de magnitudes altas lo suficiente para causar un exceso de presión de poros, si bien es cierto magnitudes muy altas podrían generarse, pero si estos son de corta duración no se logrará que la presión de poros exceda al esfuerzo total (condición donde se genera licuación). Los esfuerzos cortantes cíclicos deben ser de gran duración que en suelos saturados causan densificación y la presión de poros incrementa llevando el agua hasta la superficie dejando los vacíos que ocupaban y las partículas más finas tomando su lugar causando así reducción volumétrica del suelo.

C. Nivel Freático. Una condición clara y necesaria es la identificación del nivel freático que es esta la que determinará las capas de los estratos del suelo saturado en análisis, su ubicación en profundidad será la que genera debido a la vibración inducida por un sismo inminente, se determinará la influencia en los esfuerzos efectivo y la presión de poros que esta se producirá en suelos granulares. Es sabido que, si la profundidad de este es mayor, el suelo tiende a presentar una mejor respuesta o menor susceptibilidad a la licuación.

2.1.6.3. Consecuencias de licuación de suelos. Los efectos al terminar un evento sísmico se ven traducidos a problemas que quedan evidenciado en la superficie del terreno, y las superestructuras que en esos lugares descansan se ven afectadas por fallas y daños por asentamiento diferenciales. Debido a la pérdida de capacidad portante esta puede quedar susceptible a un fallo de estabilidad global debido a la reducción del esfuerzo efectivo que se genera. La presión de poros que se incrementa fluye hasta la superficie llegando a evacuar el agua y formando así volcanes de arenas que son las arenas transportadas a presión del agua. En zonas que son altamente licuables se evidencia una gran expulsión de agua quedan en la superficie grandes depósitos y combinados con las arenas forman un suelo de estado tan licuado (eyección de licuación) donde los asentamientos son tan grandes que incluso estructuras u objetos de grandes dimensiones podrían hundirse.

Figura 14

Consecuencias de licuación de suelos



Fuente: Elaboración propia

2.1.6.4. Análisis de potencial de licuación. Para este tipo de análisis existen varios métodos para su evaluación de potencial que tenga un determinado suelo, sin embargo, en el universo de la literatura la más aplicada y aceptada es el método propuesto por Seed e Idriss (1971) que con el paso del tiempo ha sido actualizado por autores e institutos. Para la presente investigación se emplea la actualización de este método desarrollado por Idriss y Boulanger (2008) en el libro publicado del instituto EERI (*Earthquake Engineering Research Institute*).

A. Método de análisis de Idriss y Boulanger. Este método toma correlaciones en base a ensayos SPT y CPT y tiene como patrón el cálculo del factor de seguridad (FSL) que es la división entre el CRR y CSR.

El CSR son las tensiones cíclicas inducidas por el sismo (*Cyclic stress ratio* por sus siglas en inglés) que toma como valor la tensión media de corte generada por la aceleración máxima ocurrida durante un periodo largo de un movimiento sísmico y está en función de la siguiente expresión:

$$CSR = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right) \cdot r_d$$

El esfuerzo cíclico depende de la aceleración sísmica horizontal máximo de acuerdo a zonificación (a_{Max}), la aceleración de la gravedad (g), el esfuerzo vertical total en los puntos analizados (σ_{v0}), el esfuerzo efectivo vertical (σ'_{v0}), y el coeficiente de reducción respecto a la profundidad (r_d).

El coeficiente de reducción se interpreta como un aumento en la rigidez de la columna de suelo analizada, esto porque el confinamiento es mayor en profundidades mayores que en la superficie del suelo. Se tiene las correlaciones según los intervalos siguientes:

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.00765 \times z & z \leq 9.15 \text{ m} \\ 1.174 - 0.0267 \times z & 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \\ 0.744 - 0.008 \times z & 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \\ 0.5 & z > 30 \text{ m} \end{cases}$$

El CRR es la resistencia que presenta el suelo ante las tensiones cíclicas (*Cyclic resistance ratio* por sus siglas en inglés) y está en función del valor de penetración estándar N , corrigiendo esto por los factores de energía del ensayo $(N_1)_{60}$ y por el contenido de finos (FC).

$$CRR_{M=7.5, \sigma'v=1} = \exp\left(\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right) \leq 2$$

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

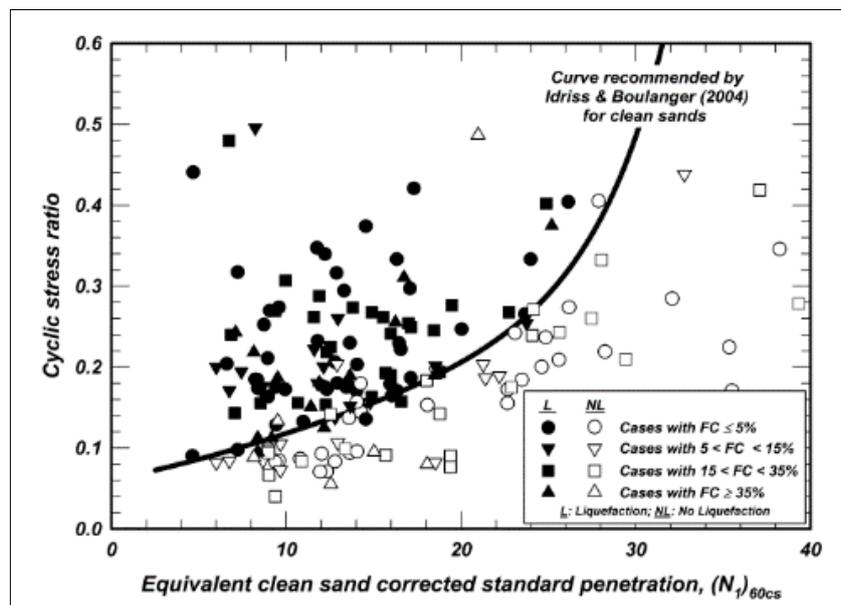
$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right)$$

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

Donde los factores de corrección respectivamente son por sobrecarga (C_N), por relación de energía (C_E), por diámetro de perforación (C_B), por longitud de varillaje (C_R) y por tipo de muestreador (C_S).

Figura 15

Casos históricos de licuación en correlación del $(N_1)_{60cs}$ y el CSR



Nota: Según los casos históricos se condensaron a la gráfica que indica que los que estén por encima de la curva es donde hay una licuación (puntos negros) y los que estén por debajo no se produce (puntos blancos). Tomado de *SPT case histories of liquefaction in cohesionless soils with various fines contents plotted versus their equivalent clean sand*, Idriss y Boulanger, 2008, EERI.

Los cálculos obtenidos están dirigidos para un sismo de magnitud de 7.5 en la escala de Richter ($M_w=7.5$) y un esfuerzo efectivo de 1 atm; por lo tanto, se corrige por sobrecarga de acuerdo a la profundidad de cada estrato (K_σ) y si en el caso se tenga magnitudes diferentes a 7.5 se corrige mediante el factor de escala (MSF).

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma * \ln\left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right) \leq 1.1 \quad ; \quad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55 * \sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0.3 \quad ; \quad (N_1)_{60} \leq 37$$

$$MSF = 6.9 * \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8$$

Obtenidos los factores de corrección se expresa según diseño el CRR:

$$CRR = CRR_{M=7.5, \sigma'_{v=1}} * MSF * K_\sigma$$

Finalmente, el factor de potencial de licuación de suelos se define como:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

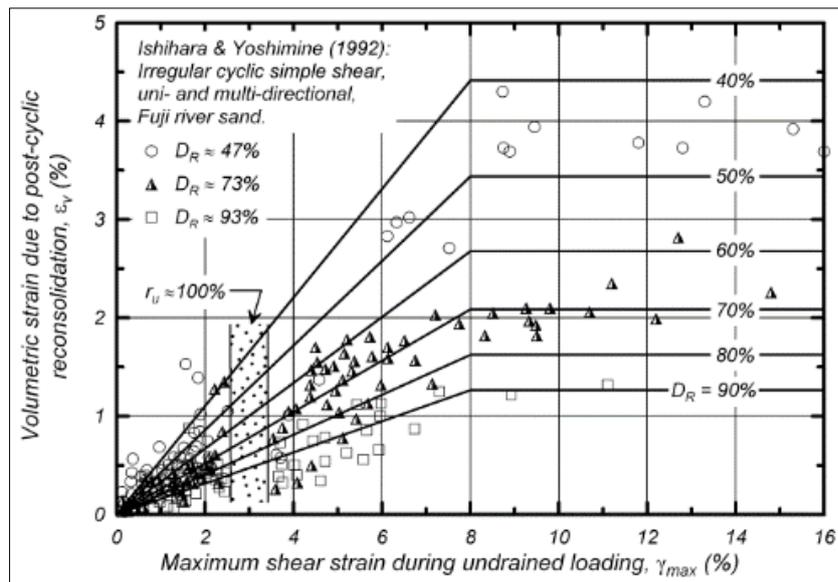
B. Análisis de asentamiento Post- Licuación. La reconsolidación de las partículas debido al reacomodo de las partículas causan el asentamiento post- licuación, las deformaciones volumétricas verticales (ε_v) inducidas por esfuerzos cíclicos están relacionadas con las deformaciones máximas de corte (γ_{max}). Estas deformaciones están correlacionadas con el factor de seguridad (FSL). La deformación vertical queda resumida a la ecuación en función del $(N_1)_{60cs}$ y γ_{max} .

La ecuación definida de acuerdo a la recopilación de los datos de Ishihara & Yoshimine (1992) según la observación en la deformación volumétrica post-licuación en arenas se expresa como:

$$\varepsilon_v = 1.5 \times \exp(-0.369\sqrt{(N_1)_{60cs}}) \times \min(0.08, \gamma_{max})$$

Figura 16

Relación entre deformación volumétrica vertical y deformación máxima por corte



Fuente: Tomado de *Relationship between post-liquefaction volumetric strain and the maximum shear induced during undrained cyclic loading of clean sand*, Idriss y Boulanger, 2008, EERI.

El cálculo de la deformación máxima por corte está en función del FSL, expresadas por las siguientes ecuaciones:

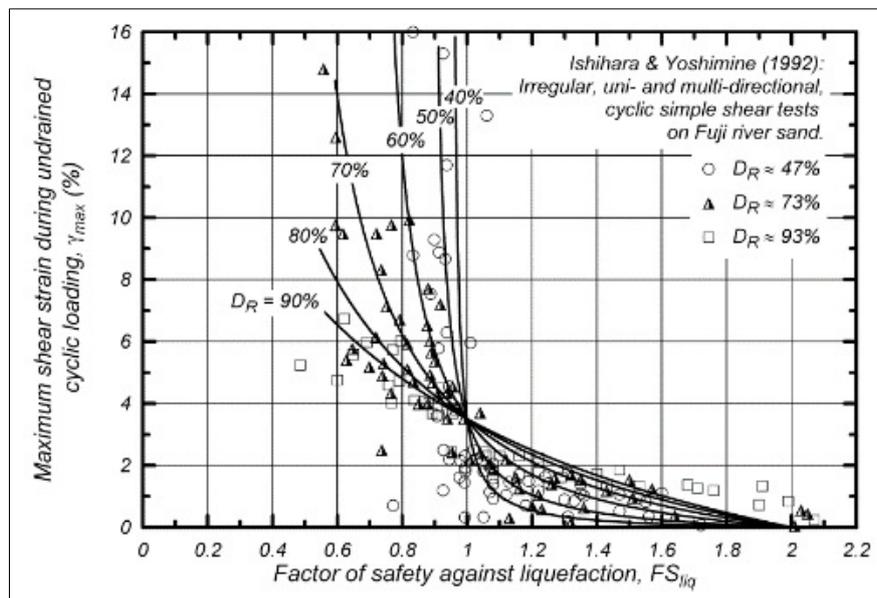
$$\gamma_{m\acute{a}x} = \min\left(\gamma_{lim}, 0.035(2 - FS_{liq})\left(\frac{1 - F_\alpha}{FS_{liq} - F_\alpha}\right)\right) \text{ si } F_\alpha < FS < 2$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = 0 \text{ si } FS \geq 2 \quad ; \quad \gamma_{m\acute{a}x} = \gamma_{lim} \text{ si } FS < F_\alpha$$

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69\sqrt{(N_1)_{60cs}} - 0.13(N_1)_{60cs}$$

Figura 17

Relación entre deformación máxima por corte y factor de seguridad por licuación



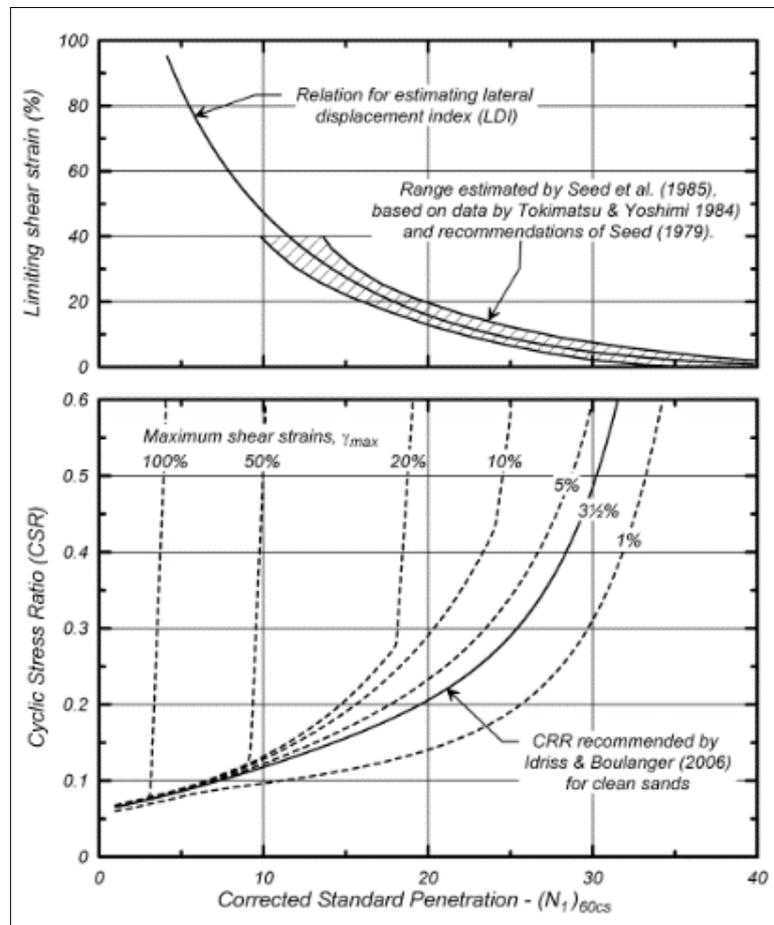
Fuente: Tomado de Relationship between the maximum shear strain and the factor of safety against liquefaction, on the basis of undrained cyclic simple shear tests on clean reconstituted sand at different relative densities, Idriss y Boulanger, 2008, EERI.

Seed et al (1984) determinan un valor límite de deformación por corte en respuesta de las condiciones de generadas en los sismos (*área sombreada estimada por Seed et al.*), como se puede observar en la siguiente imagen considera que se delimita a un 50%, además en relación con el valor $(N_1)_{60cs}$ se observa se tendrían que tener valores muy bajos para sobrepasar este límite, la ecuación se expresa como:

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1.1 - \sqrt{\frac{(N_1)_{60cs}}{46}} \right)^3$$

Figura 18

Correlación entre el valor límite de deformación por corte (γ_{lim}) y el $(N_1)_{60cs}$



Fuente: Tomado de *SPT-based liquefaction correlations for clean sands with limiting shear strains*, Idriss y Boulanger, 2008, EERI.

2.1.7. Diseño Sistema Geopier Impact

2.1.7.1. Diseño de capacidad portante. El manual de diseño Geopier correlaciona los valores N_{spt} obtenidos en campo con un aumento de capacidad portante (q_{all}) de entrada aportando valor en condición mejorada. Los valores expuestos en la siguiente tabla son análisis de miles de puntos distribuidos en diferentes lugares y evaluados con cada tipo de suelo, la patente Geopier garantiza que sus RAPs (*Rammed Aggregate Pier*) alcanzan esos valores teniendo detrás un análisis de su ingeniería desarrollada y comprobados en campo con pruebas de modulo.

Figura 19

Valores de diseño Geopier en condición mejorada

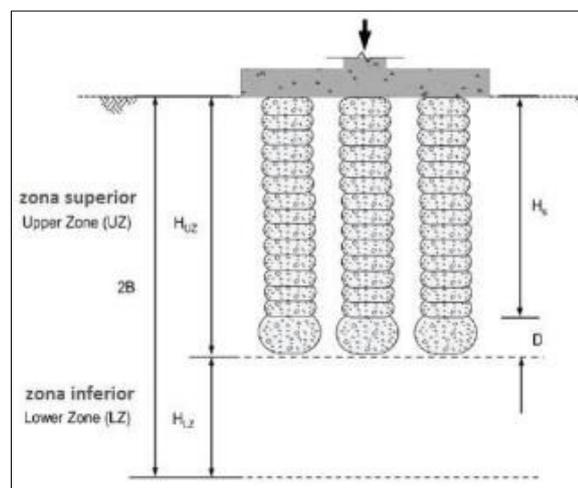
SPT = N Blows Per Foot All Soils	UCS, kN/m ² Fine- Grained Soils	Sands & Sandy Silts			Silts & Clays			Peat		
		Allowable Composite Footing Bearing Pressure, kN/m ² (q _{all})	Geopier [®] Element & Footing Segment Capacity, kN ⁽¹⁾ (Q _{ult})	Geopier [®] Element Stiffness Modulus, MN/m ³ (2) (k _g)	Allowable Composite Footing Bearing Pressure, kN/m ² (q _{all})	Geopier [®] Element & Footing Segment Capacity, kN ⁽¹⁾ (Q _{ult})	Geopier [®] Element Stiffness Modulus, MN/m ³ (2) (k _g)	Allowable Composite Footing Bearing Pressure, kN/m ² (q _{all})	Geopier [®] Element & Footing Segment Capacity, kN ⁽¹⁾ (Q _{ult})	Geopier [®] Element Stiffness Modulus, MN/m ³ (2) (k _g)
1-3	10 - 48	239	289	44.8	215	222	33.9	168	133	20.4
4-6	48 - 110	287	400	61.1	240	311	47.5	191	200	29.9
7-9	110 - 168	335	467	70.6	287	378	57.0	239	245	33.9
10-12	168 - 220	383	512	77.4	335	445	67.8	N/A	N/A	N/A
13-16	220 - 287	407	556	84.1	335	467	70.6	N/A	N/A	N/A
17-15	287 - 383	431	578	88.2	359	489	74.7	N/A	N/A	N/A
Over 25	Over 383	479	645	97.7	407	534	81.5	N/A	N/A	N/A

Fuente: Tomado de *Preliminary values for Geopier soil reinforcement design*, Fox y Cowell, Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual.

2.1.7.2. Calculo de asentamiento. El diseño de asentamientos Geopier se gobiernan en el análisis de dos capas, una zona superior (Upper Zone) en base a la rigidez y la zona inferior (Lower Zone) con métodos convencionales geotécnicos hasta una profundidad 2B para el caso de zapatas y 5B para zapatas continuas.

Figura 20

Capas de análisis de asentamientos zona superior e inferior



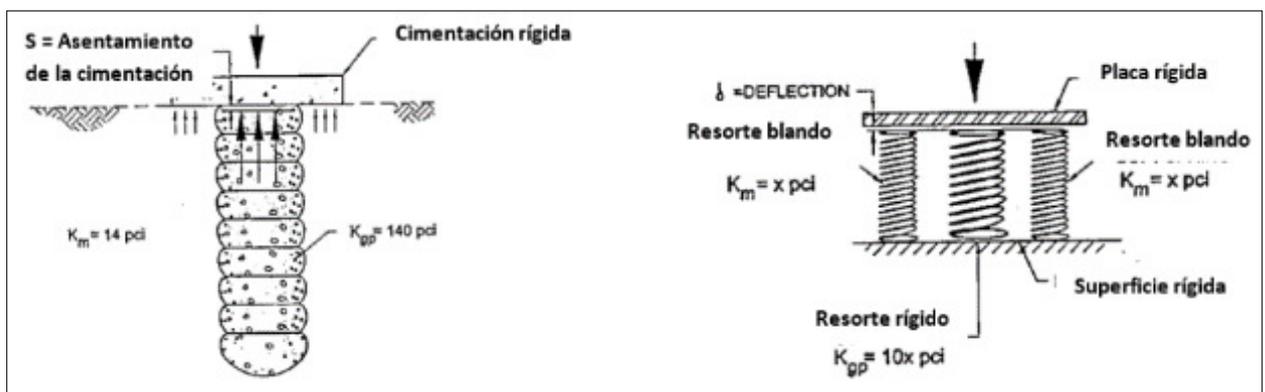
Fuente: Adaptado de *Preliminary values for Geopier soil reinforcement design*, Fox y Cowell, Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual.

UPPER ZONE (UZ)

El manual de diseño Geopier indica que el cálculo de asentamientos de la zona superior tiene como fundamento el análisis de resortes, donde la columna de grava instalada representa una rigidez 10 veces mayor que la del suelo matriz que lo rodea, como se presenta en la siguiente imagen:

Figura 21

Analogía de resortes de diseño Geopier Upper Zone



Fuente: Adaptado de *Basic Geopier Element Theory*, Fox y Cowell, Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual.

La diferencia de rigidez genera que cada elemento idealizado resista en consecuencia cargas diferentes (siendo absorbida más por el elemento RAP). La carga aplicada total (Q) se expresa como el producto del esfuerzo promedio (q) y el área de la zapata (A), por lo que la fuerza se subdivide en lo que resiste las pilas (Q_g) y la matriz del suelo (Q_m), la relación de áreas transversales (R_a) y la relación de rigideces (R_s) se vincula con el esfuerzo de las pilas (q_g). Finalmente, los asentamientos (s) resultan ser un cociente entre el esfuerzo y su correspondiente rigidez.

$$Q = qA = Q_g + Q_m = q_g A_g + q_m A_m$$

$$q_g = q \left(\frac{R_s}{R_a R_s - R_a + 1} \right)$$

$$R_s = \frac{k_g}{k_m}$$

Con las ecuaciones descritas la expresión para el asentamiento superior idealizando que la zapata es un elemento rígido, y que las deformaciones serán iguales para las pilas y el suelo matriz, es el cociente entre los esfuerzos y rigideces.

$$S_{UZ} = \frac{q_g}{k_g} = \frac{q_m}{k_m}$$

De acuerdo a los juicios y consensos de la literatura geotécnica se ha determinado que el análisis descrito por rigideces encaja en un límite de zapatas que no excedan los anchos de base de 3m o que se refuercen a lo máximo 4.5m de profundidad. Para el caso de construcciones de zapatas más grandes, losas de cimentación, terraplenes o cualquier estructura de grandes dimensiones es correcto utilizar cálculos convencionales de la teoría de la elasticidad (Terzaghi, et al, 1996), mediante la siguiente ecuación:

$$S_{uz} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}}$$

Donde la I es el factor de influencia de esfuerzos verticales en un área rectangular (solución de Boussineq), H_{uz} es la capa que contiene la longitud de las pilas, aunque para un mejor análisis es calcularlos por espesores más reducidos (intervalos de 50cm). El análisis asume que al instalar las pilas estas en combinación con el suelo se ponderan sus módulos elásticos generando así un módulo elástico compuesto (E_{comp}), expresado por la ecuación:

$$E_{comp} = E_g R_a + E_m (1 - R_a)$$

Los módulos elásticos del suelo están relacionados con el valor N_{spt} obtenido en campo según el tipo de suelo (E_m), y respecto al módulo elástico de las pilas Geopier (E_g) son asumidos según parámetro de diseño en su base de datos.

LOWER ZONE (LZ)

Para el cálculo de la zona inferior se considera hasta una profundidad $2B$ (B =ancho de cimentación) y con el modulo elástico del suelo (E_s) obtenido en relación al valor N_{spt} . Se mantiene la expresión:

$$S_{LZ} = \frac{qIH_{LZ}}{E_s}$$

El asentamiento total de la cimentación se muestra en la siguiente expresión:

$$S = S_{UZ} + S_{LZ}$$

2.1.7.3. Calculo de potencial de licuación. El sistema Impact al ser un método de desplazamiento el proceso de instalación genera mayor confinamiento de suelo, la columna de grava queda bien compactada generando así mejores condiciones que resistan la licuación.

El cálculo de CRR se expresa mediante la siguiente expresión:

$$CRR = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & FC \leq 5\% \\ e^{1.76 - (\frac{190}{FC^2})} & 5\% < FC < 35\% \\ 5 & FC \geq 35\% \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 1.0 & FC \leq 5\% \\ 0.99 + \frac{FC^{1.5}}{1000} & 5\% < FC < 35\% \\ 1.2 & FC \geq 35\% \end{cases}$$

Expansión de cavidad

La penetración a profundidad de diseño y la grava cuando se compacta, esta se densifica cuando es apisonada expandiéndose lateralmente por lo que aumenta la presión lateral al suelo, ese aumento de esfuerzo confina más el suelo dando como respuesta un aumento en el CRR (*resistencia a tensiones cíclicas*), el factor de aumento K_M (*Lateral Stress Increase Factor*) es un valor constante de 1.20 en toda la profundidad de mejoramiento.

$$CRR' = K_M \times CRR$$

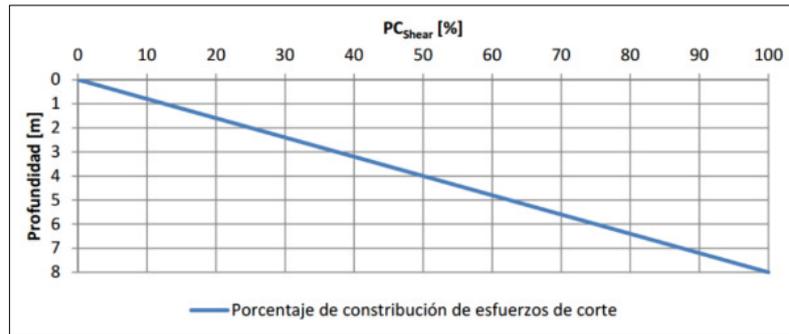
- CRR': Resistencia a esfuerzo de tensiones cíclicas con incremento de presión lateral.
- CRR: Resistencia a esfuerzos de tensiones cíclicas antes de mejorar con Geopier.
- K_M : Factor de aumento de CRR = 1.20

Atracción de esfuerzos de corte

Los elementos Geopier al presentar una rigidez mayor que el suelo en condiciones iniciales, estos reducen la intensidad de las tensiones de corte; por lo tanto, se ve reducido el CSR (*tensiones cíclicas por sismo*). Se presenta una relación que determina el porcentaje de contribución de elementos Geopier respecto a su profundidad.

Figura 22

Porcentaje de contribución de esfuerzo de corte



Fuente: Tomado de *Porcentaje de contribución del esfuerzo de corte de las Pilas de Agregado Compactado (PC_{Shear}) según la profundidad*, Green et. al, 2008, Geopier.

El factor de reducción (K_G) en función de la relación de áreas, rigideces y el % de contribución.

$$K_G = \frac{1}{1 - R_a + R_a \times R_s \times PC_{Shear}}$$

Por lo tanto, el valor en condición mejorada de la tensión cíclica en condición mejorada es:

$$CSR' = K_G \times CSR$$

. En el caso se tenga magnitudes diferentes de diseño se tendrá que corregir mediante el factor de escala (MSF).

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

Finalmente, el nuevo valor de factor de seguridad frente a licuación está dado por:

$$FS_{mejorado} = \frac{CRR'}{CSR'} = \frac{K_M}{K_G} \times \frac{CRR}{CSR} \times MSF$$

2.1.8. Diseño Vibrocompactación

2.1.8.1. Diseño de capacidad portante. De desarrolla el método Priebe (1995) que presenta el factor de mejora (n_0) correspondiente a una reducción de asientos conociendo el ángulo de fricción inicial y determinando los parámetros nuevos que serán representativos en condición mejorada, resultando así un ángulo de fricción equivalente con lo que se calculara la capacidad portante.

Este método trabaja bajo la hipótesis que las pilas y suelo matriz presentan el mismo asentamiento, y que las pilas son incompresibles a su vez están apoyados sobre un estrato rígido. El facto de mejora se expresa por:

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \times \left[\frac{0.5 + f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right)}{K_{ac} \times f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right]$$

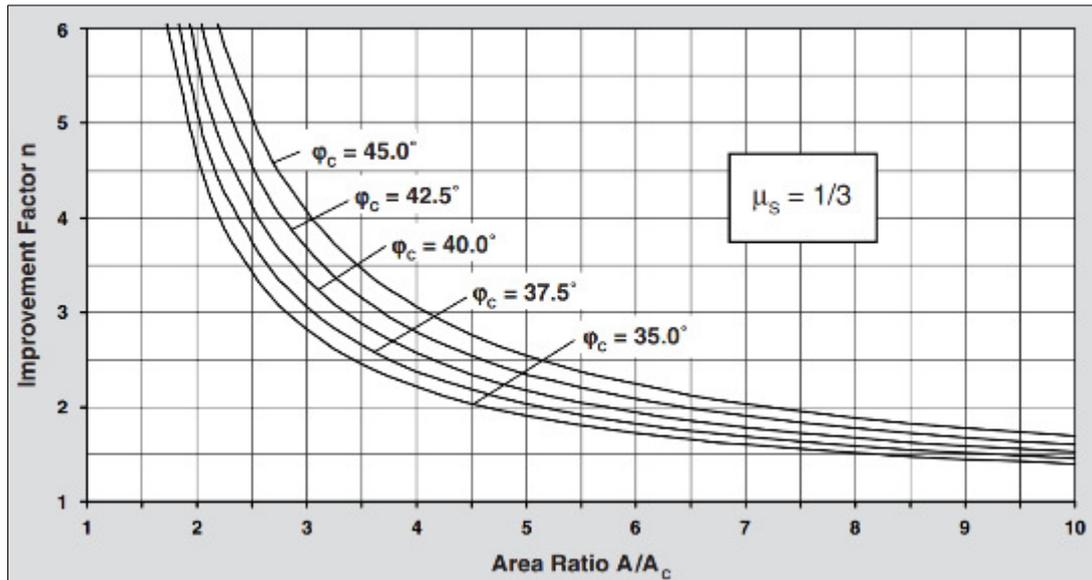
$$f\left(\mu_s, \frac{A_c}{A}\right) = \frac{(1 - \mu_s) \times \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)}{1 - 2\mu_s + \frac{A_c}{A}}$$

$$K_{ac} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2}\right)$$

Priebe (1995) elabora la relación que tiene el factor n_0 respecto a la relación de áreas y los diferentes ángulos de fricción (φ_c), esto para un módulo de poisson (μ_s) de 1/3.

Figura 23

Relacion de Priebe entre el n_0 y A/A_c



Fuente: Tomado de *Design chart for vibro replacement*, Heinz J. Priebe, 1995, *The Design of Vibro replacement*.

Debido a que en la realidad al momento de realizar la instalación de la columna de grava esta no es totalmente incomprensible, habrá que considerar un factor de reducción al factor de mejora inicial esto se consigue al considerar una ratio de área A/A_c incrementado en $\Delta(A/A_c)$. Considerando la relación de los módulos edométricos de la grava (DC) y del suelo (DS).

Por lo tanto, se tendrá un factor de mejora corregido (n_1) por compresibilidad.

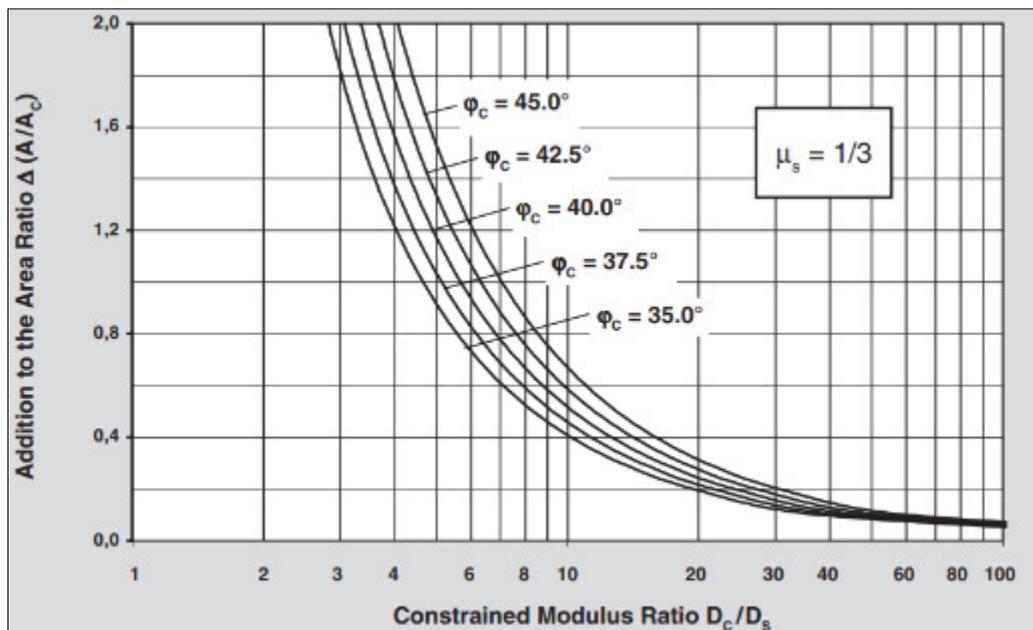
$$n_1 = 1 + \frac{\bar{A}_c}{A} \times \left[\frac{0.5 + f(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A})}{K_{ac} \times f(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A})} - 1 \right]$$

$$\frac{\bar{A}_c}{A} = \frac{1}{\frac{A}{A_c} + \Delta \frac{A}{A_c}} \quad ; \quad \Delta \frac{A}{A_c} = \frac{1}{(\frac{A_c}{A})_1} - 1 \quad ; \quad n_o = \frac{Dc}{Ds}$$

$$\left(\frac{A_c}{A}\right)_1 = -\frac{4K_{ac}(n_o - 2) + 5}{2(4K_{ac} - 1)} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{4K_{ac}(n_o - 2) + 5}{4K_{ac} - 1}\right]^2 + \frac{16K_{ac}(n_o - 1)}{4K_{ac} - 1}}$$

Figura 24

Incremento de relacion de area (A/Ac) respecto a la relacion de modulos Dc/Ds



Fuente: Tomado de *Consideration of column compressibility*, Heinz J. Priebe, 1995, The Design of Vibro replacement.

El valor n_1 se desarrolla como un valor de mejora sin considerar la presión de las densidades que van en aumento con la profundidad de análisis entra columna y el suelo matriz, por lo que no solo se debería considerar la presión de la carga externa sino también el incremento de presiones laterales que ayudan al confinamiento del elemento, por lo tanto, se añade valor mediante un factor de profundidad f_d se tiene un factor de mejora resultante de n_2 .

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_{oc} - \frac{W_s}{W_c}}{K_{oc}} \times \frac{W_c}{p_c}} \quad ; \quad p_c = \frac{p}{\frac{\bar{A}_c}{A} + \frac{1 - \frac{\bar{A}_c}{A}}{\frac{p_c}{p_s}}} \quad ; \quad \frac{p_c}{p_s} = \frac{0.5 + f(\mu_s, \frac{\bar{A}_c}{A})}{K_{ac} \times f(\mu, \frac{\bar{A}_c}{A})}$$

$$W_c = \sum (\gamma_c \times \Delta d) \quad ; \quad W_s = \sum (\gamma_s \times \Delta d) \quad ; \quad K_{oc} = 1 - \text{sen}(\phi_c)$$

Donde W_C = Peso de la columna y W_S = Peso del suelo; φ_C =ángulo de fricción de la columna. Finalmente, el factor mejorado (n_2) por sobrecarga es:

$$n_2 = f_d \times n_2$$

Se debe verificar que los factores de mejora no excedan las siguientes expresiones, para no considerar casos tan favorables y siempre de lado de la seguridad teórica. Se corrige por compatibilidad de controles.

$$f_d \leq \frac{\frac{D_C}{D_S}}{\frac{p_C}{p_S}} \quad ; \quad n_{m\acute{a}x} = 1 + \frac{A_C}{A} \times \left(\frac{D_C}{D_S} - 1 \right)$$

La instalación de las columnas de grava produce que se incremente el valor de los parámetros geotécnicos equivalentes, valores de corte mejorado:

$$\tan \bar{\varphi} = m' \tan \varphi_C + (1 - m') \tan \varphi_S$$

$$m' = \frac{(n_1 - 1)}{n_1} \quad ; \quad c' = \frac{(1 - m')}{c}$$

2.1.8.2. Cálculo de asentamientos. Para el cálculo de los asentamientos se utiliza la teoría de elasticidad y el módulo elástico compuesto, para la zona reforzada (Upper Zone) y la para el suelo debajo del mejorado (Lower Zone).

UPPER ZONE (UZ)

Para los asentamientos de la zona superior se rigen las ecuaciones, considerando el módulo elástico ponderado.

$$S_{uz} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}}$$

$$E_{comp} = E_g R_a + E_m (1 - R_a)$$

LOWER ZONE (LZ)

De igual forma se mantiene con la expresión:

$$S_{IZ} = \frac{qIH_{IZ}}{E_s}$$

El asentamiento total:

$$S = S_{UZ} + S_{IZ}$$

2.1.8.3. Calculo de potencial de licuación. Con la obtención de la capacidad portante en condición mejorada utilizamos la fórmula propuesta según procedimiento de la AASHTO para tener el valor $(N_1)_{60}$. Obtenido este parámetro en condición mejorada se calcula el potencial de licuación según lo descrito en el subtítulo **2.1.6.4** “Análisis de potencial de licuación”.

la siguiente expresión correlaciona la capacidad portante con el valor de $(N_1)_{60}$.

$$q_{ult} = \frac{(N_1)_{60} \times B}{5} \times \left(C_{wq} \times \frac{D_f}{B_f} + C_{wy} \right) \times 47.88 \text{ (resultado en Kpa)}$$

$$C_{wy} = 0.5 + 0.5 \left(\frac{D_w}{1.5B_f + D_f} \right) \leq 1.0 \quad ; \quad C_{wq} = 0.5 + 0.5 \left(\frac{D_w}{D_f} \right) \leq 1.0$$

El valor del nivel freático (D_w) determinan a los factores C_{wq} y C_{wy} .

- D_f : profundidad de cimentación (m); B_f : ancho de la cimentación(m)

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Para Borja (2012) dependiendo la finalidad del propósito del estudio, la investigación aplicada pretende solucionar una realidad problemática, sin la necesidad de profundizar en el desarrollo de un nuevo nivel de conocimiento científico. Los estudios de ingeniería civil se consideran aplicados porque se limitan a resolver problemas específicos.

Para Borja (2012) de acuerdo con el tipo de datos analizado se adoptan dos enfoques de investigación. El enfoque cuantitativo se apoya en la recolección de datos medibles, de los cuales se derivan los valores numéricos utilizados para probar las hipótesis propuestas, el uso de la estadística es la base principal para el grado de confianza de la teoría en la que se basa la investigación.

Para Sampieri-Fernández et al. (2014) es importante definir el nivel de alcance para establecer los procedimientos de medición y análisis de datos, así mismo como las estrategias para lograrlo. Una investigación explicativa tiene como objetivo ilustrar la relación causa efecto de una o más variables, saber el porqué de la variación al ser manipuladas y explicar su comportamiento y resultados.

Para Lerma (2009) los diseños cuasi experimentales son un caso particular porque no se seleccionan aleatoriamente participantes u objetos de estudio para generar un grupo de control y experimentales, en caso no haya alguno de estos grupos se opta por generar un grupo de comparación. En proyectos de ingeniería las áreas de construcción se han formado naturalmente y su naturaleza no se puede cambiar in situ.

El tipo de investigación por propósito es Aplicada, por enfoque Cuantitativo, por nivel de alcance es Explicativo y por diseño de investigación es Cuasi Experimental.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente investigación tiene como ámbito temporal el periodo Julio 2020 a Enero 2021 y el ámbito espacial la zona de playa de Puerto Viejo ubicado a la altura del km 71 de la autopista Panamericana Sur, distrito de San Antonio, provincia de Cañete, departamento de Lima, construyendo el condominio de playa Kalani que corresponde a la 2da etapa del proyecto inmobiliario Vive Puerto Viejo.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente

Sistema de estabilización físico

3.3.2. Variable dependiente

Mejoramiento de suelo arenoso

3.4. Población y muestra

Población

Para Lerma (2009) la población es el universo de todos los individuos o unidades de estudio que comparten parámetros medibles en común, pudiendo ser analizadas el comportamiento de sus singularidades y nexos entre sí, dando al investigador la facultad de la elección total o parcial de unidades de estudio para el desarrollo de la solución a los problemas científicos.

La investigación tiene como población los suelos arenosos del condominio Kalani con un área de 43,406 m², correspondiente a la Etapa II del denominado lote 2 de la parcela A y B fundo tres Cruces ubicado en la playa Puerto Viejo.

Muestra

Para Borja (2012) la muestra es una porción de la población que sea representativo en cualidad y características, cuando se realicen los análisis a los problemas formulados sus resultados puedan ser deducidos eficazmente a la población que representa mediante el uso de la estadística.

Para Borja (2012) la elección de unidades objetos de estudios donde no existe la posibilidad de evaluar probabilidad, se basarán en experiencia y juicios del investigador.

La investigación tiene como muestra el área de huella de cimentación donde se construirán las viviendas del condominio y representan un área de 11,842 m². El material extraído del suelo arenoso fue explorado mediante 14 puntos de exploración, habiéndose ejecutado 8 sondajes de penetración estándar SPT y 6 calicatas. Determinando el número de puntos de exploración acorde a la norma E. 050 Suelos y Cimentaciones que establece realizar 3 puntos por cada hectárea. Los materiales extraídos fueron utilizados para la obtención de parámetros geotécnicos que sirven para el diseño de las soluciones de estabilización físico para el mejoramiento de suelo arenoso.

El muestreo es no probabilística realizado por instrumentos de exploración. Debido a la amplia extensión de terreno las perforaciones fueron ubicadas de acuerdo a la experiencia del consultor para obras inmobiliarias de playa.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para Borja (2012) las técnicas e instrumentos de recolección de datos en el campo de la ingeniería civil se centra en procedimientos que permitan obtener la información de campo a través de formatos en blanco, y poder llenar los datos paramétricos de estudio, las distintas técnicas no son excluyentes entre sí, por el contrario, a mayor cantidad de formatos aumenta la

validez de los mismos. Elegido los instrumentos de recolección se aplica a la muestra seleccionada para el posterior análisis de información.

La presente investigación presenta técnicas de recolección de datos que miden las variables de estudio a través del reconocimiento de los indicadores de cada una de ellas, los parámetros geotécnicos que resultan de los puntos de exploración realizados en campo. Para el procesamiento de análisis de capacidad portante, asentamiento y potencial de licuación de suelos se basan en las teorías convencionales de Terzaghi, método simplificado de Seed e Idriss, Idriss y Boulanger. Para la recolección de datos la investigación usa fichas técnicas que nos permite comparar los valores de los indicadores según el sistema de estabilización, todo esto constatado mediante artículos de investigación, tesis, normatividad y manuales de diseño.

Las fichas técnicas de recolección de datos son tablas en blanco desarrolladas en Excel.

Ficha técnica N°1: Datos de mapeo de Capacidad portante

Ficha técnica N°2: Datos de mapeo de Asentamientos

Ficha técnica N°3: Datos de Mapeo de Potencial de licuación

3.5.2. Validación de Instrumentos

La validación de instrumentos se realiza para que la obtención de datos sea de manera precisa y objetiva, y poder medir de forma ordenada y resumir los cálculos correspondientes de cada indicador de las investigaciones.

La validación de la presente investigación se llevó a través de un Juicio de expertos, en la cual según valoración se asigna la puntuación (muy malo: 0.2 a menos; malo :0.21 a 0.40; regular: 0.41 a 0.60; bueno: 0.61 a 0.80 y muy bueno: hasta 1.00). Efectuado la validación, se promedia las puntuaciones asignadas y de encontrarse en el rango de valoración “muy bueno”, las fichas se consideran válidas para su aplicación.

Las fichas técnicas se encuentran asignadas y firmadas en el **ANEXO B**, realizo por ingenieros especialistas de la rama de Geotecnia y Cimentaciones, elegidos por su amplio expertise y juicio sobre el tema de investigación. En la siguiente tabla se presenta el resumen de la validación de cada experto.

Tabla 8

Validación por juicio de expertos

Indicador	Experto 01	Experto 02	Experto 03	Experto 4	Promedio
Capacidad					
Portante	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Asentamientos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Potencial de					
licuación	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Las fichas técnicas de la presente investigación, indican tener un puntaje 1.00, teniendo así una valoración en el rango muy bueno, siendo factible su aplicación.

3.6. Procedimientos

La presente investigación tiene como etapas la siguiente secuencia de procedimiento:

3.6.1. Procedimiento

ETAPA 01 – Recopilación de información de estudios de mecánica de suelos

Para tener de conocimiento los parámetros geotécnicos de entrada del suelo del proyecto se solicita el estudio de mecánica de suelos que brinda las características en condición inicial y poder proponer las soluciones de mejoramiento que elevaran las propiedades

mecánicas principalmente el control de asentamientos, la capacidad portante y la susceptibilidad a la licuación de suelos.

ETAPA 02 – Propuesta de sistemas de estabilización físico

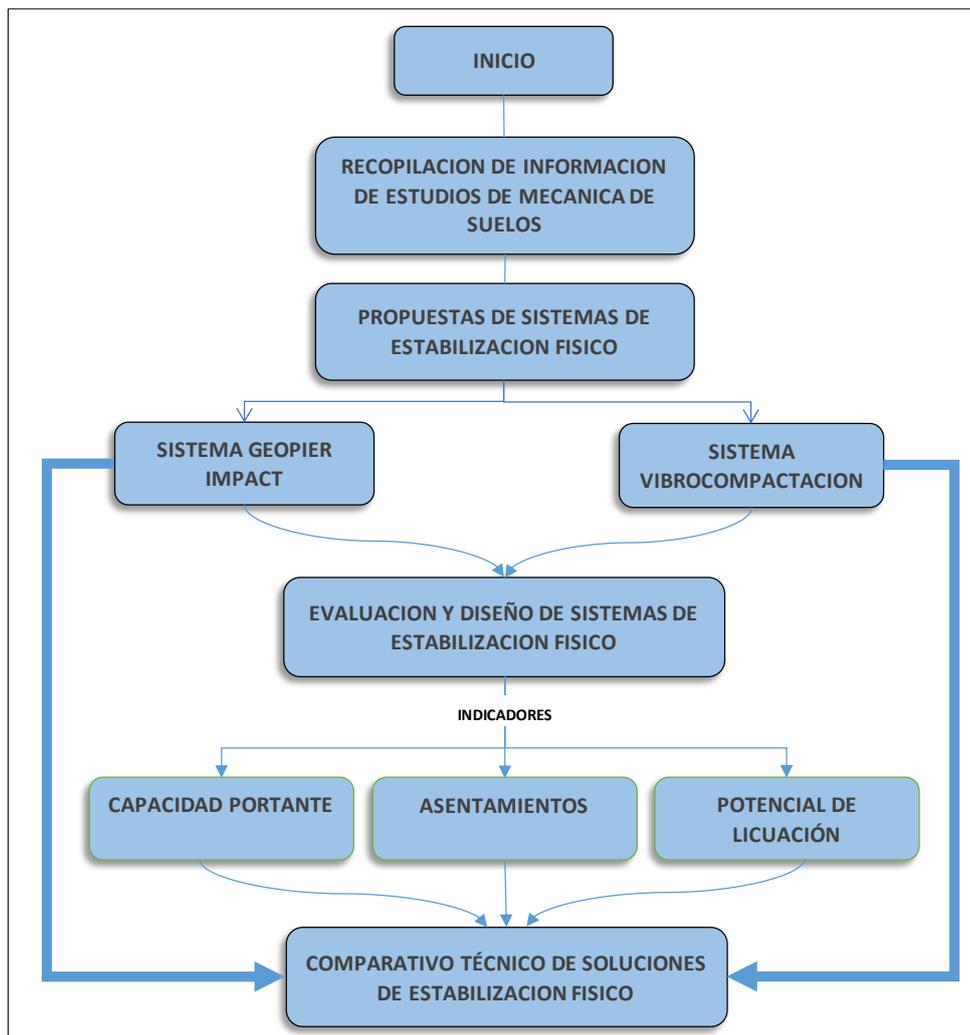
El proyecto Kalani se encuentra ubicado en un suelo arenoso (SP) de consistencia suelta a media por lo que se ve conveniente densificarlo, a su vez ante la presencia de nivel freático está expuesto a que ocurra la licuación de suelos por lo que es factible la aplicación de sistemas de estabilización físico con grava por su característica drenante, de esta forma se propone 2 soluciones; el sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación.

ETAPA 03 – Evaluación y diseño de sistemas de estabilización físico

Definidos las dos alternativas a aplicar al proyecto, se analiza y calcula los parámetros en condición mejorada por estos sistemas. El sistema Geopier Impact se diseña en base al manual “Foundation and Soil Reinforcement manual” y la Vibrocompactación con métodos aceptados como el método Priebe 1995, teoría de la elasticidad y método simplificado de Idriss&Boulanger 2008.

ETAPA 04 – Comparativo técnico de soluciones de estabilización físico

Obtenido los resultados de ambos sistemas, se realiza una comparación de las condiciones mejoradas que estas aportan, a su vez una consideración en tiempo y costo para tener la decisión de la solución óptima.

Figura 25*Resumen gráfico de procedimiento**Fuente:* Elaboración propia

3.6.2. Ejecución del procedimiento

3.6.2.1. Recopilación de información de estudios de mecánica de suelos. Para tener el diagnóstico de las condiciones iniciales del terreno donde se cimentará se solicita el estudio de mecánica de suelos realizado, esto con el fin de conocer la clasificación del suelo, nivel freático, pesos unitario secos y saturado, el ángulo de fricción, densidad relativa, contenido de finos, límites de consistencia, contenido de humedad. Parámetros que fueron obtenidos

mediante material extraído por los sondajes SPT y determinando el valor de penetración estándar in situ (N), valores que serán mejorados con la solución de estabilización física.

Figura 26

Perfiles de suelo obtenidos por ensayo SPT



Nota. Se presentan 8 sondajes SPT, revisar ANEXO C. Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.2. Propuesta de sistemas de estabilización físico.

A. Descripción de la zona de estudio. El proyecto “Condominio Kalani” se encuentra ubicado en el distrito de San Antonio, en la provincia de Cañete, departamento de Lima. De acuerdo con el EMS se tiene un terreno arenoso de clasificación SUCS- SP de baja – media compacidad.

Figura 27

Ubicación de condominio Kalani

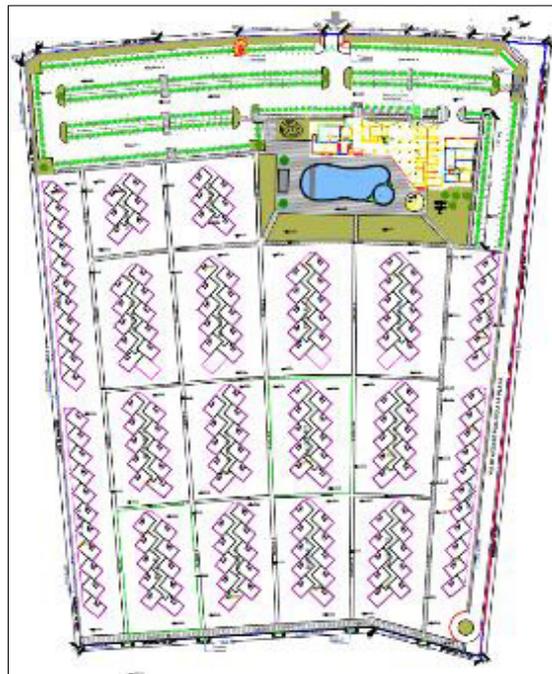


Fuente: Elaboración propia.

El proyecto consta de 175 casas de 2 niveles, y obras civiles adicionales para el funcionamiento del condominio, las estructuras logran una presión de 3tn/m².

Figura 28

Proyecto Kalani trazado y lotización

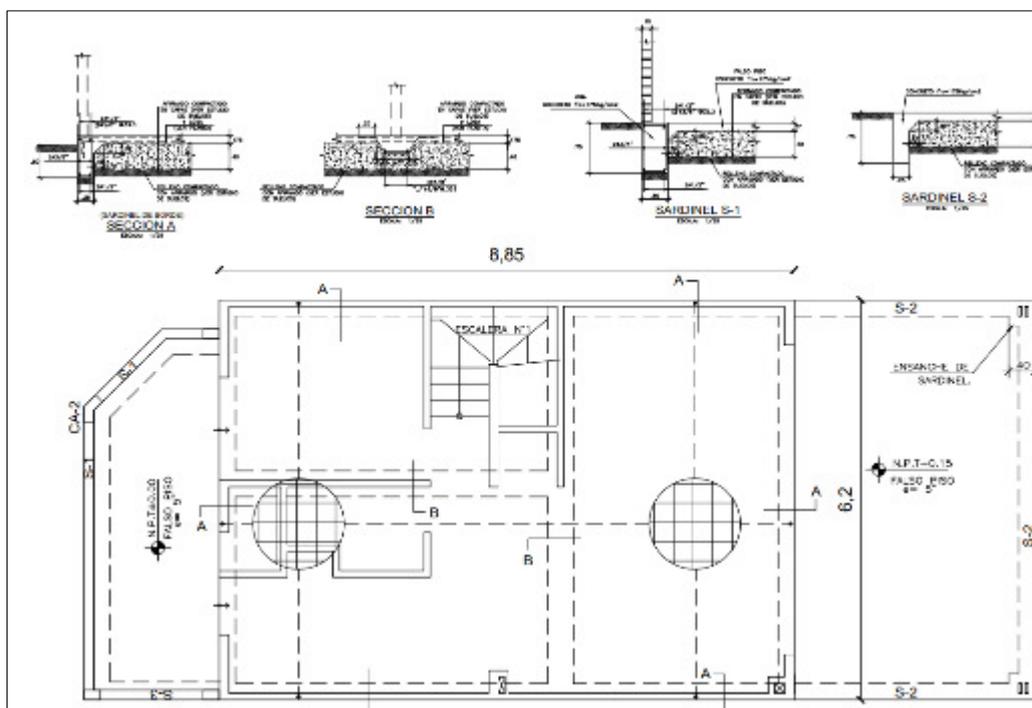


Fuente: Elaboración propia.

En total existen 18 bloques, agrupados en 6,10 y 11 casas. Las viviendas tienen dimensiones típicas, presentando 8.85 m de largo y 6.20 m de ancho; contando con un área de terraza de ingreso y patio de lavandería, sobre estos se construyen muro perimétrico y techo de madera sol y sombra.

Figura 29

Dimensiones de cimentación típica



Fuente: Elaboración propia.

B. Propuesta de sistemas. Con los valores N obtenidos en campo, se determinaron que los 3 primeros metros perforados son potencialmente licuables por lo que generarían asentamientos más altos de los permisibles por las estructuras, es por ello que la solución a emplear debe mitigar este efecto.

Se propone el uso de grava para el control de asientos, así también como un reemplazo con relleno controlado de los estratos deficientes pero estas tomarían más tiempo ya que

debería retirarse el estrato inadecuado y rellenar; por otro lado, el uso de soluciones con grava tiene gran rendimiento y no es necesario una excavación previa.

Se opta proponer el uso de grava debido a la practicidad, alto rendimiento y bajo costo para mejorar suelos arenosos donde descansaran estructuras livianas. Se decide evaluar entre el Sistema Geopier Impact (que viene a ser un sistema patentado) y el uso de columnas de grava por medio de la Vibrocompactación (soluciones de dominio público); que presentan buenas respuestas de mejoramiento de capacidad portante, asentamientos y mitigar licuación.

3.6.2.3. Evaluación y diseño de sistemas de estabilización físico. En esta etapa se estima y calcula para ambas soluciones de estabilización físico los parámetros en condición mejorada mediante las teorías y métodos que estas se apoyan, y definir las dimensiones de cada alternativa.

Se tomará como ejemplo los datos del sondaje P-01 para la descripción del procedimiento del cálculo de cada sistema según los apartados anteriores, mientras que el total de los parámetros mejorados serán expuestos en el capítulo de *Resultados*.

A. Sistema Geopier Impact

Capacidad Portante

Geopier nos indica que según el valor N del ensayo SPT podremos correlacionar con seguridad un valor admisible de capacidad portante.

Para el primer estrato se tiene $N=8$ por lo que se espera un $\sigma_{adm}=335 \text{ kN/m}^2$.

Asentamiento

Como la base equivalente del proyecto es mayor de 3 m se emplea el módulo elástico compuesto. Se definen los siguientes parámetros de diseño:

Tabla 9*Parámetros de diseño Geopier Impact-Asentamientos P-01*

Parámetros de diseño	Valores
Presión de suelo (Tn/m²)	3.00
Ancho de Losa (m)	6.45
Largo de Losa (m)	9.10
Ancho equivalente (m)	7.66
Espaciamiento (m)	2.40
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55
Nivel freático	1.91

Fuente: Elaboración propia.

Definidos los parámetros se propone mejorar 2.5 m para controlar asentamientos menores a la pulgada (2.54cm) en capas de 0.50 m la cual serán identificados según su clasificación SUCS y el valor N y con ello obteniendo el modulo elástico que le corresponde para determinar el asentamiento parcial del estrato analizado en la mitad del mismo. Se tiene que evaluar:

Para la **ZONA SUPERIOR** (suelo mejorado) se tiene lo siguiente:

- Tipo de suelo (SUCS): SP
- Numero de golpes (N): 8
- Modulo elástico del suelo (Tn/m²): para suelos SP, CL-ML, SM, SP-SM les corresponde los valores de 30,12,18,24 respectivamente multiplicados por el valor N proporciona el modulo elástico en KSF.

$$E_m = 8 * 30 * 4.8053 \text{ (KSF a Tn/m}^2\text{)} = 1\ 153.28 \text{ Tn/m}^2$$

- Modulo elástico de los RAP's: Geopier indica un valor de 20 000 Tn/m²
- Modulo elástico Compuesto: $E_g R_a + E_m (1 - R_a)$ que sería igual a:

$$E_{comp} = (20000 * 3.55 / 100) + 1153.228 * (1 - 3.55 / 100) = 1\ 821.69 \text{ Tn/m}^2$$
- Profundidad de asentamiento: donde se mide el análisis de cada capa, es la ubicación al centro de cada capa, para la primera capa es igual a $0.50 / 2 = 0.25 \text{ m}$
- Factor de influencia: es medido del punto de análisis de la platea al centro y al extremo según la solución de Boussineq para una carga rectangular, al centro $I = 1.000$ y al extremo $I = 0.500$ (cálculos de factores de influencia revisar ANEXO D).
- Presión en el suelo: se miden al centro y al extremo según factor de influencia; al centro $= 1.000 * 3 = 3.00 \text{ Tn/m}^2$ y al extremo $= 0.500 * 3 = 1.50 \text{ Tn/m}^2$
- Asentamiento: se miden para cada capa de 0.50 m

$$S_{centro} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}} = \frac{3.00 * 1 * 0.5}{1821.69} = 0.082 \text{ cm}$$

$$S_{extremo} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}} = \frac{3.00 * 0.5 * 0.5}{1821.69} = 0.041 \text{ cm}$$

Por lo tanto, repitiendo el procedimiento para cada capa del sondaje P-01 se obtiene como asentamiento de la zona superior en el centro = 0.391 cm y para el extremo 0.198 cm.

Figura 30

Asentamiento superior – Geopier Impact sondaje P-01

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo				
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. RAP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento		
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm		
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.25	1.000	3.00	0.082	0.500	1.50	0.041		
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.75	0.995	2.98	0.082	0.498	1.50	0.041		
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	1.25	0.977	2.93	0.080	0.493	1.48	0.041		
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	1.75	0.944	2.83	0.078	0.483	1.45	0.040		
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	20000.00	1960.73	2.25	0.897	2.69	0.069	0.468	1.40	0.036		
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			0.391	Asentamiento Superior (cm)			0.198

Nota: Revisar **Anexo F** para visualización de todos los sondajes. Fuente: Elaboración propia.

Para la **ZONA INFERIOR** (debajo de suelo mejorado) se tiene:

Es la zona que no lleva reforzamiento de los elementos Geopier ya no existe modulo compuesto alguno, solo el uso del módulo elástico del suelo; pese a que en los valores N debajo de la zona de refuerzo se obtengan valores altos (según los perfiles explorados con el ensayo SPT), se consideraran 25 golpes para tener un diseño conservador.

Se procede a calcular de igual manera que el asentamiento superior por lo que se tendrían los valores según la siguiente figura:

Figura 31

Asentamiento inferior – Geopier Impact sondaje P-01

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DEBAJO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m2	Tn/m2	Tn/m2	m	adm	Tn/m2	cm	adm	Tn/m2	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.165	0.415	1.25	0.092
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.106	0.32	0.023	0.093	0.280	0.021
16.50 m								Asentamiento Inferior (cm)			Asentamiento Inferior (cm)		
								0.502			0.537		
								Asentamiento Total (cm)			Asentamiento Total (cm)		
								0.893			0.537		

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el asentamiento total del sondaje P-01 se obtiene los valores en el centro =0.893 cm y para el extremo 0.537 cm.

Potencial de licuación

Se tiene que definir los valores que definen el F.S de licuación el CSR y el CRR, por lo que inicialmente calculamos las tensiones cíclicas inducidas por sismo, definiendo los parámetros de diseño iniciales.

Tabla 10

Parámetros de diseño licuación de suelo P-01

Parámetros de diseño	Valores
Magnitud de sismo (Mw):	8
Seudo Aceleración (a/g):	0.45
Diámetro de hoyo Spt (mm):	165
Área de reemplazo (%):	3.14
P. Especifico seco y saturado (kN/m3):	17
Energía de ensayo SPT (%):	60

Nota: Se considera el peso específico saturado para un diseño más conservador. Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis se consideran estratos de espesor de 1 metro. Se calcula las tensiones cíclicas inducidas por sismo, que se gobiernan por la expresión:

$$CSR=0.65.\left(\frac{amax}{g}\right).\left(\frac{\sigma'v0}{\sigma'v0}\right).rd$$

Al estrato de análisis presenta 1.90 % de contenidos de finos según perforación SPT, un peso específico de 17.00 kN/m³, el peso específico del agua es 9.81 kN/m³, el valor N° SPT mejorado es 18 según la capacidad portante mejorada (revisar **Anexo J**).

Se tiene un esfuerzo total parcial del estrato de 17 kN/m² (σ_v par), una presión intersticial parcial de 9.81 kN/m² (μ par); estos valores serían los totales para el primer estrato en análisis, de considerar estratos más profundos vendrían a ser los acumulados. Finalmente se tiene un esfuerzo efectivo de 7.2 kN/m² ($\sigma'v$).

La profundidad (Prof "z") es 1.00 metros, por lo que hallamos el valor de "rd".

$$\text{Caso} = 1.0 - 0.00765 \times z \quad ; \quad z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$rd=1.0-0.00765*1= 0.992$$

por lo tanto:

$$CSR=0.65*(0.45) *(17/7.2) *0.992= 0.686$$

Para el cálculo de la resistencia a las tensiones cíclicas se utiliza el valor de $(N_1)_{60cs}$ que surge de la corrección del ensayo SPT y los factores α y β .

- $C_B= 1.15$ (diámetro mayor a 150 mm)
- $C_E= 1.00$ (energía al 60%)
- $C_R= 0.75$ (profundidad menor a 3)
- $C_S= 1.00$ (no requiere encamisado)
- $C_N= 1.70$ (esfuerzo efectivo 7.2kN/m²)

Calculamos el $(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60}: 18*1.00*1.15*0.75*1.00*1.70= 26.39$$

Según lo definido en el subtítulo 2.1.7.3 hallamos el valor de α y β , se tiene un % de Cont. De Finos menor que 5% por lo que les corresponde los valores de 0 y 1.0 respectivamente. Calculamos el $(N_1)_{60cs}$ que es la única variable para la obtención del CRR:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta. (N_1)_{60} = 0 + 1*(26.39) = 26.39$$

Por lo tanto, tenemos que el CRR se expresa de la siguiente ecuación:

$$CRR = \frac{1}{34-26.39} + \frac{26.39}{135} + \frac{50}{(10*26.39+45)^2} - \frac{1}{200} = 0.322$$

El manual de diseño Geopier nos indica el aumento de resistencia a las tensiones cíclicas por el aumento de presión lateral en la zona reforzada por lo que el factor de aumento es $K_M= 1.20$

Según la profundidad de refuerzo para el estrato se considera un 13% de atracción de esfuerzo de corte y una relación de rigidez de los RAP's con el suelo de 4 (teóricamente se usa

el rango de 7 a 10, pero siendo conservador elegimos 4). Con los valores expuestos se procede al cálculo del factor K_G que no debe ser mayor a la unidad.

$$K_G = \frac{1}{1 - 0.0314 + 0.0314 \times 4 \times 0.13} = 1.00$$

Según la magnitud de diseño se tiene una escala de 8 por lo que se corrige con la ecuación:

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} = \frac{10^{2.24}}{8^{2.56}} = 0.847$$

Finalmente se obtiene el F.S de licuación con la expresión:

$$FS_{mejorado} = \frac{CRR'}{CSR'} = \frac{K_M}{K_G} \times \frac{CRR}{CSR} \times MSF = \frac{1.20}{1.00} \times \frac{0.322}{0.686} \times 0.847 = 0.48$$

Asentamiento Post-Licuación

Se sigue el procedimiento definido en el subtítulo **2.1.6.4** considerando el valor $(N_1)_{60cs}$ en la que están en función los componentes del cambio volumétrico (ϵ_v).

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1.1 - \sqrt{\frac{26.39}{46}} \right)^3 = 0.075 \text{ (considerando un valor máximo de 0.5 y$$

positivo)

$$F_\alpha = 0.032 + 0.69\sqrt{26.39} - 0.13 * 26.39 = 0.15$$

Se tiene la siguiente expresión con el caso de: $F_\alpha < FS < 2$, por lo tanto se define con la expresión:

$$\gamma_{máx} = \min \left(0.075, 0.035(2 - 0.48) \left(\frac{1 - 0.15}{0.48 - 0.15} \right) \right) = 0.075$$

Teniendo definido los anteriores valores se halla el cambio volumétrico unitario con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_v = 1.5 \times \exp(-0.369\sqrt{(26.39)}) \times \min(0.08, 0.075) = 0.017$$

Cetin et al. (2009), considera un factor de reducción (DF) de asentamiento por cambio volumétrico según profundidad (1-di/18), por lo que le corresponde un factor de 0.944.

Finalmente, el asentamiento post- licuación es el producto entre el cambio volumétrico (ε_v), el espesor del estrato de análisis (Δh_i) y el factor de reducción (DF):

$$\Delta S_{iDF} = 0.017 * 1 * 0.944 = 0.016 \text{ (m)} = 1.6 \text{ cm}$$

Figura 32

Asentamiento Geopier Impact Post- licuación y F.S de sondaje P-01

Numero de SPT	Espesor m	yd; ysat kN/m3	N° SPT	C. Finos %	CSR	N60	(N ₁) _{socs}	CRR	Factor K _M	Factor K _G	CSR'	CRR'	MSF	F.S	ε _v	ΔSi (m)	DF reduccion	ΔSi _{DF} (m)
1	1.00	17.00	18	1.90	0.686	15.5	26.39	0.322	1.20	1.000	0.686	0.387	0.847	0.48	0.017	0.017	0.944	0.016
2	1.00	17.00	19	2.00	0.681	17.5	29.72	0.449	1.20	1.000	0.681	0.539	0.847	0.67	0.010	0.010	0.889	0.009
3	1.00	17.00	28	2.40	0.676	27.4	46.53	2.000	1.20	1.000	0.676	2.400	0.847	3.01	0.000	0.000	0.833	0.000
4	1.00	17.00	105	5.80	0.670	102.6	175.20	2.000	1.20	1.000	0.670	2.400	0.847	3.03	0.000	0.000	0.778	0.000
5	1.00	17.00	61	2.10	0.665	66.6	111.88	2.000	1.20	1.000	0.665	2.400	0.847	3.06	0.000	0.000	0.722	0.000
6	1.00	17.00	43	5.30	0.660	47.0	72.16	2.000	1.20	1.000	0.660	2.400	0.847	3.08	0.000	0.000	0.667	0.000
7	1.00	17.00	47	3.50	0.655	51.3	72.86	2.000	1.20	1.000	0.655	2.400	0.847	3.11	0.000	0.000	0.611	0.000
8	1.00	17.00	53	5.90	0.649	57.9	77.21	2.000	1.20	1.000	0.649	2.400	0.847	3.13	0.000	0.000	0.556	0.000
9	1.00	17.00	56	2.20	0.644	64.4	80.59	2.000	1.20	1.000	0.644	2.400	0.847	3.16	0.000	0.000	0.500	0.000
																	S (m)=	0.025
																	S (cm)=	2.452

Nota: Revisar **Anexo H** para visualización todos los parámetros y resultados. Fuente:

Elaboración propia.

B. Sistema Vibrocompactación

Capacidad Portante

Se sigue el procedimiento establecido por Priebe 1995. Definiendo los parámetros de diseño.

Tabla 11

Parámetros de diseño por Priebe sondaje P-01

Parámetros de diseño	Valores
----------------------	---------

Espaciamiento (m):	3.3
Diámetro (m):	0.70
Modulo elástico (MN/m2):	150
Angulo de fricción de la grava (°):	45
Área de reemplazo (%) – Ac/A	3.55
Carga transmitida al suelo (kN/m2):	29.42
Módulo de Poisson (adm):	0.333

Fuente: Elaboración propia.

Calculamos el n_0 inicial con la expresión:

$$K_{ac} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{45}{2}\right) = 0.172$$

$$n_0 = 1 + \frac{A_C}{A} \times \left[\frac{0.5 + f\left(\mu_S, \frac{A_C}{A}\right)}{K_{ac} \times f\left(\mu_S, \frac{A_C}{A}\right)} - 1 \right] = 1 + (3.55\%) \times \left[\frac{0.5 + 1.7435}{0.172 \times 1.7435} - 1 \right] = 1.231$$

$$f\left(\mu_S, \frac{A_C}{A}\right) = \frac{(1 - 0.333) \times (1 - 3.55\%)}{1 - 2 \times 0.333 + 3.55\%} = 1.7435$$

Teniendo el n_0 definido prosigue el cálculo de n_1 que es la corrección por compresibilidad, se calculan el aumento que relación de áreas de reemplazo para definir un nuevo factor mejorado.

$$\left(\frac{A_C}{A}\right)_1 = 0.6723$$

$$\frac{\bar{A}_C}{A} = \frac{1}{28.19 + 0.488} = 0.0349 \quad ; \quad \Delta \frac{A}{A_C} = \frac{1}{0.6723} - 1 = 0.488$$

De igual forma que el n_0 con los valores modificados se calcula el n_1 :

$$n_1 = 1 + \frac{\bar{A}_C}{A} \times \left[\frac{0.5 + f\left(\mu_S, \frac{\bar{A}_C}{A}\right)}{K_{ac} \times f\left(\mu_S, \frac{\bar{A}_C}{A}\right)} - 1 \right] = 1 + 0.0349 \times \left[\frac{0.5 + 1.7475}{0.172 \times 1.7475} - 1 \right] = 1.226$$

Calculamos en valor de f_a para obtener el factor de mejora considerando sobrecarga n_2

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{0.293-1}{0.293} \times \frac{4}{179.81}} = 1.057$$

$$n_2 = f_d x n_1 = 1.057 * 1.226 = 1.296$$

Definidos los factores de mejora se procede con la equivalencia del ángulo de fricción en condición mejorada, mediante:

$$\tan \bar{\varphi} = m' \tan \varphi_C + (1 - m') \tan \varphi_S$$

$$m'_1 = \frac{(n_1-1)}{n_1} = \frac{(1.226-1)}{1.226} = 0.18$$

$$m'_2 = \frac{(n_2-1)}{n_2} = \frac{(1.296-1)}{1.296} = 0.23$$

Teniendo los factores parámetros de los factores de mejora se busca el ángulo φ equivalente, considerando según los definido en el EMS por corte directo el ángulo inicial del suelo es de 22° .

$$\bar{\varphi}_1 = ATAN[0.18 * \tan 45 + (1 - 0.18) * \tan 22] = 27.207^\circ$$

$$\bar{\varphi}_2 = ATAN[0.23 * \tan 45 + (1 - 0.23) * \tan 22] = 28.377^\circ$$

El procedimiento se repite para los estratos en condición mejorada, verificando los ángulos de fricción obtenidos en cada estrato y considerando un valor conservador que sea representativo para toda la profundidad mejorada.

Finalmente se considera un ángulo en condición mejorada de 30.0° con que se obtienen los factores de capacidad de carga de $N_c=37.16$, $N_q=22.46$ y $N_y=19.32$; por lo tanto, consideramos la formulación de capacidad portante por Terzaghi para zapatas cuadradas por falla general por corte:

$$\sigma_u = 1.3c'N_c + qN_q + 0.4\gamma BN_y$$

La base de la cimentación es 7.66 y por ser suelos arenosos no presenta cohesión ($c'=0$)

$$\sigma_u = 0.4 * 16 * 22.46 + 0.4 * 16 * 7.66 * 19.32 = 1090.80 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{FS} = (1090.80/3) = 363.60 \text{ kN/m}^2$$

Figura 33

Capacidad portante por Priebe 1995 sondaje P-01

Parametros del Suelo - SPT - 1								
No	TopL m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	y kN/m ³	u	f °	C kN/m ²
1	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.333	22.00	0.00
2	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.333	22.00	0.00
3	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.333	22.00	0.00
4	0.50	28.19	11.31	13.26	17.00	0.333	22.00	0.00
5	0.50	28.19	12.73	11.78	17.00	0.333	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parametros del Suelo Mejorado											
No	n _o	d(A/Ac)	n ₁	m' ₁	f ₁ °	C ₁ kN/m ²	f _d	n ₂	m' ₂	f ₂ °	C ₂ kN/m ²
1	1.231	0.488	1.226	0.18	27.207	0.000	1.057	1.296	0.23	28.377	0.000
2	1.231	0.488	1.226	0.18	27.207	0.000	1.192	1.435	0.30	30.313	0.000
3	1.231	0.488	1.226	0.18	27.207	0.000	1.367	1.435	0.30	30.313	0.000
4	1.231	0.488	1.226	0.18	27.207	0.000	1.611	1.435	0.30	30.313	0.000
5	1.231	0.556	1.226	0.18	29.452	0.000	1.572	1.382	0.28	31.548	0.000
6											
7											
8											
9											

Nota: Revisar **Anexo E** para visualización de todos los sondajes. Fuente: Elaboración propia.

Asentamiento

El análisis de asentamiento para el sistema de Vibrocompactación es por el método elástico compuesto al igual que el de Geopier, con la diferencia de los parámetros de diseño inicial y con un menor modulo elástico de las columnas de grava de 15000 Tn/m².

Tabla 12

Parámetros de diseño Vibrocompactación-Asentamientos P-01

Parámetros de diseño	valores
----------------------	---------

Presión de suelo (Tn/m²)	3.00
Ancho de Losa (m)	6.45
Largo de Losa (m)	9.10
Ancho equivalente (m)	7.66
Espaciamiento (m)	3.30
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55
Nivel freático	1.91

Fuente: Elaboración propia.

Para la **ZONA SUPERIOR** (suelo mejorado) se tiene lo siguiente:

- Modulo elástico del suelo (Tn/m²):

$$E_m = 8 * 30 * 4.8053 \text{ (KSF a Tn/m}^2\text{)} = 1\,153.28 \text{ Tn/m}^2$$

- Modulo elástico de las CG: Tienen el valor de 15 000 Tn/m²
- Modulo elástico Compuesto: $E_g R_a + E_m (1 - R_a)$ que sería igual a:

$$E_{comp} = (15000 * 3.55/100) + 1153.228 * (1 - 3.55/100) = 1\,644.39 \text{ Tn/m}^2$$

- Presión en el suelo: se miden al centro y al extremo según factor de influencia; al centro = $1.000 * 3 = 3.00 \text{ Tn/m}^2$ y al extremo = $0.500 * 3 = 1.50 \text{ Tn/m}^2$
- Asentamiento: se miden para cada capa de 0.50 m

$$S_{centro} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}} = \frac{3.00 * 1 * 0.5}{1644.39} = 0.091 \text{ cm}$$

$$S_{extremo} = \frac{qIH_{uz}}{E_{comp}} = \frac{3.00 * 0.5 * 0.5}{1644.39} = 0.046 \text{ cm}$$

Por lo tanto, repitiendo el procedimiento para cada capa del sondaje P-01 se obtiene como asentamiento de la zona superior en el centro = 0.433 cm y para el extremo 0.219 cm.

Figura 34*Asentamiento superior- Vibrocompactación sondaje P-01*

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m2	Tn/m2	Tn/m2	m	adm	Tn/m2	cm	adm	Tn/m2	cm	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.25	1.000	3.00	0.091	0.500	1.50	0.046	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.75	0.995	2.98	0.091	0.498	1.50	0.045	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	1.25	0.977	2.93	0.089	0.493	1.48	0.045	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	1.75	0.944	2.83	0.086	0.483	1.45	0.044	
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	15000.00	1783.44	2.25	0.897	2.69	0.075	0.468	1.40	0.039	
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			0.433	Asentamiento Superior (cm)		0.219

Nota: Revisar **Anexo G** para visualización de todos los sondajes. Fuente: Elaboración propia.

Para la **ZONA INFERIOR** (debajo de suelo mejorado) se tiene:

Figura 35*Asentamiento inferior – Vibrocompactación sondaje P-01*

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DEBAJO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	%	Tn/m2	Tn/m2	Tn/m2	m	adm	Tn/m2	cm	adm	Tn/m2	cm	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.165	0.415	1.25	0.092	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.106	0.32	0.023	0.093	0.280	0.021	
16.50 m								Asentamiento Inferior (cm)			0.502	Asentamiento Inferior (cm)		0.339
								Asentamiento Total (cm)			0.935	Asentamiento Total (cm)		0.558

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el asentamiento total del sondaje P-01 se obtiene los valores en el centro =0.935 cm y para el extremo 0.558 cm.

Potencial de licuación

Se definen los parámetros de diseño para el cálculo del F.S, que vendrían a ser los valores de la **tabla 9**, como estos son iguales para ambos sistemas la tensión cíclica del primer estrato de un metro se obtuvo **CSR=0.686** y con coeficientes de corrección SPT definidos por

$C_B= 1.15$, $C_E= 1.00$, $C_R= 0.75$, $C_S= 1.00$, $C_N= 1.70$. El valor N° SPT mejorado es 19 según la capacidad portante mejorada (revisar **Anexo J**).

Calculamos el $(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60}: 19*1.00*1.15*0.75*1.00*1.70= 27.86$$

Según lo definido en el subtítulo 2.1.6.4 hallamos el valor de $\Delta(N_1)_{60}$ que depende del % de finos, con este aumento obtenemos el valor $(N_1)_{60CS}$ para el cálculo del CRR.

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left(1.63 + \frac{9.7}{1.90+0.01} - \left(\frac{15.7}{1.90+0.01}\right)^2\right) \approx 0$$

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}=27.86+0.00=27.86$$

$$CRR_{M=7.5, \sigma'v=1} = \exp\left(\frac{27.86}{14.1} + \left(\frac{27.86}{126}\right)^2 - \left(\frac{27.86}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{27.86}{25.4}\right)^4 - 2.8\right) = 0.38$$

El valor de CRR de 0.38 debe ser corregido por sobrecarga y por escala de magnitud de sismo definiendo así los valores K_σ y MSF :

$$K_\sigma = 1 - \left(\frac{1}{18.9-2.55*\sqrt{27.86}}\right) * \ln\left(\frac{7.2}{101}\right)=1.10$$

$$MSF = 6.9 * \exp\left(\frac{-8}{4}\right) - 0.058= 0.876$$

Obtenidos los factores de corrección se expresa según diseño el CRR:

$$CRR = CRR_{M=7.5, \sigma'v=1} * MSF * K_\sigma=0.38*0.876*1.10= 0.36$$

Por lo tanto, finalmente el factor de seguridad de licuación:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.36}{0.686} = 0.53$$

Asentamiento Post-Licuación

Se evalúa el cambio volumétrico (ε_v) según el subtítulo 2.1.6.4:

$$\gamma_{lim} = 1.859 \left(1.1 - \sqrt{\frac{27.86}{46}} \right)^3 = 0.062$$

$$F_{\alpha} = 0.032 + 0.69\sqrt{27.86} - 0.13 * 27.86 = 0.05$$

Se tiene la siguiente expresión con el caso de: $F_{\alpha} < FS < 2$, por lo tanto se define con la expresión:

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \min \left(0.062, 0.035(2 - 0.53) \left(\frac{1-0.05}{0.53-0.05} \right) \right) = 0.062$$

Hallando el cambio volumétrico unitario se tiene la ecuación:

$$\varepsilon_v = 1.5 \times \exp(-0.369\sqrt{(27.86)}) \times \min(0.08, 0.062) = 0.013$$

Finalmente, el asentamiento post- licuación es el producto entre el cambio volumétrico (ε_v), el espesor del estrato de análisis (Δh_i).

$$\Delta S_i: 0.013 * 1 = 0.013 \text{ (m)} = 1.3 \text{ cm}$$

Figura 36

Asentamiento Vibrocompactación Post- licuación y F.S de sondaje P-01

Numero de SPT	Espesor m	$\gamma_d; \gamma_{sat}$ kN/m ³	N° SPT	C. Finos %	CSR	N60	(N ₁) _{60CS}	CRR M=7.5, $\sigma_v=1$	K _σ	MSF	CRR	F.S	Δh _i (m)	ε _v	ΔS _i (m)
1	1.00	17.00	19	1.90	0.686	16.4	27.9	0.38	1.10	0.876	0.36	0.53	1.00	0.013	0.013
2	1.00	17.00	18	2.00	0.681	16.6	28.2	0.39	1.10	0.876	0.38	0.55	1.00	0.013	0.013
3	1.00	17.00	28	2.40	0.676	27.4	46.5	2.00	1.10	0.876	1.93	2.85	1.00	0.000	0.000
4	1.00	17.00	105	5.80	0.670	102.6	174.5	2.00	1.10	0.876	1.93	2.87	1.00	0.000	0.000
5	1.00	17.00	61	2.10	0.665	66.6	111.9	2.00	1.10	0.876	1.93	2.90	1.00	0.000	0.000
6	1.00	17.00	43	5.30	0.660	47.0	72.0	2.00	1.10	0.876	1.93	2.92	1.00	0.000	0.000
7	1.00	17.00	47	3.50	0.655	51.3	72.9	2.00	1.10	0.876	1.93	2.94	1.00	0.000	0.000
8	1.00	17.00	53	5.90	0.649	57.9	76.9	2.00	1.10	0.876	1.93	2.97	1.00	0.000	0.000
9	1.00	17.00	56	2.20	0.644	64.4	80.6	2.00	1.10	0.876	1.93	2.99	1.00	0.000	0.000
														S (m)=	0.026
														S (cm)=	2.587

Nota: Revisar **Anexo I** para visualización todos los sondajes. Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.4. Comparativo técnico de soluciones de estabilización físico. Obtenido los resultados según el procedimiento de cálculo de cada uno de los indicadores para cada sistema de mejoramiento se comparan los valores totales de que resultan del análisis de cada estrato,

expresados en tablas que muestran la diferencia numérica y porcentual entre ambas soluciones. Teniendo la diferencia técnica se presentan los costos de realizar cada sistema y el tiempo que toma instalarlos, con lo que finalmente se decide la opción óptima para el proyecto Kalani, las tablas de comparación se presentan en el capítulo de resultados.

3.7. Análisis de datos

Con el registro de los datos recolectados y realizando la evaluación de los dos sistemas de estabilización físico se utilizó tablas y gráficos estadísticos procesados en plantillas de hojas de cálculo Excel **APLICANDO ESTADISTICA DESCRIPTIVA** para determinar los resultados de los indicadores de capacidad portante, asentamiento y licuación de suelos; a su vez un análisis de beneficio en costo y tiempo de ejecución finalizando con una matriz de decisión que permitió dar a conocer la mejor solución para el problema inicial de suelo no apto, de esta forma se evidencio la validez de la hipótesis planteada.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de la investigación

En capítulo se expondrá los valores calculados de cada indicador por cada uno de los sistemas de mejoramiento, estos serán mostrados en tablas de cada uno de los sondajes que se realizaron al proyecto con sus condiciones mejoradas. Se presenta las condiciones iniciales de partida del suelo sin mejorar, para el análisis comparativo del aporte tanto del sistema Geopier Impact como la Vibrocompactación.

4.1.1. Propiedades mecánicas del suelo en condición no mejorada (suelo patrón)

Al obtener el estudio de mecánica de suelos esta nos da una radiografía del terreno donde se pretende cimentar y nos indica los valores de cada indicador en condición no mejorada.

Tabla 13

Propiedades geotécnicas iniciales de suelo arenoso sin mejorar

Propiedad mecánica	Valores	Unidad
Capacidad portante	98.1	kN/m ²
Asentamiento estático	2.28	cm

Fuente: Elaboración propia.

Según análisis de licuación de suelos se presentan que los primeros tres metros del perfil estratigráfico son potencialmente licuables con $FS < 1$ (con valores tan bajos entre el rango 0.2 a 0.3) y con deformaciones volumétricas grandes que generan asentamientos más grandes que los permisibles.

Tabla 14

Efecto sísmico de asentamiento post-licuación, condición no mejorada

Sondaje	Profundidad de Estrato	Asentamiento Post –
	Licuable	Licuación (cm)
P-01	0.0 a 3.0	7.69
P-02	0.0 a 3.0	6.64
P-03	0.0 a 2.5	5.60
P-04	0.0 a 3.5	9.20
P-05	0.0 a 2.0	4.26
P-06	0.0 a 1.5	2.75
P-07	0.0 a 2.5	6.72
P-08	0.0 a 2.5	4.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Factores de seguridad en condición no mejorada

Estrato	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08
1	0.20	0.20	0.20	0.15	0.20	0.20	0.15	0.20
2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	0.20
3	0.30	0.25	0.25	0.20	0.30	0.30	0.25	0.30
4	2.00	2.00	2.00	0.60	2.00	2.00	2.00	2.00
5	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
6	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
7	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
8	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
9	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. *Propiedades mecánicas de suelo mejorado con estabilización físico*

Se presentan los valores de cada sistema de mejoramiento de suelo, según las correlaciones y métodos teóricos expuestos.

4.1.2.1. Sistema Geopier Impact

A. Capacidad Portante. El manual de diseño Geopier correlaciona los valores del SPT según la tabla de “*Foundation and Soil Reinforcement Manual*”, obteniendo valores mejorados.

Tabla 16

Capacidad portante mejorada con Sistema Geopier Impact

Sondaje	Valor N _{spt}	σ mejorado adm (kN/m ²)
P-01	8	335
P-02	11	383
P-03	13	407
P-04	8	335
P-05	12	383
P-06	17	431
P-07	7	335
P-08	14	407

Fuente: Elaboración propia.

B. Asentamiento Elástico. Según el análisis de los estratos de la zona superior (mejorada) y la zona inferior (debajo del mejoramiento) por el método elástico compuesto se determinaron los asentamientos producidos.

Tabla 17

Asentamiento elástico mejorado con Sistema Geopier Impact

7	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
8	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
9	2.00	2.00	2.00	-	2.00	2.00	2.00	2.00
10	-	2.00	2.00	-	2.00	2.00	2.00	2.00

Fuente: Elaboración propia.

D. Asentamiento Post- Licuación. Con el método Idriss y Boulanger (2008) hallamos los asentamientos inducidos por sismo.

Tabla 19

Asentamiento Post-licuación mejorado con sistema Geopier Impact

Sondaje	Profundidad de Estrato	Asentamiento Post –
	Licuable	Licuación (cm)
P-01	0.0 a 2.0	2.45
P-02	0.0 a 2.0	1.84
P-03	0.0 a 1.0	0.76
P-04	0.0 a 2.0	2.25
P-05	0.0 a 1.0	0.98
P-06	0.0 a 1.0	0.42
P-07	0.0 a 2.0	1.72
P-08	0.0 a 1.0	0.76

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Sistema Vibrocompactación

A. Capacidad Portante. Mediante el procedimiento Priebe 1995 se obtuvo el ángulo de fricción mejorado por un área de reemplazo de 3.55 %.

Tabla 20*Capacidad portante mejorada con Sistema Vibrocompactación*

Sondaje	Φ Equivalente	σ mejorado ultima	σ mejorado adm
		(kN/m ²)	(kN/m ²)
P-01	30°	1090.80	363.60
P-02	30°	1090.80	363.60
P-03	32°	1522.09	507.36
P-04	31°	1287.49	429.16
P-05	31°	1287.49	429.16
P-06	31°	1287.49	429.16
P-07	30°	1090.80	363.60
P-08	30°	1090.80	363.60

Fuente: Elaboración propia.

B. Asentamiento Elástico. Se determinó los asentamientos de la zona superior e inferior mediante el método elástico compuesto.

Tabla 21*Asentamiento elástico mejorado con Sistema Vibrocompactación*

Sondaje	Asentamiento elástico	Asentamiento elástico
	mejorado Centro (cm)	mejorado Extremo (cm)
P-01	0.935	0.558
P-02	0.854	0.518
P-03	0.945	0.564
P-04	0.905	0.543
P-05	0.842	0.512

P-06	0.757	0.468
P-07	0.927	0.554
P-08	0.776	0.478

Fuente: Elaboración propia.

C. Potencial de licuación. Se calcularon los valores del FS para cada estrato dando como resultado en promedio mayor que la unidad, posteriormente igual que el sistema Geopier Impact se analizaran los primeros estratos que tienen valores de FS bajos.

Tabla 22

Potencial de licuación mejorado con Sistema Vibrocompactación

Estrato	P-01	P-02	P-03	P-04	P-05	P-06	P-07	P-08
1	0.53	0.53	2.00	0.94	0.94	0.94	0.53	0.53
2	0.55	0.55	2.00	1.05	2.00	2.00	0.66	1.94
3	2.00	2.00	2.00	0.56	2.00	2.00	2.00	2.00
4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
5	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
6	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
7	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
8	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
9	2.00	2.00	2.00	-	2.00	2.00	2.00	2.00
10	-	2.00	2.00	-	2.00	2.00	2.00	2.00

Fuente: Elaboración propia.

D. Asentamiento Post- Licuación. Los asentamientos generados por el reacomodo de partículas inducido por la fuerza sísmica se calcularon mediante el método Idriss y Boulanger (2008).

Tabla 23*Asentamiento post-licuación mejorado con Sistema Vibrocompactación*

Sondaje	Profundidad de Estrato Licuable	Asentamiento Post – Licuación (cm)
P-01	0.0 a 2.0	2.59
P-02	0.0 a 2.0	2.59
P-03	No licuable	0.00
P-04	0.0 a 1.0	2.42
P-05	0.0 a 1.0	0.62
P-06	0.0 a 1.0	0.62
P-07	0.0 a 2.0	2.29
P-08	0.0 a 1.0	1.35

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. Costos y tiempo de ejecución. Se presentará los costos directos que representan la instalación de cada sistema y sus respectivos tiempos de ejecución. El presupuesto se presenta en la moneda de dólares, con una T.C de 3.55 a fecha Agosto 2020.

A. Sistema Geopier Impact

Figura 37*Costo directo de Sistema Geopier Impact*

Item	Descripción	Und	Cantidad	P.U \$	Parcial \$
1.0	Movilización, Desmovilización y Ensamblaje de Equipos	Glb	1.00	14,640.00	14,640.00
2.0	Sistema de Refuerzo Geopier Impact				
2.1	Impact, Diametro 0.51 metros, 2.50 metros de profundidad	Und.	2,763.00	101.90	281,549.70
3.0	Control de Calidad				
3.1	Prueba de Módulo de Rigidez	Und.	3.00	10,000.00	30,000.00
4.0	COSTO DIRECTO				326,189.70

Nota: El ratio de costo por 1m3 es de \$ **231.16**. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24

Tiempo de ejecución de Sistema Geopier Impact

Descripción	Cantidad	Unidad
Movilización, Ensamblaje y Desmovilización	8	Días calendario
Pruebas de Modulo de Rigidez	6	Días calendario
Ejecución de RAP's	50	Días calendario
Plazo total de ejecución	64	

Nota: Se considera jornadas diarias de 8 Horas. Fuente: Elaboración propia.

B. Sistema Vibrocompactación

Figura 38

Costo directo de Sistema Vibrocompactación

Item	Descripción	Und	Cantidad	P.U \$	Parcial \$
1.0	Movilización, Desmovilización y Ensamblaje de Equipos	Glb	1.00	52,000.00	52,000.00
2.0	Sistema de Vibrocompactación				
2.1	Impact, Diametro 0.70 metros, 2.50 metros de profundidad	Und.	1,467.00	156.41	229,453.85
3.0	Control de Calidad				
3.1	Prueba de Módulo de Rigidez	Und.	3.00	6,410.26	19,230.77
4.0	COSTO DIRECTO				300,684.62

Nota: El ratio de costo por 1m3 es de \$ **213.04**. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Tiempo de ejecución de Sistema Vibrocompactación

Descripción	Cantidad	Unidad
Movilización, Ensamblaje y Desmovilización	10	Días calendario
Pruebas de Modulo de Rigidez	6	Días calendario

Ejecución de Columnas de grava	40	Días calendario
Plazo total de ejecución	56	

Nota: Se considera jornadas diarias de 8 Horas. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Comparación de resultados

Se presentan las diferencias de los parámetros mecánicos de las condicionales sin mejorar y lo obtenido con los dos sistemas propuestos.

4.1.3.1. Capacidad Portante

Tabla 26

Comparativo de capacidad portante

Sondaje	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$(Geopier – Suelo)	$\Delta\%$(Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$(Geopier -Vibroc)
P-01	98.1	335.0	363.6	341.5%	370.6%	92.1%
P-02	98.1	383.0	363.6	390.4%	370.6%	105.3%
P-03	98.1	407.0	507.4	414.9%	517.2%	80.2%
P-04	98.1	335.0	429.2	341.5%	437.5%	78.1%
P-05	98.1	383.0	429.2	390.4%	437.5%	89.2%
P-06	98.1	431.0	429.2	439.3%	437.5%	100.4%
P-07	98.1	335.0	363.6	341.5%	370.6%	92.1%
P-08	98.1	407.0	363.6	414.9%	370.6%	111.9%
Promedio	98.1	377.0	406.2	384.3%	414.0%	93.7%

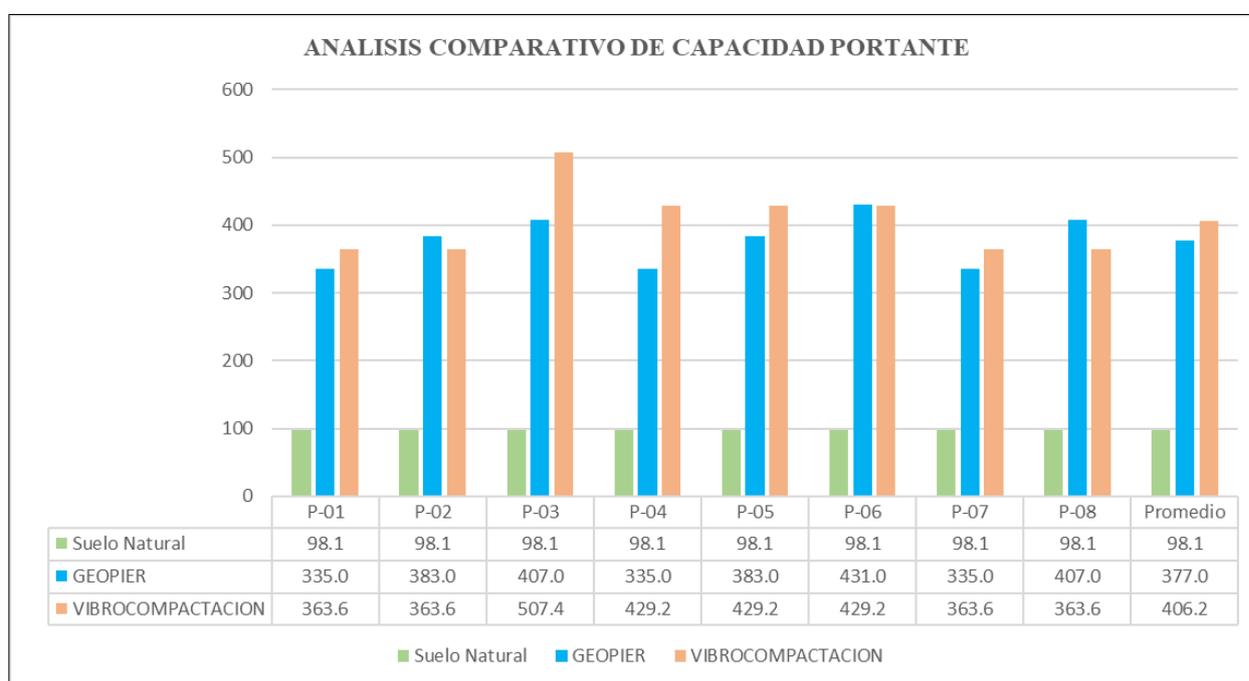
Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 26**, se comparan los valores de capacidad portante, del Sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación, respecto a la condición no mejorada del suelo matriz. En promedio quien representa mayor respuesta mecánica es el sistema de Vibrocompactación.

Siendo representativamente el sistema Geopier Impact el 93.7% de la Vibrocompactación. El suelo natural presenta 98.1 kN/m² teniendo un incremento de 278.9 kN/m² y 308.1 kN/m² respectivamente, llegando a capacidad portante admisible de 377.0 kN/m² y 406.2 kN/m² en promedio para cada sistema. Por medio de cuadros estadísticos se representan los aumentos de capacidad portante respecto al suelo matriz.

Figura 39

Cuadro estadístico de capacidad portante (σ_{adm} kN/m²)

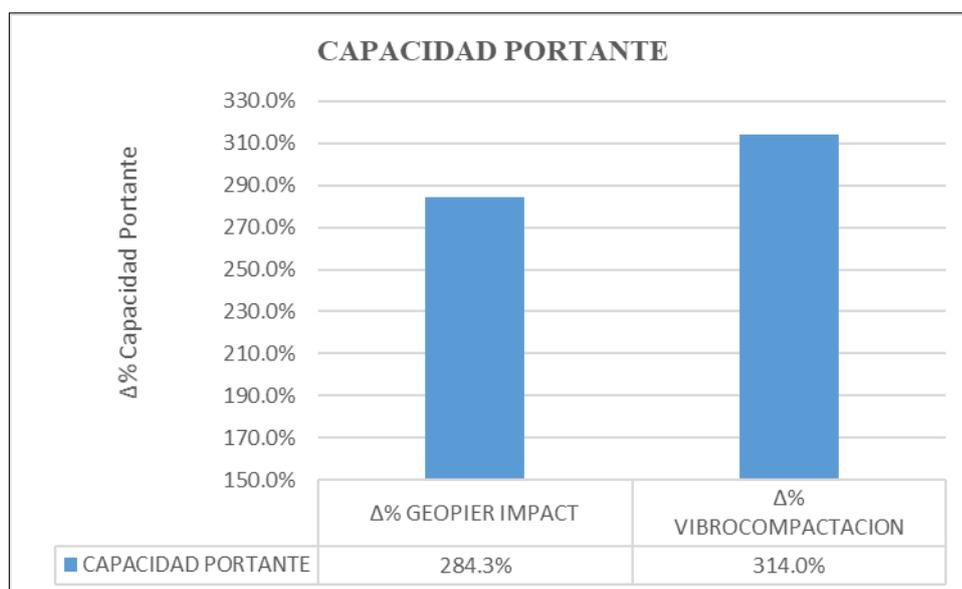


Nota. En la **Figura N°39**. Nos evidencia que mediante los sistemas de estabilización físico eleva considerablemente la capacidad portante a diferencia del suelo matriz no mejorado, para los ocho sondajes de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 40**, nos indica el aumento porcentual promedio de la capacidad portante con los sistemas Geopier Impact y Vibrocompactación, respecto a la condición inicial sin mejoramiento del suelo matriz, incrementando en 284.3% y 314.0% respectivamente.

Figura 40

Incremento de capacidad portante con sistemas de estabilización físico



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.2. Asentamiento Elástico

Tabla 27

Comparativo de asentamientos elásticos (cm)

Sondaje	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	Δ%(Geopier – Suelo)	Δ%(Vibroc – Suelo)	Δ%(Geopier -Vibroc)
P-01	2.28	0.893	0.935	39.2%	41.0%	95.5%
P-02	2.28	0.826	0.854	36.2%	37.5%	96.7%
P-03	2.28	0.899	0.945	39.4%	41.4%	95.1%
P-04	2.28	0.868	0.905	38.1%	39.7%	95.9%
P-05	2.28	0.815	0.842	35.7%	36.9%	96.8%
P-06	2.28	0.742	0.757	32.5%	33.2%	98.0%
P-07	2.28	0.884	0.927	38.8%	40.7%	95.4%
P-08	2.28	0.759	0.776	33.3%	34.0%	97.8%

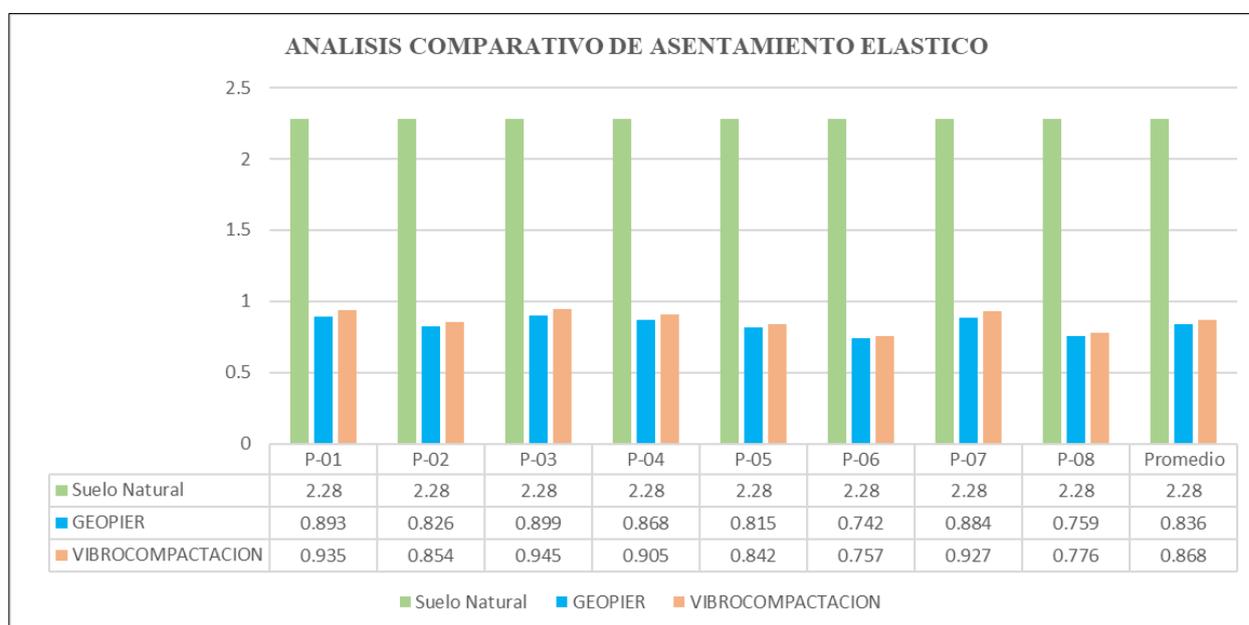
Promedio	2.28	0.836	0.868	36.7%	38.1%	96.4%
-----------------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 27**, se comparan los valores de asentamiento elástico, del Sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación, respecto a la condición no mejorada del suelo matriz. En promedio quien presenta menores asentamientos es el sistema de Geopier Impact, representando el 96.4% en comparación de la Vibrocompactación. El suelo natural presenta 2.28 cm teniendo una reducción de 1.444 cm y 1.412 cm respectivamente, llegando a asentamientos elásticos de 0.836 cm y 0.868 cm en promedio para cada sistema. Mediante cuadros estadísticos se grafican la reducción de asentamiento elástico en comparación del suelo matriz.

Figura 41

Cuadro estadístico de asentamiento elástico



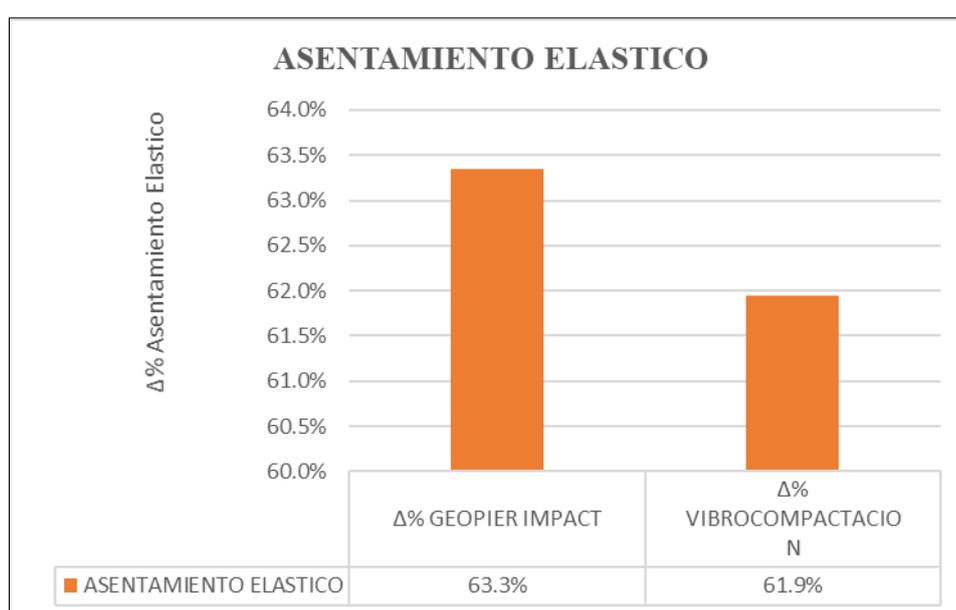
Nota. En la **Figura N°41**. Nos evidencia la reducción de asentamiento elásticos con los sistemas de estabilización físico, considerando la condición en el centro donde se presentan los

más altos valores, para cada uno de los ocho sondajes de investigación. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 42** nos indica la reducción porcentual promedio del asentamiento elástico con los sistemas Geopier Impact y Vibrocompactación respecto a la condición inicial sin mejoramiento del suelo matriz, disminuyendo en 63.3% y 61.9% respectivamente.

Figura 42

Reducción de asentamiento elástico con sistemas de estabilización físico



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3. Asentamiento Post-Licuación

Tabla 28

Comparativo de asentamiento post-licuación

Sondaje	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	Δ%(Geopier – Suelo)	Δ%(Vibroc – Suelo)	Δ%(Geopier -Vibroc)
P-01	7.69	2.450	2.590	31.9%	33.7%	94.6%
P-02	6.64	1.840	2.590	27.7%	39.0%	71.0%

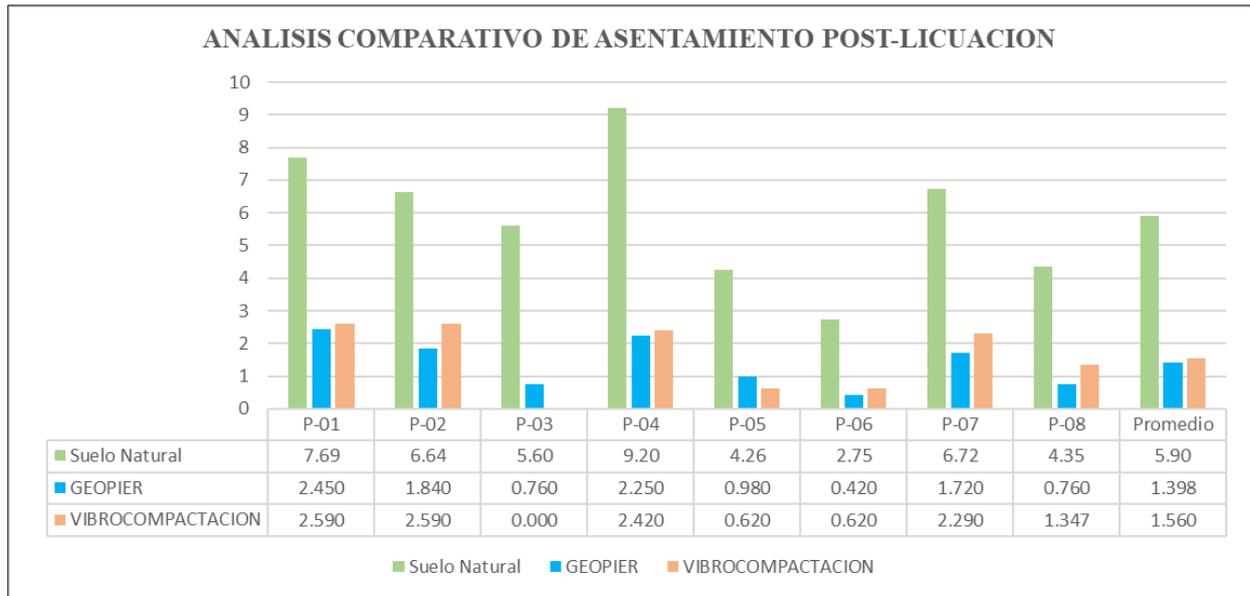
P-03	5.60	0.760	0.000	13.6%	-	-
P-04	9.20	2.250	2.420	24.5%	26.3%	93.0%
P-05	4.26	0.980	0.620	23.0%	14.6%	158.1%
P-06	2.75	0.420	0.620	15.3%	22.5%	67.7%
P-07	6.72	1.720	2.290	25.6%	34.1%	75.1%
P-08	4.35	0.760	1.347	17.5%	31.0%	56.4%
Promedio	5.90	1.398	1.560	23.6%	28.7%	88.0%

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 28**, se comparan los valores de asentamiento post-licuación, del Sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación, respecto a la condición no mejorada del suelo matriz. En promedio quien presenta menores asentamientos es el sistema de Geopier Impact, representando el 88.0% en comparación de la Vibrocompactación. El suelo natural presenta 5.902 cm en promedio teniendo una reducción de 4.504 cm y 4.342 cm respectivamente, llegando a asentamientos post-licuación de 1.398 cm y 1.560 cm en promedio para cada sistema. Por medio de cuadros estadísticos se contrastan las reducciones de asentamiento post-licuación del suelo matriz.

Figura 43

Cuadro estadístico de asentamiento post-licuación (cm)

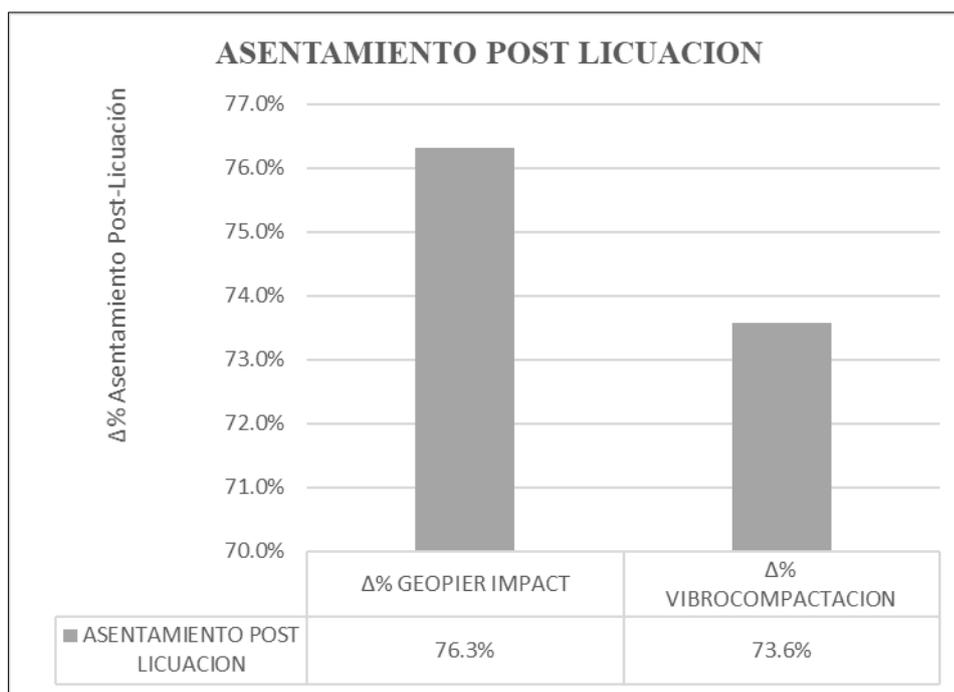


Nota. En la **Figura N°43**. Nos evidencia la reducción de asentamiento post-licuación con los sistemas de estabilización físico, para cada uno de los ocho sondajes de investigación. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 44** nos indica la reducción porcentual promedio del asentamiento post-licuación con los sistemas Geopier Impact y Vibrocompactación respecto a la condición inicial sin mejoramiento del suelo matriz, disminuyendo en 76.3% y 73.6% respectivamente.

Figura 44

Reducción de asentamiento post-licuación con sistemas de estabilización físico



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.4. Potencial de licuación. Según lo recopilado del EMS se indicó que los primeros tres metros son licuables, por lo que de manera resumen se verificara el aumento del factor de seguridad de licuación (FS) proporcionado por los sistemas de estabilización en estos estratos para cada sondaje realizado.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-01**.

Tabla 29

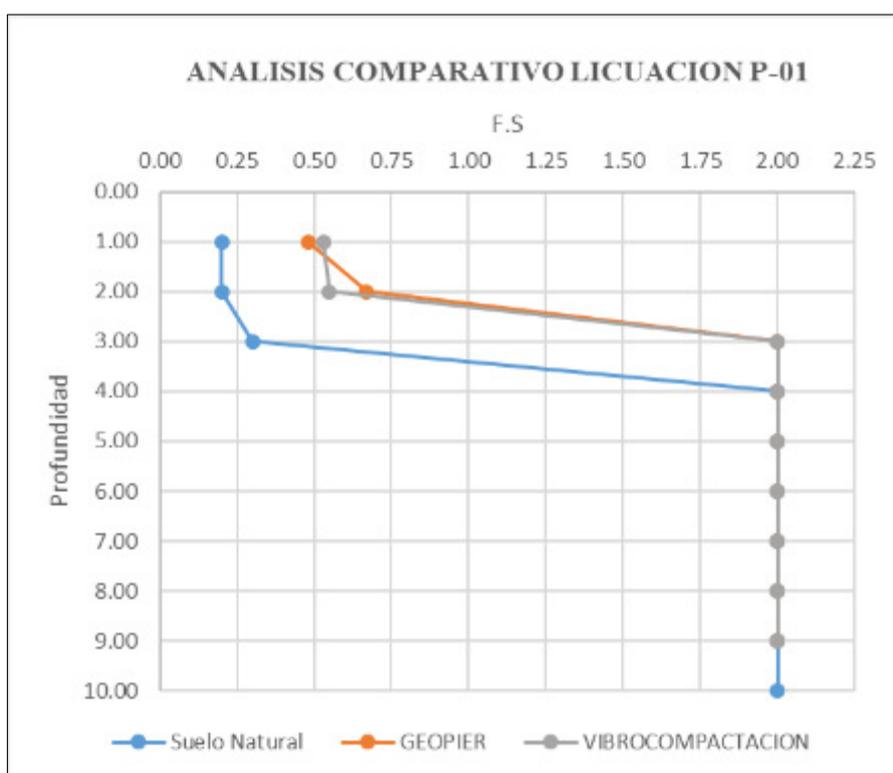
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-01

Profundidad	Suelo	Sistema	Sistema	$\Delta\%$ (Geopier	$\Delta\%$ (Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier
	Natural	Geopier	Vibroc	- Suelo)	- Suelo)	-Vibroc
1.00	0.20	0.48	0.53	240.00%	265.00%	90.57%
2.00	0.20	0.67	0.55	335.00%	275.00%	121.82%
3.00	0.30	2.00	2.00	666.67%	666.67%	100.00%
Promedio	0.23	1.05	1.03	413.89%	402.22%	104.13%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-01



Nota. En la **Figura N°45**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-01 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 104.13% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-02**.

Tabla 30

Comparativo de potencial de licuación sondaje P-02

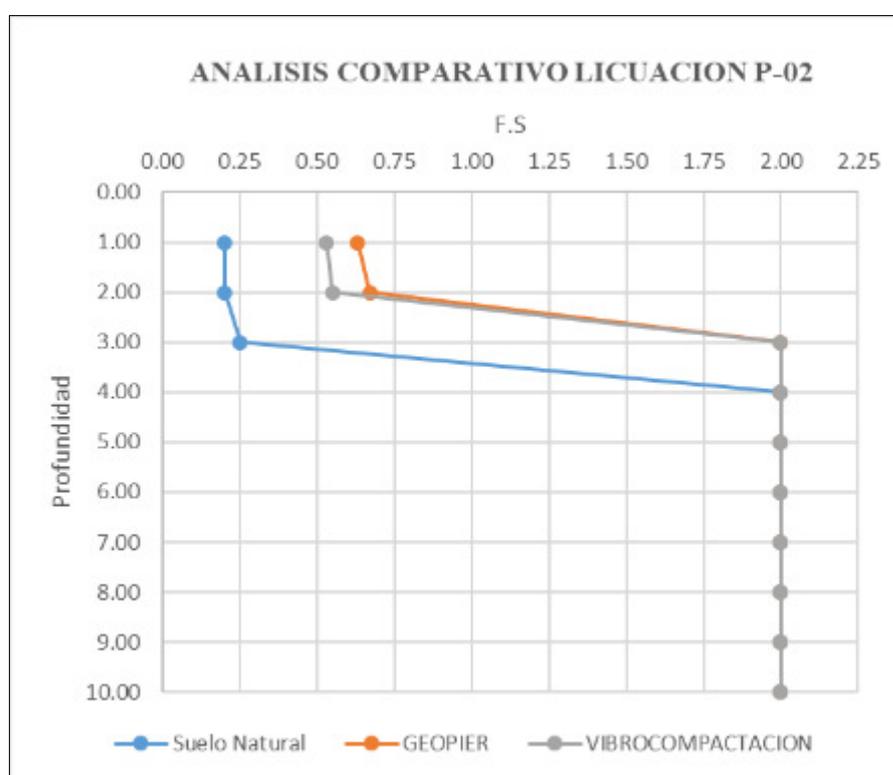
Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier - Suelo)	$\Delta\%$ (Vibroc - Suelo)	$\Delta\%$ (Geopier - Vibroc)
1.00	0.25	0.50	0.50	100%	100%	0%
2.00	0.25	0.75	0.75	200%	200%	0%
3.00	0.25	1.00	1.00	300%	300%	0%
4.00	0.25	1.25	1.25	400%	400%	0%
5.00	0.25	1.50	1.50	500%	500%	0%
6.00	0.25	1.75	1.75	600%	600%	0%
7.00	0.25	2.00	2.00	700%	700%	0%
8.00	0.25	2.00	2.00	700%	700%	0%
9.00	0.25	2.00	2.00	700%	700%	0%
10.00	0.25	2.00	2.00	700%	700%	0%

1.00	0.20	0.63	0.53	315.00%	265.00%	118.87%
2.00	0.20	0.67	0.55	335.00%	275.00%	121.82%
3.00	0.25	2.00	2.00	800.00%	800.00%	100.00%
Promedio	0.22	1.10	1.03	483.33%	446.67%	113.56%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-02



Nota. En la **Figura N°46**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-02 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 113.56% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-03**.

Tabla 31

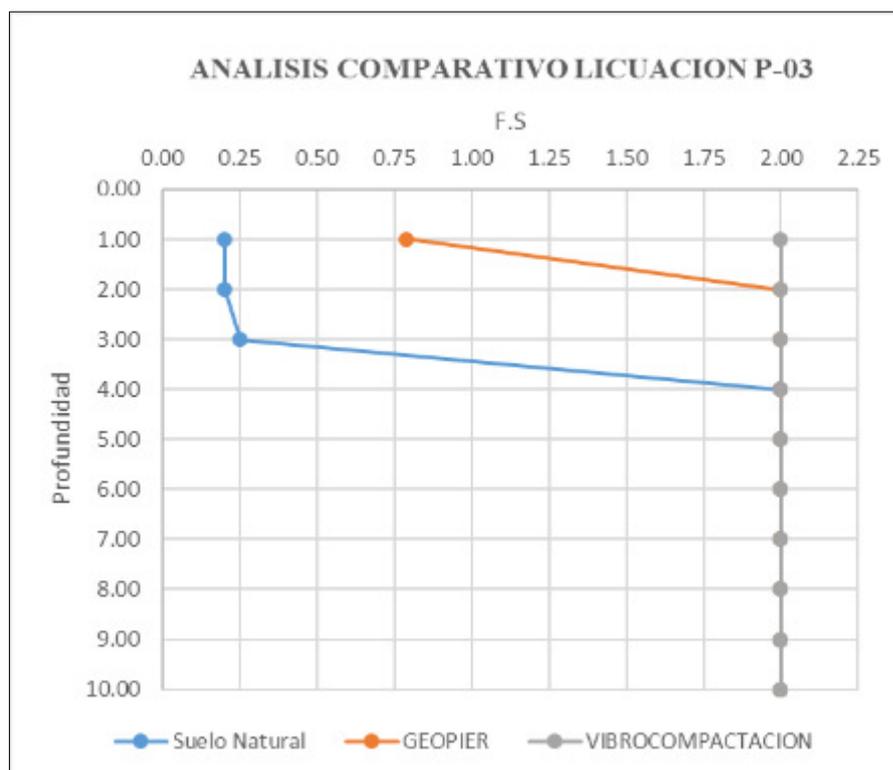
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-03

Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier – Suelo)	$\Delta\%$ (Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$ (Geopier -Vibroc
1.00	0.20	0.79	2.00	395.00%	1000.00%	39.50%
2.00	0.20	2.00	2.00	1000.00%	1000.00%	100.00%
3.00	0.25	2.00	2.00	800.00%	800.00%	100.00%
Promedio	0.22	1.60	2.00	731.67%	933.33%	79.83%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Cuadro estadístico de potencial de licuación P--03



Nota. En la **Figura N°47**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-03 el sistema Geopier aporta un menor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 79.83% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-04**.

Tabla 32

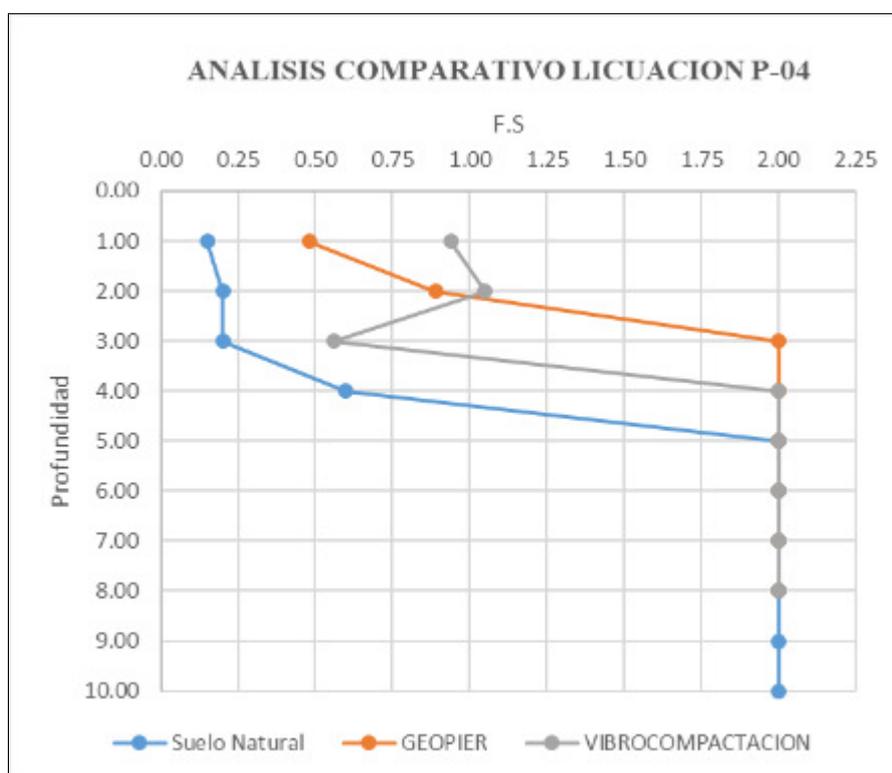
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-04

Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier – Suelo)	$\Delta\%$ (Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$ (Geopier – Vibroc)
1.00	0.15	0.48	0.94	320.00%	626.67%	51.06%
2.00	0.20	0.89	1.05	445.00%	525.00%	84.76%
3.00	0.20	2.00	0.56	1000.00%	280.00%	357.14%
Promedio	0.18	1.12	0.85	588.33%	477.22%	164.32%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-04



Nota. En la **Figura N°48**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-04 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 164.32% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-05**.

Tabla 33

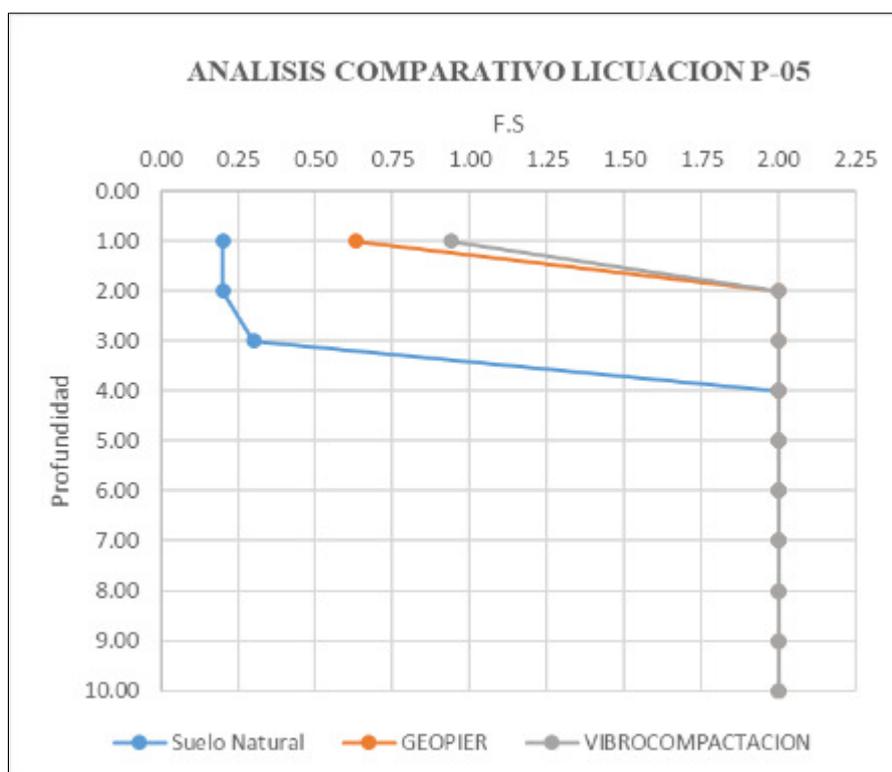
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-05

Profundidad	Suelo	Sistema	Sistema	$\Delta\%$ (Geopier	$\Delta\%$ (Vibrocomp	$\Delta\%$ (Geopier
	Natural	Geopier	Vibrocomp	- Suelo)	- Suelo)	-Vibrocomp
1.00	0.20	0.63	0.94	315.00%	470.00%	67.02%
2.00	0.20	2.00	2.00	1000.00%	1000.00%	100.00%
3.00	0.30	2.00	2.00	666.67%	666.67%	100.00%
Promedio	0.23	1.54	1.65	660.56%	712.22%	89.01%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-05



Nota. En la **Figura N°49**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-05 el sistema Geopier aporta un menor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 89.01% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-06**.

Tabla 34

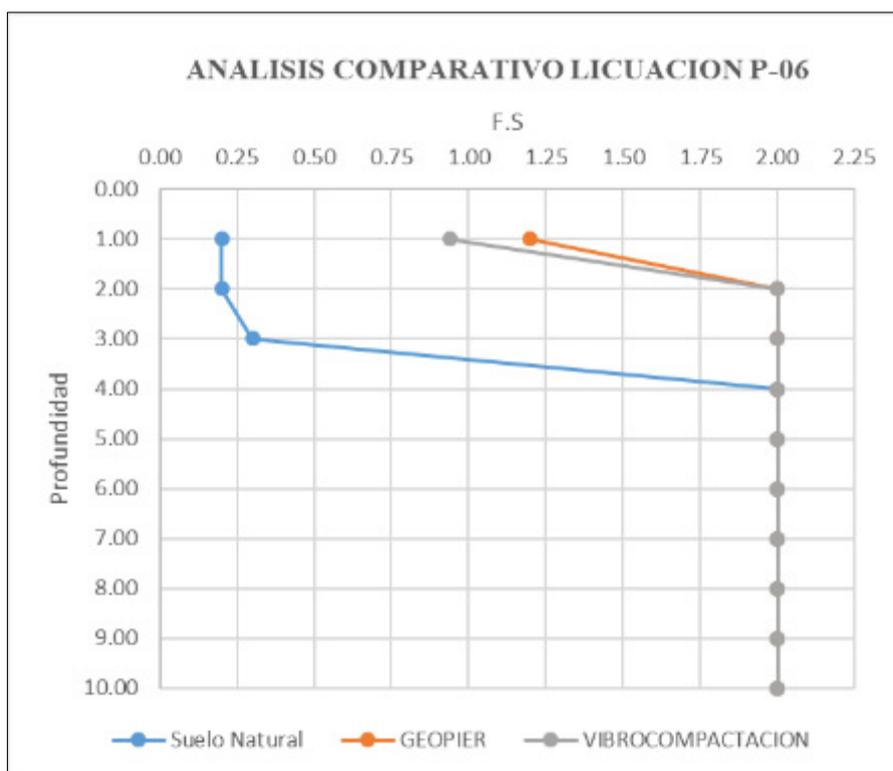
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-06

Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$(Geopier – Suelo)	$\Delta\%$(Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$(Geopier -Vibroc)
1.00	0.20	1.20	0.94	600.00%	470.00%	127.66%
2.00	0.20	2.00	2.00	1000.00%	1000.00%	100.00%
3.00	0.30	2.00	2.00	666.67%	666.67%	100.00%
Promedio	0.23	1.73	1.65	755.56%	712.22%	109.22%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-06



Nota. En la **Figura N°50**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-06 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 109.22% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-07**.

Tabla 35

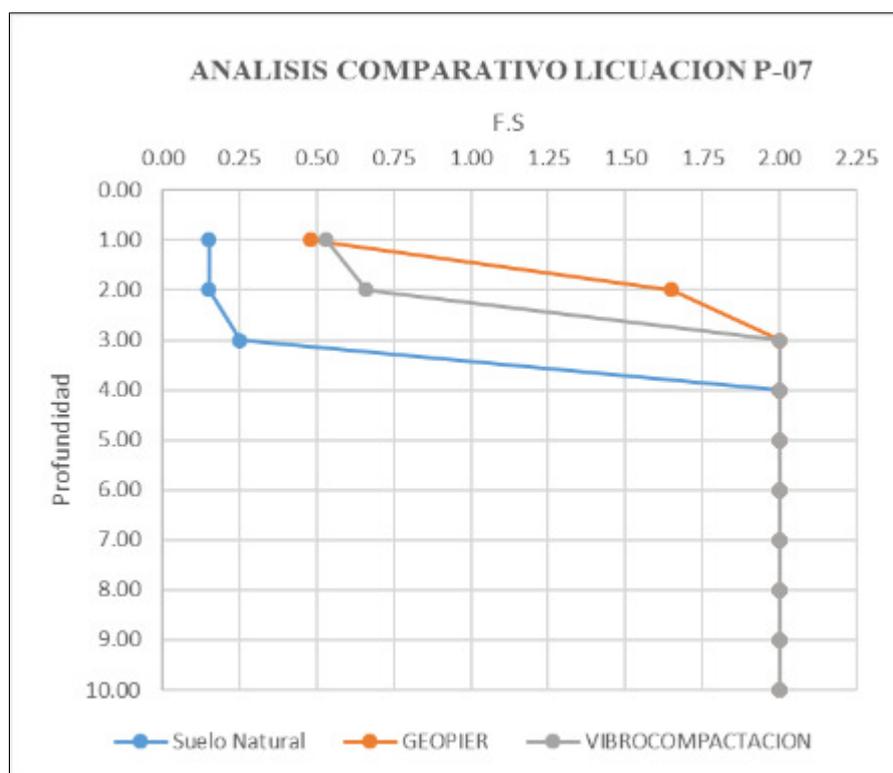
Comparativo de potencial de licuación sondaje P-07

Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier - Suelo)	$\Delta\%$ (Vibroc - Suelo)	$\Delta\%$ (Geopier - Vibroc)
1.00	0.15	0.48	0.53	320.00%	353.33%	90.57%
2.00	0.15	1.65	0.66	1100.00%	440.00%	250.00%
3.00	0.25	2.00	2.00	800.00%	800.00%	100.00%
Promedio	0.18	1.38	1.06	740.00%	531.11%	146.86%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-07



Nota. En la **Figura N°51**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-07 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 146.86% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta la comparación del **sondaje SPT P-08**.

Tabla 36

Comparativo de potencial de licuación sondaje P-08

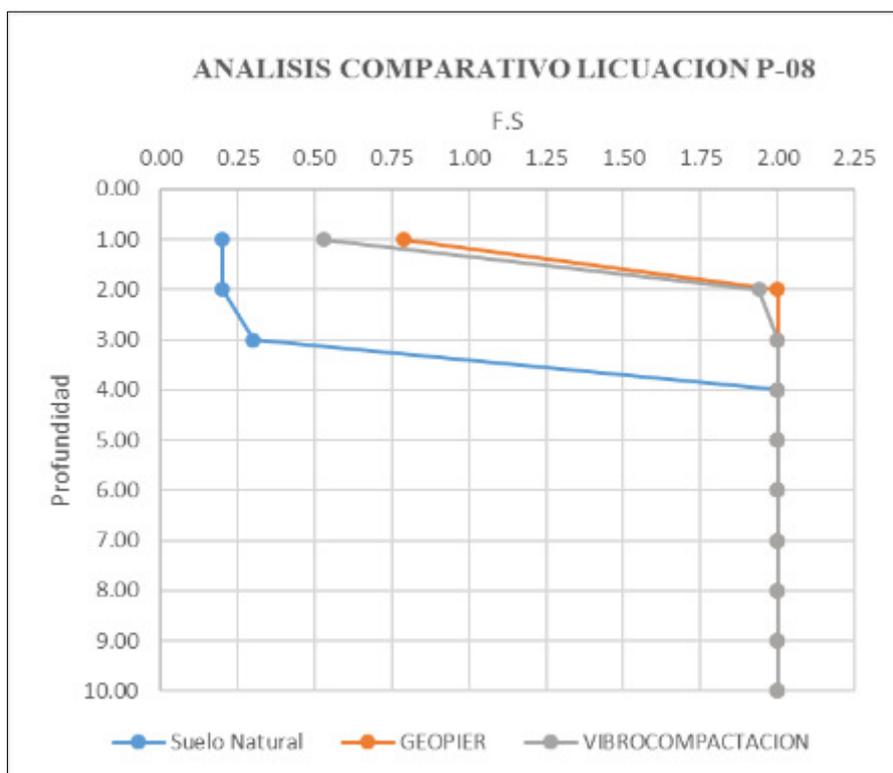
Profundidad	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$ (Geopier – Suelo)	$\Delta\%$ (Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$ (Geopier – Vibroc)
1.00	0.20	0.79	0.53	395.00%	265.00%	149.06%
2.00	0.20	2.00	1.94	1000.00%	970.00%	103.09%
3.00	0.30	2.00	2.00	666.67%	666.67%	100.00%

Promedio	0.23	1.60	1.49	687.22%	633.89%	117.38%
-----------------	------	------	------	---------	---------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Figura 52

Cuadro estadístico de potencial de licuación P-08



Nota. En la **Figura N°52**. Nos evidencia el aumento del FS con los sistemas de estabilización físico. Para este sondaje P-08 el sistema Geopier aporta un mayor aumento respecto a la Vibrocompactación que representa el 117.38% del promedio. Fuente: Elaboración propia.

Se presenta el consolidado de los valores de factor de seguridad de cada uno de los sondajes. Según la **Tabla 37**, se compara los factores de seguridad del sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación, respecto al suelo matriz no mejorado. El suelo natural presenta un F.S de 0.22 en promedio teniendo un aumento de 1.17 y 1.13 respectivamente, llegando a factores de seguridad de 1.39 y 1.34 en promedio para cada sistema.

Tabla 37*Comparativo de factor de seguridad de licuación*

Sondaje	Suelo Natural	Sistema Geopier	Sistema Vibroc	$\Delta\%$(Geopier – Suelo)	$\Delta\%$(Vibroc – Suelo)	$\Delta\%$(Geopier -Vibroc)
P-01	0.23	1.05	1.03	450.0%	440.0%	102.3%
P-02	0.22	1.10	1.03	507.7%	473.8%	107.1%
P-03	0.22	1.60	2.00	736.9%	923.1%	79.8%
P-04	0.18	1.12	0.85	612.7%	463.6%	132.2%
P-05	0.23	1.54	1.65	661.4%	705.7%	93.7%
P-06	0.23	1.73	1.65	742.9%	705.7%	105.3%
P-07	0.18	1.38	1.06	750.9%	580.0%	129.5%
P-08	0.23	1.60	1.49	684.3%	638.6%	107.2%
Promedio	0.22	1.39	1.34	641.5%	620.2%	103.4%

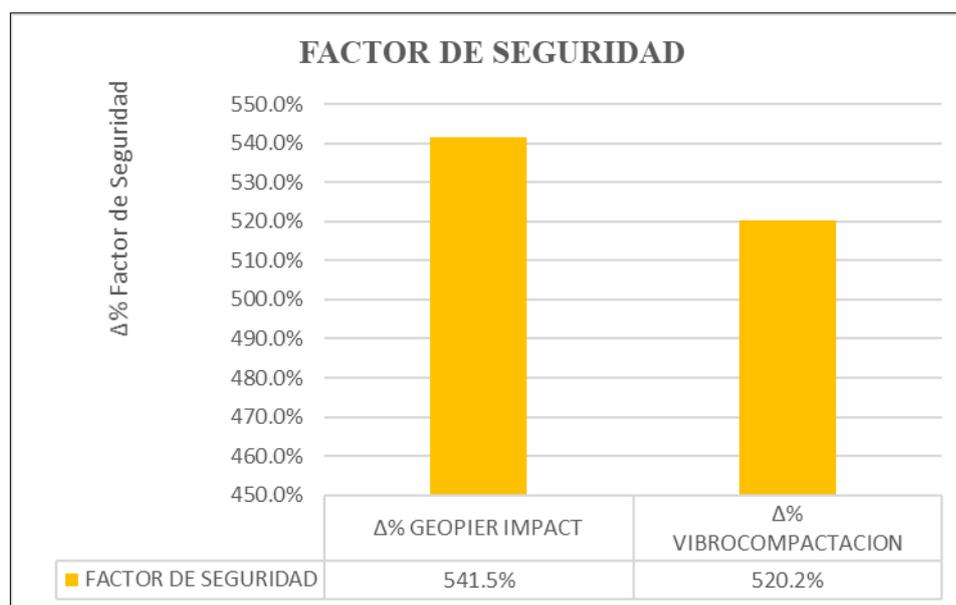
Fuente: Elaboración propia.

Aunque los valores promedios de los factores de seguridad de la **Tabla 37**, de cada uno de los 8 sondajes hayan pasado la unidad ($FS > 1$), estos deben ser analizados estrato por estrato de los 3 primeros metros de profundidad potencialmente licuables inicialmente, ya que en la presente investigación se buscó optimizar el diseño con un área de reemplazo técnico – económico favorable; esto bajo el criterio que pese a que después del mejoramiento con los sistemas, algunos estratos continúen con un $FS < 1$, sin embargo los asentamiento inducidos por licuación en condición mejorada sean menores a 2.54 cm.

En la **Figura 53** nos indica el aumento porcentual promedio del factor de seguridad de licuación de suelos con los sistemas Geopier Impact y Vibrocompactación respecto a la condición inicial sin mejoramiento del suelo matriz, aumentando en 541.5% y 520.2% respectivamente.

Figura 53

Aumento del factor de seguridad de licuación con sistemas de estabilización físico



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.5. Costos y Tiempo de Ejecución.

Tabla 38

Comparativo de costos y tiempo de sistemas de estabilización

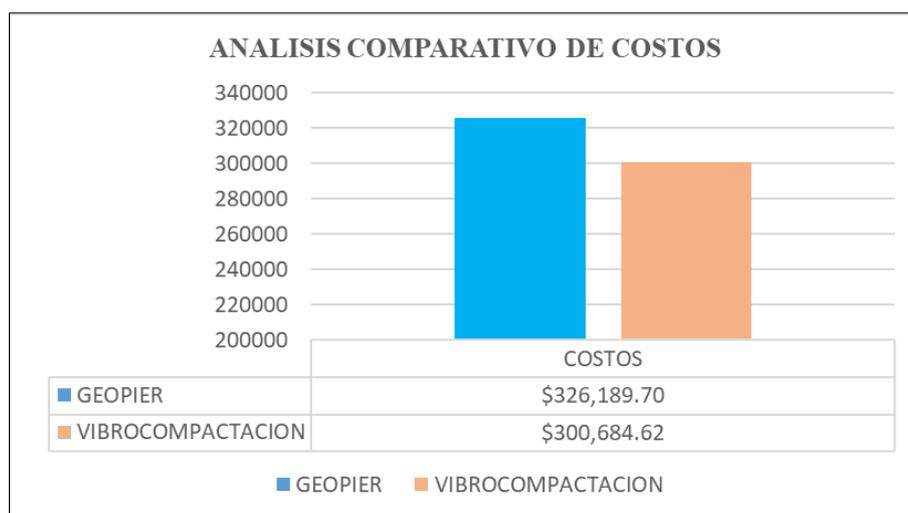
Descripción	Sistema	Sistema	Δ	Δ%
	Geopier	Vibrocompactación		
Costos	\$ 326,189.70	\$ 300,684.62	\$ 25,505.08	92.18%
Tiempo	64 días	56 días	8.00 días	87.50%

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta en la **Tabla 38**, la variación de costo y tiempo de ejecutar los sistemas de estabilización físico, con el fin de dar a conocer el aspecto económico de los sistemas. Mediante los siguientes gráficos estadísticos se detalla el análisis comparativo económico.

Figura 54

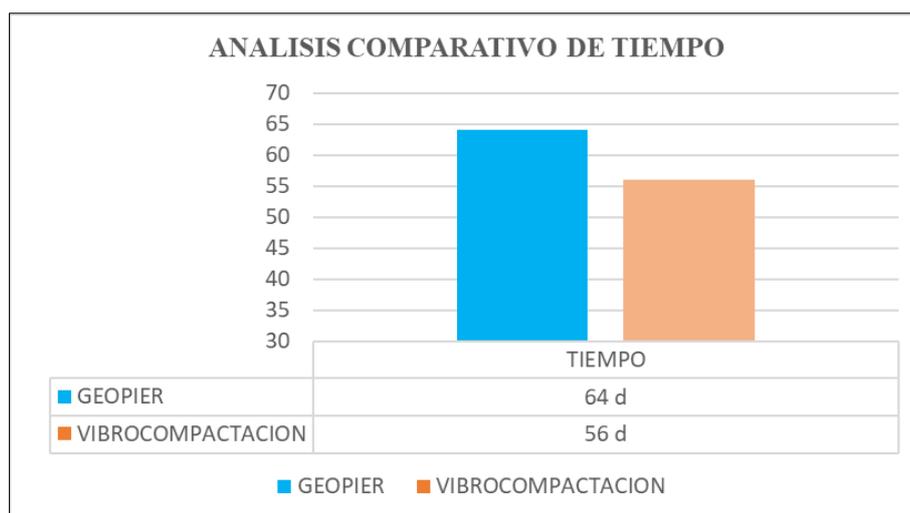
Cuadro estadístico de costos de sistemas de estabilización



Nota. En la **Figura N°54**. Nos indica que el sistema Geopier Impact resulta ser más caro que el sistema de Vibrocompactación; este último representa un ahorro en 25,505.08 dólares, representando el 92.18% del sistema Geopier. Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

Cuadro estadístico de tiempo de ejecución de sistemas de estabilización



Nota. En la **Figura N°55**. Nos indica que el mayor plazo de ejecución lo tiene el sistema Geopier. El sistema de Vibrocompactación se ejecuta en 8 días menos representando el 87.50% del sistema Geopier. Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Matriz de comparación condición suelo inicial vs mejorado

Se muestra de forma consolidada el comparativo de la variación de los valores de cada indicador, tomando el promedio de lo analizado en cada uno de los ocho sondeos, así mismo, se presentan los costos y tiempo para un mejor análisis comparativo que conlleva a la toma de decisión de elección.

Tabla 39

Cuadro comparativo de condición inicial vs mejorada promedio

Descripción	Suelo Natural	Geopier Impact	Vibrocompactación
Capacidad Portante (kN/m²)	98.1	377.0	406.2
Asentamiento Elástico (cm)	2.280	0.836	0.868
Asentamiento Post-Licuación (cm)	5.901	1.398	1.560
Factor de seguridad (adm)	0.22	1.39	1.34
Costos de ejecución	-	\$ 326,189.70	\$ 300,684.62
Tiempo de ejecución	-	64 días	56 días

Fuente: Elaboración propia.

Según la **Tabla 39**, quien presenta un mayor aumento en capacidad portante es el sistema de Vibrocompactación, llegando hasta incrementarse en 406.2% (**Tabla 26**) del valor inicial del suelo matriz. De igual manera, para los asentamientos elásticos y post-licuación, el sistema Geopier Impact genera mayor disminución de los asentamientos, llegando a reducirse en 36.7% (**Tabla 27**) y 23.6% (**Tabla 28**) respectivamente, de la condición inicial del suelo matriz. Para el caso del potencial de licuación el sistema Geopier genera mayor incremento de factor de seguridad de licuación, llegando hasta valores de 641.5% (**Tabla 37**) de lo obtenido del suelo matriz. Resulta menos costoso y en menor tiempo ejecutar el sistema de Vibrocompactación en comparación con el sistema Geopier, ahorrando \$ 25,505.08 dólares y 8 días (**Tabla 38**).

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se discutirá los valores obtenidos con las estabilizaciones físicas aplicadas para constatar las hipótesis expuestas y con esto concluir si se alcanza los objetivos. Los resultados de la presente investigación serán comparados con los resultados de otros autores que han sido investigaciones precedentes de la actual.

5.1. Discusión de capacidad portante

Los resultados de capacidad portante, en comparación con investigaciones anteriores dan validez a lo que se obtuvo, podemos comenzar por Trejos (2020) en su tesis se concluyó que el uso de pilas Geopier aumenta la capacidad portante hasta en un 94.8%. De manera similar Huamán (2018) en su tesis se concluyó que la instalación de pilas Geopier aumento la capacidad portante de 0.63 kg/cm² a 5kg/cm² en condición mejorada. En relación al tema Plascencia y Obregón (2021) en su tesis obtuvo que el sistema Geopier incrementa la capacidad portante de 0.5 kg/cm² a 1.5 kg/cm². Por su parte Reyes (2020) en su tesis presento que las columnas de grava logran un aumento en la capacidad portante de 1.55 kg/cm² a 2.00 kg/cm².

Los resultados expuestos de cada autor ratifican la hipótesis de que los sistemas de estabilización físico aumentan la capacidad portante, teniendo relación directa de la aplicación en suelo de poca resistencia, considerando que estos elementos debido a tener altos ángulo de fricción, que van desde 45° a 49°, modifican el suelo matriz obteniendo así un ángulo equivalente compuesto. En contraste con Huamán (2018) que usa el ensayo de módulo de rigidez, esto resulta ser muy sobredimensionado porque las pruebas de calidad deben superar en gran medida una expectativa de valor, por lo que lo recomendado es el uso métodos analíticos comparando con lo indicado en el manual Geopier. En la presente investigación se obtuvo un incremento llegando hasta 384.3% y 414.0% de la condición no mejorada, siendo 377.0 kN/m² y 406.0 kN/m² respectivamente en promedio, equivalentemente a 3.84 kg/cm² y 4.14 kg/cm² para el sistema Geopier y la Vibrocompactación correspondientemente. La

investigación concuerda con los diferentes autores de la contribución de estos sistemas a la mejora de capacidad portante.

5.2. Discusión de asentamiento

Los asentamientos obtenidos, se contrastan con autores que preceden a la presente investigación. Comenzando por Trejos (2020) es su tesis obtuvo una reducción de asentamiento elástico con el uso de pilas Geopier, desde 7cm a 4cm en condición mejorada. Por su parte Huamán (2018) indico que con la aplicación de pilas Geopier, el asentamiento se redujo de 8.7 cm a 0.30 cm medido mediante prueba de estabilización de fondo. Plascencia y Obregón (2021) en su tesis obtuvo en su propuesta de uso de pilas de grava asentamientos de 1.23 cm en la región Loreto, con suelos muy desfavorables. En relación al tema Nuñez (2017) en su tesis concluye que los asentamientos se ven reducidos al instalar las columnas de grava con diferentes % de área de reemplazo, reduciendo desde los 14.5 cm hasta 4.2 cm. Reyes (2020) de igual manera con la aplicación de columnas de grava obtiene una reducción de asentamiento de un valor de 3.2 cm a 1.9 cm en condición mejorada.

Los resultados obtenidos de cada autor confirman con la hipótesis de que los sistemas de estabilización físico reducen los asentamientos, teniendo influencia en que el suelo matriz mejorado, resulte con un módulo elástico aumentado equivalente. Esto guarda relación con el alto módulo elástico que presentan entre 15000 y 20000 Tn/m². que presentan los elementos instalados. En cuanto a la obtención de asentamiento de Huamán (2020) mediante prueba de estabilización indica tener una reducción muy alta, esto debido a que cada ensayo de calidad siempre debe estar sujeta a superar los diseños esperados, por lo que es preferible realizar un método analítico. En la presente investigación se obtuvo una reducción de hasta 36.7% y 38.1% respecto de la condición no mejorada, obteniéndose asentamientos de 0.836 cm y 0.868 cm para el sistema Geopier y la Vibrocompactación correspondientemente. La investigación está

de acuerdo con los diferentes autores del aporte de los sistemas en la reducción del asentamiento.

5.3. Discusión de potencial de licuación

Los resultados de potencial de licuación, se comparan con autores precedentes a la investigación actual para la validación de lo obtenido. Trejos (2020) concluyó que de presentar 3.6m licuables la inclusión de pilas Geopier genero mitigar la licuación de suelo por incrementar el valor $(N_1)_{60}$ mayor que 25, por lo tanto, un factor de licuación mayor a la unidad. Respecto a columnas de grava Falla (2021) en su tesis concluyó que después de la instalación aumentó el factor de seguridad de licuación de 0.20 a 1.5 en promedio mitigando completamente el potencial de licuación del suelo, a su vez posteriormente al mejoramiento, verificó con ensayo SPT que los valores N_{spt} aumentan hasta 30. Reyes (2020) con el uso de columnas de grava logro mitigar el efecto de licuación inducido por sismo pasando de valores de factor de seguridad de 0.2 a ser mayor de 1.1 dando seguridad al estrato.

Los resultados obtenidos de cada autor corroboran la hipótesis de que los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación, teniendo influencia en el incremento de factor de seguridad en la profundidad de los estratos donde llevo la instalación. Esto guarda relación con el aporte al aumento del ángulo de fricción que eleva el N_{spt} equivalente de los estratos analizados, como indica Trejos (2020) y Falla (2021), estos al superar el valor de 25 se logra mitigar el efecto de licuación por sismo, obteniendo factores de seguridad elevados, en respuesta de la rigidización del suelo matriz, y que estos elementos a su vez absorben los esfuerzos cortantes cíclicos inducidos por sismo. En la presente investigación se obtuvo una reducción de hasta 23.6% y 28.7% respecto de la condición no mejorada, obteniéndose asentamientos post. Licuación de 1.398 cm y 1.560 cm para el sistema Geopier y la Vibrocompactación respectivamente. La presente investigación coincide con los autores del aporte de los sistemas para mitigar la licuación, aunque en estos no se presentan asentamientos

post-licuación debido a que los FS son mayores >1 . Sin embargo, para diseños técnicos – económicos óptimos puede tolerarse que algunos estratos licuen controlando que el asentamiento post licuación no supere 2.54 cm, de esta forma se logra no acrecentar el costo del sistema de mejoramiento.

VI. CONCLUSIONES

6.1. Conclusión 1

Con respecto a la capacidad portante se calculó que los sistemas de estabilización físico contribuyeron significativamente respecto de la condición inicial del suelo arenoso del condominio Kalani. Según la **Tabla N° 26**, de 98.1 kN/m² que presenta el suelo matriz, aumenta considerablemente a valores de 377.0 kN/m² y 406.2 kN/m² para el sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación respectivamente. De acuerdo con la **Figura N° 40**, los aumentos porcentuales respecto al suelo matriz aumentan en 284.3% y 314.0% respectivamente. Finalmente se concluye que el sistema Geopier Impact en comparación con el sistema Vibrocompactación representa el 93.7% de esta. En ambos casos representan una respuesta esperada, pero quien evidencia un mayor mejoramiento en capacidad portante es la Vibrocompactación.

6.2. Conclusión 2

Se determinó que los sistemas de estabilización físico redujeron los asentamientos del suelo arenoso del condominio Kalani en comparación de la condición inicial. Para el caso del asentamiento elástico, según la **Tabla N° 27** de 2.28 cm de asentamiento inicial del suelo matriz, se reduce efectivamente a 0.836 cm y 0.868 cm para el sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación respectivamente; de acuerdo con la **Figura 42** las variaciones porcentuales respecto al suelo matriz se reducen en 63.3% y 61.9% respectivamente. De manera similar para el asentamiento post-licuación, según la **Tabla N° 28** de 5.90 cm de asentamiento inicial del suelo matriz, se reduce efectivamente a 1.398 cm y 1.560 cm para el sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación respectivamente; de acuerdo con la **Figura 44** las variaciones porcentuales respecto al suelo matriz se reducen en 76.3% y 73.6% respectivamente. Finalmente se concluye que el sistema Geopier Impact en comparación con el sistema Vibrocompactación representa el 96.4% y 88.0% de esta, correspondientemente a los

asentamientos elástico y post-licuación. Ambos sistemas de estabilización reducen significativamente el asentamiento, está estando dentro de lo permisible máximo (2.54 cm). Por lo tanto, el sistema que mejor responde a una mayor reducción de asentamientos es el sistema Geopier Impact.

6.3. Conclusión 3

En relación al potencial de licuación se evaluó que estos son mitigados con la aplicación de los sistemas de estabilización físico en el suelo arenoso del condominio Kalani. Según la **Tabla N° 37** de un factor de seguridad de 0.22 que presenta el suelo matriz, aumenta significativamente a factores de 1.39 y 1.34 para el sistema Geopier Impact y la Vibrocompactación correspondientemente. De acuerdo con la **Figura 53** los aumentos porcentuales respecto al suelo matriz aumentan en 541.5% y 520.2% respectivamente. Finalmente se concluye que el sistema Geopier Impact en comparación con el sistema Vibrocompactación representa el 103.4% de esta. Además, es aceptable admitir valores de factor de seguridad de licuación menores a uno, como es el caso de la presente investigación con el fin de tener un diseño técnico-económico favorable. Por consecuencia quien aporta mayor aumento de factor de seguridad de licuación es el sistema Geopier Impact.

6.4. Conclusión 4

Se calculó que los sistemas de estabilización físico, influyen de manera positiva en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani, aumentando sus propiedades geotécnicas y reduciendo el efecto sísmico Logrando superar la capacidad portante requerida, controlando los asentamientos permisibles y mitigando el potencial de licuación de los estratos. Hallando relación directa entre, el área de reemplazo y la profundidad de instalación de los sistemas, con la respuesta de mejora del suelo con fines de cimentación.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Recomendación 1

Es importante comprobar los valores de diseño de capacidad portante para cada sistema de estabilización, realizando pruebas de modulo, teniendo que comprobar que superen lo calculado en gabinete. Para las columnas de grava se sugiere seguir el método Priebe 1995 por ser confiable y aceptado por la literatura; sin embargo, se sugiere contrastarlos con otros métodos de cálculo. Es recomendable realizar nuevos ensayos de penetración estándar para verificar el aumento del N_{spt} del suelo confinado y mejorado.

7.2. Recomendación 2

Se sugiere realizar el método elástico compuesto por capas, según el espesor de cada estrato del perfil estratigráfico del suelo en estudio, para una certeza de la disminución del bulbo de presiones según profundidad. Verificar a su vez, que la distorsión angular de cimentaciones no supere lo establecido en la norma E.050 2018. Se aconseja verificar los cálculos mediante otros métodos de control asentamiento.

7.3. Recomendación 3

Para el caso del análisis de potencial de licuación, es recomendable no limitarse solo a evaluar mediante ensayos SPT, sino también por ensayos CPT desarrollado por las ecuaciones del método simplificado de Idriss&Boulanger 2008. Por otro lado, si se requiere evitar que se generen asentamientos post-licuación, se sugiere que los sistemas de estabilización físico mejoren el suelo, de tal manera que tenga un equivalente a un $N_{spt} > 25$; sin embargo, para una optimización de diseño se sugiere permitir factores de seguridad que generen asentamientos post-licuación menores a lo permisible (2.54 cm), para propuestas técnicas-económicas más competitivas.

7.4. Recomendación 4

Se recomienda evaluar el mejoramiento de suelo arenoso con diferentes porcentajes de área de reemplazo para ambos sistemas, para determinar la variación que presenten en las propiedades geotécnicas y su comportamiento al efecto sísmico. Es recomendable realizar los sistemas de estabilización físico de la presente investigación en otro tipo de suelos, especialmente los cohesivos, para confirmar o comparar la razón de aumento de los indicadores de estudio. Se sugiere a los investigadores ampliar los trabajos de mejoramiento considerando diferentes sistemas de estabilización y comparar con los resultados obtenidos en la presente tesis.

7.5. Recomendación 5

Para el suelo arenoso de estudio es recomendable analizar y contrastar el aporte mecánico que brindan los sistemas de estabilización, respecto a ello, el sistema que presenta mayor aporte técnico es el sistema Geopier Impact; sin embargo, es recomendable optar por una solución definitiva mediante una matriz de decisión que compare lo técnico y económico. Por lo tanto, se sugiere elegir el sistema Vibrocompactación como solución definitiva para el suelo arenoso de estudio, por cumplir con los parámetros mecánicos, y presentar menores costos y tiempos de ejecución.

VIII. REFERENCIAS

- Alonso, J. (2014). *Diseño basado en técnicas de fiabilidad del tratamiento de mejora del terreno mediante columnas de grava*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. <https://oa.upm.es/26409/>
- Alva, J. (2013). *Diseño de Cimentaciones*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Anusch, J. (2017). *Comportamiento sísmico de taludes sobre suelos potencialmente licuables mejorados mediante columnas de grava*. [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello]. Repositorio UNAB. <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/7422>
- ASTM international (1994). *Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load* (ASTM D 1143). <https://www.astm.org/standards/d1143>
- Bautista, D. y Mayorga, E. (2018). *Análisis del mejoramiento de suelos empleando el método de columnas de grava*. [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio UPB. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5190>
- Bello, C. (2013). *Primera experiencia colombiana en construcción de pilas de agregado compactado – Geopier Impact – en un proyecto de vivienda de interés social*. [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio ECIJG. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/109>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*.
- Camargo, D. y Zapata, N. (2017). *Evaluación de la reducción del potencial de licuefacción usando la metodología de análisis de Seed&Idriss sobre ensayos de SPT realizados en el suelo arenoso del proyecto Outlet Premium Lurín mejorado con pilas de grava compactada*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/623041>

- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7ma ed.). Cengage Learning.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (4ta ed.). Cengage Learning.
- Falla, P. (2021). *Propuesta de mejoramiento de suelos licuables mediante el uso de columnas de grava en áreas portuarias – puerto del Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/655860>
- Farrell, T. y Taylor, A. (s.f) *Rammed Aggregate Pier Design and Construction in California – Performance, Constructability, and Economics*. Farrell Design-Build Companies.
- Fox, N. y Cowell, M. (1998). *Geopier Foundation and Soil Reinforcement Manual*. Geopier Foundation Company.
- Geopier Foundation Company (s.f.). *Proper load testing procedures to verify adequate design of Geopier Supported foundation Systems*. Technical Bulletin No.12.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta ed.). Mc Graw Hill.
- Huaman, M. (2018). *Mejoramiento del suelo arcilloso utilizando geoestructuras de Geopier para una edificación en la avenida Juan Lecaros frente al estadio municipal de Puente Piedra, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/30478>
- Idriss, I. y Boulanger, R. (2008). *Soil Liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Idriss, I. y Boulanger, R. (2008). *SPT-based liquefaction triggering procedures*. University of California, Center for Geotechnical Modeling.

- Lerma, H. (2009). *Metodología de la investigación propuesta, anteproyecto y proyecto*. (4ta ed.). Ecoe Ediciones.
- Ministerio de Fomento (2009). *Guía de cimentaciones en obras de carretera*. Dirección general de carreteras. Gobierno de España.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014). *Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de ensayo de materiales*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Norma Peruana E.050, Suelos y Cimentaciones*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). *Norma Peruana E.030, Diseño Sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Núñez, F. (2017). *Control de asentamientos en terraplenes contruidos sobre suelo fino por medio de métodos de mejoramiento de suelos basados en vibro-sustitución*. [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello]. Repositorio UNAB. <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/5023>
- Oyola, J. (2020). *Estudio comparativo de suelo blando y suelo con el sistema de pilas de agregado compactado, Carabayllo – 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/51286>
- Plascencia, E. y Obregón, M. (2021). *Propuesta de utilización de un sistema de pilas de grava compactada para el mejoramiento de un suelo arenoso en el distrito de San Juan Bautista*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/656612>

- Poves, J. (2017). *Influencia de las columnas de grava compactada en el asentamiento de suelos blandos, sector de Palian*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4106>
- Priebe, H. (1995). *The design of vibro replacement*.
- Quezada, M. (2020). *Evaluación del comportamiento dinámico para un edificio de mediana altura considerando interacción suelo – estructura y un mejoramiento de suelo a través de pilas de agregado compactado*. [Tesis de pregrado, Universidad Andrés Bello]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/356087253>
- Reyes, A. (2020). *Mejoramiento de suelos granulares mediante el uso de columnas de grava*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/17367>
- Torres, J. (2017). *Estabilización de suelos arenosos con potencial de licuación utilizando columnas de grava: aplicación a las obras del muelle norte Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10984>
- Trejos, J. (2020). *Diseño de cuatro soluciones geotécnicas: mejoramiento de un terreno licuable mediante columnas de grava compactadas, estabilización de un talud mediante suelo cosido, diseño de pilotes apoyados en rocas blandas y mejoramiento de un terreno licuable mediante compactación dinámica*. [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional UCR. <https://hdl.handle.net/10669/80440>
- Valdiviezo, K. (2019). *Uso de columnas de grava compactada para aumentar la capacidad portante del suelo en la avenida Sanchez Cerro entre la avenida Chulucanas y avenida Martires de Uchuraccay, ubicada en el distrito de Piura – Provincia de Piura –*

Departamento de Piura. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura].

Repositorio Institucional UNP. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1939>

Yepes, V (18 de Junio de 2019). Columnas de grava.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/06/18/columnas-de-gravas/>

IX. ANEXOS

ANEXO A

MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN

MATRIZ DE CONSISTENCIA

"MEJORAMIENTO DE SUELO ARENOSO MEDIANTE SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN FÍSICO, CONDOMINIO KALANI EN CAÑETE, LIMA, PERU"

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDADES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE		Modulo Elástico suelo Modulo elástico Geopier	Es (Kg/cm ²) Eg (kg/cm ²)	Tipo de investigación: <i>Por propósito:</i> Aplicada <i>Por Enfoque:</i> Cuantitativo Nivel de investigación: Explicativo Diseño de Investigación: Cuasi - Experimental
¿De qué manera los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?	Calcular de qué manera los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.	Los sistemas de estabilización físico influyen en la mejora del suelo arenoso para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú	Sistema de Estabilización Físico	Sistema Geopier Impact	N° (Golpes/pie) Presión de carga % de reemplazo	N° (adm) q (Kg/cm ²) Ar %	
				Vibrocompactacion	Angulo de Fricción de la grava Angulo de Fricción del suelo Modulo Elastico del suelo Modulo Elastico de la grava % de reemplazo	$\phi_c(^{\circ})$ $\phi_s(^{\circ})$ Es (Kg/cm ²) Ec (Kg/cm ²) Ar %	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE		Capacidad portante	σ_{adm} (kN/m ²)	
¿En qué medida los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?	Calcular en qué medida los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.	Los sistemas de estabilización físico contribuyen en la capacidad portante de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.	Mejoramiento de suelo arenoso	Propiedades Geotecnicas	Asentamiento	Δ (mm)	
¿En cuánto los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?	Determinar en cuánto los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.	Los sistemas de estabilización físico reducen el asentamiento de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.			Potencial de licuación	FS (adm)	
¿En qué magnitud los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú?	Evaluar en qué magnitud los sistemas de estabilización físico mitigan el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.	Los sistemas de estabilización físico mitigan en el potencial de licuación de los suelos arenosos para el condominio Kalani en Cañete, Lima, Perú.		Efecto Sísmico			

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

"MEJORAMIENTO DE SUELO ARENOSO MEDIANTE SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN FISICO, CONDOMINIO KALANI EN CAÑETE, LIMA, PERU"

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE					
Sistema de Estabilización Físico	Son metodos para mejorar los suelos que se basan en el cambio, o combinacion de materiales con el suelo matriz para incrementar sus propiedades geotecnicas. No se requiere de uso de agentes quimicos, solo materiales de cantera o seleccionados para cumplir con instalacion en el suelo matriz o el relleno controlado de reemplazo. (Braja M. Das, 2015).	Esta variable será medida mediante dos alternativas de solución que son el Sistema Geopier Impact y el Sistema Vibrocompactación describiendo el diseño, proceso constructivo y controles de calidad; a su vez se procederá al analisis de cual solución óporta mejor al suelo arenoso, teniendo en cuenta el costo y tiempo de ejecución.	Sistema Geopier Impact	Modulo Elástico suelo Modulo elástico Geopier N° (Golpes/pie) Presión de carga % de reemplazo	Es (Kg/cm ²) Eg (kg/cm ²) N° (adm) q (Kg/cm ²) Ar %
			Vibrocompactación	Angulo de Fricción de la grava Angulo de Fricción del suelo Modulo Elastico del suelo Modulo Elastico de la grava % de reemplazo	ϕ_c (°) ϕ_s (°) Es (Kg/cm ²) Ec (Kg/cm ²) Ar %
VARIABLE DEPENDIENTE					
Mejoramiento de suelo arenoso	Es el proceso de cambias las propiedades de ingeniería del suelo in situ u obtenido, esto a un menor costo y con el control de calidad más óptimo. Las técnicas de mejoramiento de suelo se concentran en aumentar los parametros del suelo mediante estabilizaciones con fines de que estos aumenten su capacidad de carga (Braja M. Das, 2015)	Esta variable sera medida mediante los cálculos de diseño determinando las propiedades geotécnicas y el efecto sísmico del suelo mejorado; la capacidad portante, asentamiento y potencial de licuación deben estar en los valores admisibles según la norma E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES.	Propiedades Geotécnicas	Capacidad portante	σ_{adm} (kN/m ²)
			Efecto Sísmico	Asentamiento	Δ (mm)
				Potencial de licuación	FS (adm)

ANEXO B

FICHAS TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS Y VALIDACION DE JUICIO
DE EXPERTOS

 FICHA TECNICA N°1 - Datos de mapeo de Capacidad Portante									
Proyecto:			Tipo de suelo:						
Ubicación:			Nivel freático:						
Desarrollado por:			Módulo Poisson:						
Fecha:			Presión (Tn/m2):						
SISTEMA GEOPIER IMPACT			VIBROCOMPACTACION STONE COLUMNS			DIFERENCIA			
Espaciamiento:			Espaciamiento:						
Diámetro:			Diámetro:						
Angulo de fricción:			Angulo de fricción:						
Área de reemplazo:			Área de reemplazo:						
N° de Perforaciones (sondajes)	Numero de Golpes SPT (Nspt)	Capacidad portante admisible (σ kN/m2)	N° de Perforaciones (sondajes)	Numero de Golpes SPT (Nspt)	Capacidad portante admisible (σ kN/m2)	Δ (kN/m2)	Δ (%)		
P-01			P-01						
P-02			P-02						
P-03			P-03						
P-04			P-04						
P-05			P-05						
P-06			P-06						
P-07			P-07						
P-08			P-08						
PROMEDIO:			PROMEDIO:						
VALIDACION DE INSTRUMENTO (Juicio de expertos)									
EVALUACION	MUY MALO	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	PUNTAJES OBTENIDOS			
<i>PUNTAJE (rango)</i>	<i>0.2 a menos</i>	<i>0.21 a 0.40</i>	<i>0.41 a 0.60</i>	<i>0.61 a 0.80</i>	<i>hasta 1.00</i>				
EXPERTO 01	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	GUTIERREZ DAVILA CARLOS FRANCISCO		167881	 CARLOS FRANCISCO GUTIERREZ DAVILA Ingeniero Civil CIP N° 167881		1.00			
EXPERTO 02	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	SÁNCHEZ GUANDO JUAN SERGIO		59781	 JUAN SERGIO SANCHEZ GUANDO Ingeniero Civil CIP N° 59781		1.00			
EXPERTO 03	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	AVILA FERNANDEZ JOEL ANTONIO		84277	 Joel Avila Fernandez Ingeniero Civil REG. CIP N° 84277		1.00			
EXPERTO 04	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	CHURA VILCANQUI NORMAN EDDY		174951	 Norman Eddy Chura Vilcanqui Ingeniero Civil Reg. 2010-11661		1.00			
PUNTAJE PROMEDIO:						1.00			

 FICHA TECNICA N°2 - Datos de mapeo de Asentamientos									
Proyecto:				Tipo de suelo:					
Ubicación:				Nivel freático:					
Desarrollado por:				Módulo Poisson:					
Fecha:				Presión (Tn/m2):					
Tipo de Asentamiento (cm):									
SISTEMA GEOPIER IMPACT			VIBROCOMPACTACION STONE COLUMNS			DIFERENCIA			
Espaciamiento:				Espaciamiento:					
Diámetro:				Diámetro:					
Ángulo de fricción:				Ángulo de fricción:					
Área de reemplazo:				Área de reemplazo:					
N° de Perforaciones (sondajes)	Modulo Elástico elemento Geopier (Tn/m2)	Asentamiento (cm)	N° de Perforaciones (sondajes)	Modulo Elástico Columna de Grava (Tn/m2)	Asentamiento (cm)	Δ (cm)	Δ %		
P-01			P-01						
P-02			P-02						
P-03			P-03						
P-04			P-04						
P-05			P-05						
P-06			P-06						
P-07			P-07						
P-08			P-08						
PROMEDIO:			PROMEDIO:						
VALIDACION DE INSTRUMENTO (Juicio de expertos)									
EVALUACION	MUY MALO	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	PUNTAJES OBTENIDOS			
<i>PUNTAJE (rango)</i>	0.2 a menos	0.21 a 0.40	0.41 a 0.60	0.61 a 0.80	hasta 1.00				
EXPERTO 01	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	GUTIERREZ DAVILA CARLOS FRANCISCO		167881	 CARLOS FRANCISCO GUTIERREZ DAVILA Ingeniero Civil CIP N° 167881		1.00			
EXPERTO 02	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	SÁNCHEZ GUANDO JUAN SERGIO		59781	 JUAN SERGIO SANCHEZ GUANDO Ingeniero Civil CIP N° 59781		1.00			
EXPERTO 03	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	AVILA FERNANDEZ JOEL ANTONIO		84277	 Joel Avila Fernandez Ingeniero Civil REG. CIP N° 84277		1.00			
EXPERTO 04	Apellidos y Nombre:		CIP:	Firma:		Puntaje:			
	CHURA VILCANQUI NORMAN EDDY		174951	 Norman Eddy Chura Vilcanqui Ingeniero Civil Reg. 2010-11661		1.00			
PUNTAJE PROMEDIO:						1.00			

 FICHA TECNICA N°3 - Datos de mapeo de Potencial de Licuación									
Proyecto:				Tipo de suelo:					
Ubicación:				Nivel freático:					
Desarrollado por:				Módulo Poisson:					
Fecha:				Presión (Tn/m2):					
SISTEMA GEOPIER IMPACT				VIBROCOMPACTACION STONE COLUMNS				DIFERENCIA	
Espaciamiento:				Espaciamiento:					
Diámetro:				Diámetro:					
Angulo de fricción:				Angulo de fricción:					
Área de reemplazo:				Área de reemplazo:					
Magnitud de Sismo M:				Magnitud de Sismo M:					
Seudo aceleración:				Seudo aceleración:					
N° de Perforaciones (sondajes)	Tensiones cíclicas inducidas por sismo (CSR)	Resistencia del suelo a las tensiones cíclicas (CRR)	Factor de Seguridad de Licuación Prom (F.S)	N° de Perforaciones (sondajes)	Tensiones cíclicas inducidas por sismo (CSR)	Resistencia del suelo a las tensiones cíclicas (CRR)	Factor de Seguridad de Licuación Prom (F.S)	Δ (adm)	Δ %
P-01				P-01					
P-02				P-02					
P-03				P-03					
P-04				P-04					
P-05				P-05					
P-06				P-06					
P-07				P-07					
P-08				P-08					
PROMEDIO:				PROMEDIO:					
VALIDACION DE INSTRUMENTO (Juicio de expertos)									
EVALUACION	MUY MALO	MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO				PUNTAJES OBTENIDOS
PUNTAJE (rango)	0.2 a menos	0.21 a 0.40	0.41 a 0.60	0.61 a 0.80	hasta 1.00				
EXPERTO 01	Apellidos y Nombre:			CIP:	Firma:			Puntaje:	
	GUTIERREZ DAVILA CARLOS FRANCISCO			167881	 <small>INGENIERO CIVIL CIP N° 167881</small>			1.00	
EXPERTO 02	Apellidos y Nombre:			CIP:	Firma:			Puntaje:	
	SÁNCHEZ GUANDO JUAN SERGIO			59781	 <small>INGENIERO CIVIL CIP N° 59781</small>			1.00	
EXPERTO 03	Apellidos y Nombre:			CIP:	Firma:			Puntaje:	
	AVILA FERNANDEZ JOEL ANTONIO			84277	 <small>INGENIERO CIVIL CIP N° 84277</small>			1.00	
EXPERTO 04	Apellidos y Nombre:			CIP:	Firma:			Puntaje:	
	CHURA VILCANQUI NORMAN EDDY			174951	 <small>INGENIERO CIVIL CIP N° 174951</small>			1.00	
PUNTAJE PROMEDIO:								1.00	

8/22, 19:11

Gmail - Puntuación y fichas técnicas



CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

Puntuación y fichas técnicas

Carlos Francisco Gutiérrez Davila <carlosfranciscogutierrezdavila@gmail.com>
Para: CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

31 de agosto de 2022, 20:54

Estimado Cesar:
Envío lo solicitado, fichas técnicas de capacidad portante, asentamientos y potencial de licuación de suelos. El puntaje asignado para las 3 fichas de técnicas es de 1.00.

—
CARLOS GUTIÉRREZ DÁVILA
Ingeniero Civil
C.I.P. 167881

Celular: +51 974673442

3 adjuntos

-  **Ficha técnica_Asentamientos (1).docx**
42K
-  **Ficha técnica_Capacidad portante (1).docx**
41K
-  **Ficha técnica_Potencial de licuación (1).docx**
43K

8/9/22, 19:11

Gmail - Validación de instrumentos



CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

Validación de instrumentos

Juan Sánchez Guando <jsanchez@jboingenieros.pe>
 Para: "cesar.luisam17@gmail.com" <cesar.luisam17@gmail.com>

5 de septiembre de 2022, 17:10

Buen día César.

Adjunto encontrarás la evaluación y el puntaje asignado por mi persona a:

Ficha Técnica N°1: Datos de mapeo de Capacidad Portante

Ficha Técnica N°2: Datos de mapeo de Asentamientos

Ficha Técnica N°3: Datos de mapeo de Potencial de Licuación

Desde mi punto de vista los formatos definidos, pueden recolectar información en forma ordenada, secuencial, resumir cálculos y establecer los parámetros geotécnicos para los correspondientes diseños, por lo que le he asignado un puntaje de 1.0 a cada ficha.

Atentamente



Juan Sánchez Guando

Gerente Técnico
 JBO Ingenieros S. A. C
 Calle Valladolid N°149, 2°Piso
 Urb. Mayorazgo II Etapa, Ate, Lima-Perú
 Teléfono : 01-683 0473 (Anexo 0474)
www.jboingenieros.pe

3 adjuntos

Ficha técnica_Asentamientos.docx
49K

Ficha técnica_Capacidad portante.docx
49K

Ficha técnica_Potencial de licuación.docx
50K

8/30/22, 19:12

Gmail - REVISION DE FICHAS



CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

REVISION DE FICHAS

Joel Avila <joelantonio3008@gmail.com>

30 de agosto de 2022, 20:10

Para: CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

Estimado Cesar:

En el archivo adjunto envío la revisión de las fichas técnicas de capacidad portante, asentamientos y potencial de licuación de suelos. El puntaje obtenido para las 3 fichas es de 1,00.

JOEL AVILA FERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
CIP 84277

3 adjuntos **Ficha técnica_Asentamientos (1).docx**
62K **Ficha técnica_Potencial de licuación (1).docx**
62K **Ficha técnica_Capacidad portante (1).docx**
61K

8/22, 19:12

Gmail - Revisión fichas



CESAR LUIS ARREDONDO MENDOZA <cesar.luisam17@gmail.com>

Revisión fichas

Norman Chura <normanchura@gmail.com>
Para: cesar.luisam17@gmail.com

21 de agosto de 2022, 11:10

Estimado Cesar,

En archivo adjunto envío la revisión de las fichas técnicas de capacidad portante, asentamientos y potencial de licuación de suelos. El puntaje obtenido para las tres fichas es de 1.00.

Saludos cordiales,

Norman Chura Vilcanqui

Ingeniero Civil - MSc. Geotecnia

Calle Los Megaburos N° 197.

Jesús María | Lima | Perú

Celular: +51 942035603

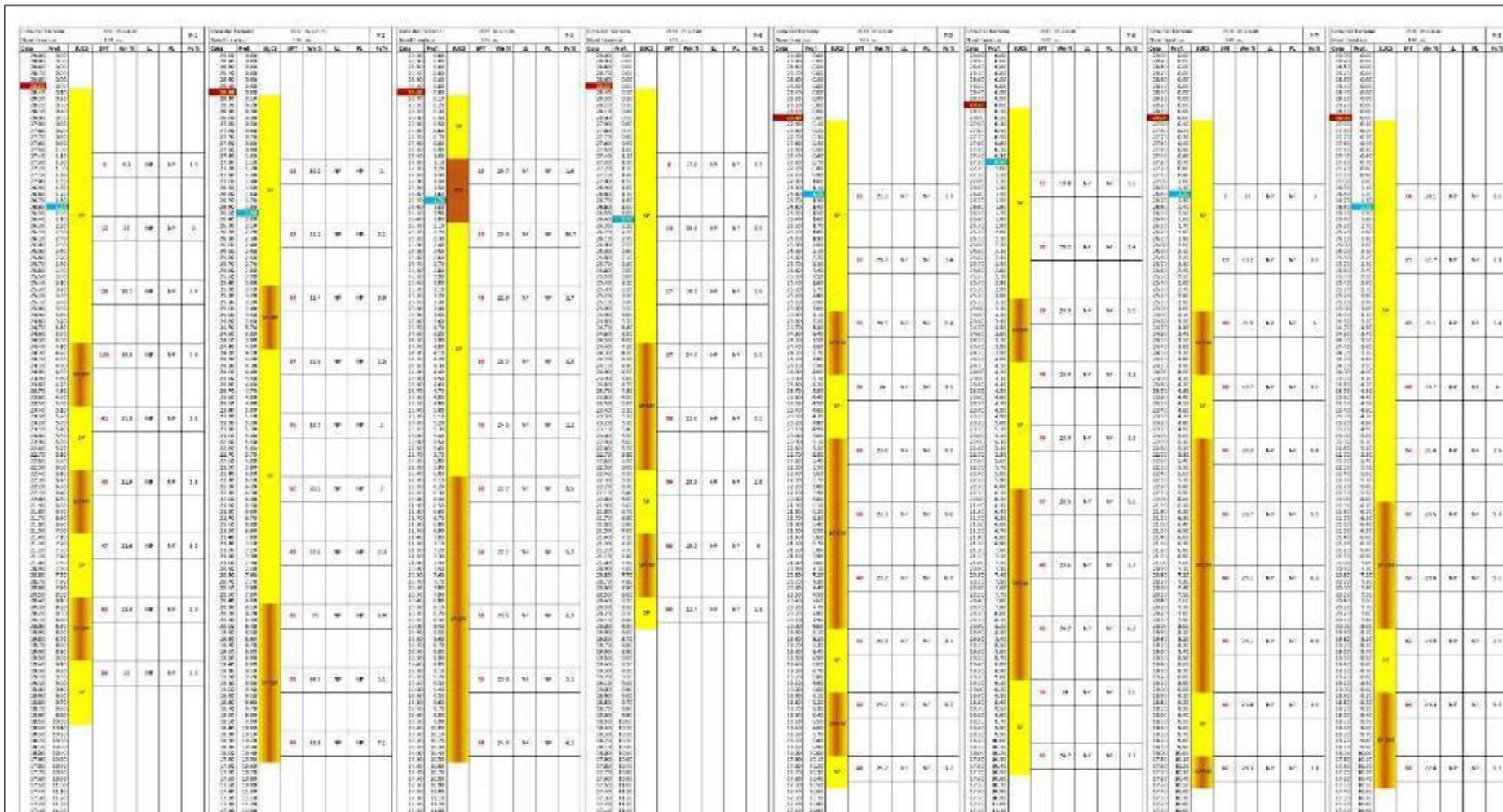
3 adjuntos

-  **Ficha técnica_Capacidad portante.docx**
48K
-  **Ficha técnica_Potencial de licuación.docx**
49K
-  **Ficha técnica_Asentamientos.docx**
48K

ANEXO C

REGISTRO DE SONDAJES SPT

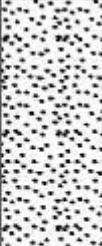
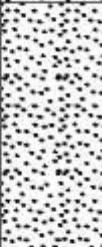
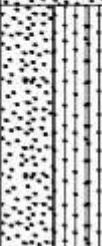
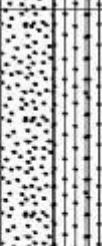
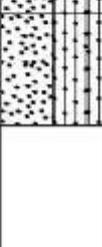
PERFIL DEL SUELO P-01 – P-08



		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-01													
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C		NIVEL FREÁTICO		- 1.91 m													
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R													
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR															
PROFUNDIDAD		- 9.45 m	COTA (m s.n.m.)	28.50		FECHA		Enero - 2020											
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT										
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	LP (%)	N° (GOLPES/PIE)										
	SUCS	AASHTO							10	20	30	40	50	60	70	80			
0.00 - 0.20 m				Relleno, cementación: Débil, Arena Fina, color Gris, Humedad: Seco, Otras Obs.: Fragmento de conchas marinas, gravas aisladas TM=1", Carad. Afirmado, Maderas, etc.	S/M														
0.20 - 1.00 m				Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta.	S/M														
1.00 - 2.00 m	SP	A-3		Arena pobremente gradada de color gris, con manchas de color negro, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.07%, F = 1.93%	M-01	6.30	NP	NP											
2.00 - 3.00 m	SP	A-3		Arena pobremente gradada de color gris, con manchas de color negro, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.01%, F = 1.99%	M-02	20.98	NP	NP											
3.00 - 4.00 m	SP	A-3		Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad media. Constituido por: G = 0.41%, A = 97.20%, F = 2.39%	M-03	19.10	NP	NP											
4.00 - 5.00 m	SP-SM	A-3		Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas y gravillas aisladas, compacidad media a densa. Constituido por: G = 2.51%, A = 91.65%, F = 5.84%	M-04	19.27	NP	NP											
5.00 - 6.00 m	SP	A-3		Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad media a densa. Constituido por: G = 1.01%, A = 96.90%, F = 2.10%	M-05	21.28	NP	NP											
										N=8		N=12		N=28		N=105		N=61	
										N=8		N=12		N=28		N=105		N=61	

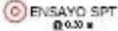
		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-01			
SOLICITADO		INMOBILIARA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C		NIVEL FREÁTICO		-1.91 m			
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE OMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R.			
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR					
PROFUNDIDAD		- 9.45 m	COTA (m s.n.m.)	28.50		FECHA		Enero - 2020	
PROF (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT @ 30 cm
	SUCS	AASIT0	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	I.P (%)	
									10 20 30 40 50 60 70 80
7	SP-SM	A-3		6.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas y gravillas aisladas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.74%, F = 5.26%.	M-06	21.88	NP	NP	N=43
	SP	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.48%, F = 3.52%.	M-07	22.62	NP	NP	N=47
8									
	SP-SM	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.43%, A = 93.66%, F = 5.91%.	M-08	22.41	NP	NP	N=53
9									
	SP	A-3		9.00 - 9.45 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.61%, A = 97.15%, F = 2.24%.	M-09	23.00	NP	NP	N=56
10									
11									
12									

		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-02		
SOLICITADO	INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C			NIVEL FREÁTICO	-1.96 m			
PROYECTO	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI			REGISTRO	J.O.R.			
UBICACIÓN	PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA			REVISADO POR				
PROFUNDIDAD	-10.45 m	COTA (m s.n.m.)	28.32		FECHA	Enero - 2020		
PROF (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT @ 0.30 m
	SUCS	AASHTO			SÍMBOLO GRÁFICO	W (%)	LL (%)	
								10 20 30 40 50 60 70 80
			0.00 - 0.20 m. Relleno, denso, Arena Fina, color: Gris, Humedad: Seco, gravas aisladas TM=1".	S/M	---	---	---	
1	SP	A-3	0.20 - 2.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compacidad suelta. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.95%, F = 2.05%.	M-01	17.70	NP	NP	N=11
2	SP	A-3	2.00 - 3.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compacidad suelta. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.86%, F = 2.14%.	M-02	21.21	NP	NP	N=12
3	SP	A-3	3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compacidad media. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.39%, F = 5.61%.	M-03	21.41	NP	NP	N=34
4	SP	A-3	4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compacidad media. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.51%, F = 2.49%.	M-04	21.88	NP	NP	N=37
5	SP	A-3	5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compacidad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.55%, A = 97.40%, F = 2.05%.	M-05	19.70	NP	NP	N=45
6								

			EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-02												
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.			NIVEL FREÁTICO		-1.96 m												
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI			REGISTRO		J.O.R.												
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE UMA			REVISADO POR														
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.32		FECHA		Enero - 2020									
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT $\phi 50 \times$										
	SUCS	MSHTO	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	IP (%)	N° (GOLFES/PIE)										
									10	20	30	40	50	60	70	80			
7	SP	A-3		8.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compactad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.56%, F = 2.04%	M-06	20.51	NP	NP										N=50	
8	SP	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compactad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.71%, F = 2.29%	M-07	21.76	NP	NP											N=43
9	SP-SM	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compactad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.14%, A = 92.94%, F = 6.92%	M-08	21.02	NP	NP											N=45
10	SP-SM	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compactad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.88%, F = 5.12%	M-09	24.34	NP	NP											N=59
10	SP-SM	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas y gravilla aislada, compactad densa a muy densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 92.86%, F = 7.14%	M-10	23.80	NP	NP											N=59
11																			
12																			

			EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-03								
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.			NIVEL FREÁTICO		-1.75 m								
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI			REGISTRO		J.O.R.								
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA			REVISADO POR										
PROFUNDIDAD		- 10.45 m	COTA (m s.n.m.)		28.39		FECHA		Enero - 2020						
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT 2003/14							
	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO AASHTO			SÍMBOLO GRÁFICO	W (%)	LL (%)	LP (%)	N° (GOLPES/PIE)						
								10	20	30	40	50	60	70	80
			0.00 - 0.85 m. Relleno, denso, Arena fina, color Gris, Humedad: Seco, gravas aisladas TM=2", raíces, trozos de ladrillo, etc.	SM	---	---	---								
1	SP		0.85 - 2.10 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.37%, F = 1.63%.	M-01	23.66	NP	NP								
2															
	SM	A-2-4	2.10 - 3.00 m. Arena limosa de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 2.54%, A = 70.81%, F = 28.85%.	M-02	23.60	NP	NP								
3															
	SP	A-3	3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compacidad media a densa. Constituido por: G = 0.18%, A = 97.10%, F = 2.71%.	M-03	22.89	NP	NP								
4															
	SP	A-3	4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compacidad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.69%, F = 3.31%.	M-04	23.47	NP	NP								
5															
	SP	A-3	5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compacidad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.80%, F = 2.20%.	M-05	24.52	NP	NP								
6															

		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-03												
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.		NIVEL FREÁTICO		-1.75 m												
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R.												
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAJETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR														
PROFUNDIDAD		- 10.45 m	COTA (m s.n.m.)	28.39		FECHA		Enero - 2020										
PROF (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT @ 0.30 m									
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	LP (%)	N° (GOLPES/PIE)									
	SUCS	AASHTO										10	20	30	40	50	60	70
7	SP-SM	A-3		6.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 90.54%, F = 9.48%.	M-06	22.69	NP	NP									N=60	
8	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas aisladas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.94%, A = 93.85%, F = 5.21%.	M-07	22.09	NP	NP										N=56
9	SP-SM	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de grumos de arcilla, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.06%, A = 93.72%, F = 6.22%.	M-08	23.59	NP	NP										N=65
10	SP-SM	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.93%, F = 5.07%.	M-09	23.77	NP	NP										N=54
11	SP-SM	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina a media, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 93.91%, F = 6.09%.	M-10	24.64	NP	NP										N=68
12																		

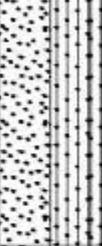
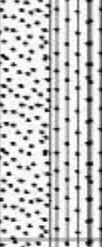
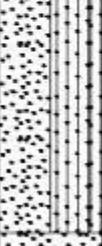
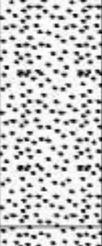
		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-04		
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C		NIVEL FREÁTICO		-2.11 m		
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R.		
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR				
PROFUNDIDAD		- 8.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.50		
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			 N° (GOLPES/PIE)
	SUCS	AASHTO			SÍMBOLO GRÁFICO	W (%)	L.L. (%)	
	--	--	0.00 - 0.25 m. Relleno, denso, Arena fina, color Gris, Humedad: Seco, gravas aisladas TM=2", trozos de ladrillo, maderas, etc.	S/M	--	--	--	
1	SP	A-3	0.25 - 2.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta. Constituido por: G = 0.08%, A = 97.59%, F = 2.33%.	M-01	17.75	NP	NP	N=8
2	SP	A-3	2.00 - 3.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.18%, F = 2.82%.	M-02	20.45	NP	NP	N=13
3	SP	A-3	3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.12%, F = 1.88%.	M-03	19.32	NP	NP	N=17
4	SP-SM	A-3	4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compacidad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.35%, F = 5.65%.	M-04	24.35	NP	NP	N=27
5	SP-SM	A-3	5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas aisladas TM=1 cm, compacidad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 84.48%, F = 5.52%.	M-05	22.61	NP	NP	N=58
6								

			EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-04						
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C			NIVEL FREÁTICO		-2.11 m						
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE ORIENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI			REGISTRO		J.O.R.						
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 7.1 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA			REVISADO POR								
PROFUNDIDAD		- 8.45 m	COTA (m s.n.m.)		28.50		FECHA		Enero - 2020				
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT (@ 0.30 m)				
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	L.L. (%)	I.P. (%)	N° (GOLPES/PIE)				
	SUCS	AASHTO							10	20	30	40	50
7	SP	A-3		8.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas aisladas TM=1 cm, compactidad media a densa. Constituido por: G = 0.78%, A = 97.28%, F = 1.94%.	M-06	20.28	NP	NP					
8	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas aisladas TM=1 cm, compactidad media a densa. Constituido por: G = 1.31%, A = 92.64%, F = 6.05%.	M-07	19.52	NP	NP					
8	SP	A-3		8.00 - 8.45 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas aisladas TM=1 cm, compactidad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.66%, F = 1.34%.	M-08	22.67	NP	NP					
9													
10													
11													
12													

		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-05		
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.		NIVEL FREÁTICO		-1.25 m		
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R.		
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAJETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR				
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.00		
PROF (m)	CLASIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT @0.30m
	SÍMBOLO SLCS	SÍMBOLO AASHTO			SÍMBOLO GRÁFICO	W (%)	LL (%)	
							10 20 30 40 50 60 70 80	
0.00 - 0.40 m	---	---	Relleno, denso, color Gris, seco, gravas aisladas TM=1", raíces, afirmado.	S/M	---	---	---	
0.40 - 2.00 m	SP	A-3	Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta. Constituido por: G = 0.08%, A = 99.26%, F = 1.74%.	M-01	21.17	NP	NP	N=12
2.00 - 3.00 m	SP	A-3	Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.60%, F = 1.40%.	M-02	20.66	NP	NP	N=27
3.00 - 4.00 m	SP-SM	A-3	Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, compactad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.6%, F = 5.40%.	M-03	20.46	NP	NP	N=35
4.00 - 5.00 m	SP	A-3	Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, compactad suelta a media. Constituido por: G = 0.39%, A = 96.39%, F = 3.22%.	M-04	23.99	NP	NP	N=32
5.00 - 6.00 m	SP-SM	A-3	Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, compactad media. Constituido por: G = 0.15%, A = 94.50%, F = 5.34%.	M-05	23.62	NP	NP	N=45

			EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-05											
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.			NIVEL FREÁTICO		-1.25 m											
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALAN			REGISTRO		J.O.R.											
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA			REVISADO POR													
PROFUNDIDAD		- 10.45 m	COTA (m s.n.m.)		28.00		FECHA											
PROF (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT 80.307									
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	L.L. (%)	I.P. (%)		N° (GOLPES/PIE)								
	SUCS	AASHTO										10	20	30	40	50	60	70
7	SP-SM	A-3		6.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, compactad media. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.40%, F = 5.60%.	M-06	22.06	NP	NP									N=46	
8	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, grumos arcillosos, compactad media. Constituido por: G = 0.36%, A = 93.22%, F = 6.42%.	M-07	23.16	NP	NP										N=40
9	SP	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, grumos arcillosos, compactad media. Constituido por: G = 0.16%, A = 96.14%, F = 3.70%.	M-08	23.28	NP	NP										N=42
10	SP	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, grumos arcillosos, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.26%, A = 94.07%, F = 5.65%.	M-09	24.24	NP	NP										N=52
10	SP	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, gravillas, grumos arcillosos, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.82%, F = 3.18%.	M-10	24.18	NP	NP										N=48
11																		
12																		

				EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-06									
SOLICITADO		INMOBILIARIA VINE PUERTO VIEJO S.A.C				NIVEL FREÁTICO		-0.92 m									
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI				REGISTRO		J.O.R.									
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA				REVISADO POR											
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.13		FECHA		Enero - 2020							
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT D.0.0.1								
	SUCS	ASHTO	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	IP (%)	N* (GOLPES/PIE)								
									10	20	30	40	50	60	70	80	
				0.00 - 1.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, poco húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta.	SM	---	---	---									
1	SP	A-3		1.00 - 2.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 98.54%, F = 1.46%.	M-01	19.02	NP	NP								N=17	
2	SP	A-3		1.00 - 3.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta a media. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.57%, F = 2.43%.	M-02	20.24	NP	NP									N=33
3	SP-SM	A-3		3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena media, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta a media. Constituido por: G = 0.15%, A = 94.38%, F = 5.46%.	M-03	24.30	NP	NP									N=29
4	SP	A-3		4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.87%, F = 3.13%.	M-04	23.36	NP	NP									N=38
5	SP	A-3		5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.12%, A = 96.58%, F = 3.30%.	M-05	23.39	NP	NP									N=36
6																	

				EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-06										
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.				NIVEL FREÁTICO		-0.92 m										
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI				REGISTRO		J.O.R.										
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA.				REVISADO POR												
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.13												
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT Ø 4.25" 									
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	IP (%)	N° (GOLPES/PIE)									
	SUCS	MSHTO							10	20	30	40	50	60	70	80		
7	SP-SM	A-3		8.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.25%, A = 94.58%, F = 5.17%.	M-06	23.51	NP	NP										N=37
	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.43%, A = 93.85%, F = 5.71%.	M-07	23.63	NP	NP										N=40
6	SP-SM	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 93.77%, F = 6.23%.	M-08	24.23	NP	NP										N=43
9	SP	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.36%, F = 3.64%.	M-09	23.98	NP	NP										N=59
10	SP	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.33%, A = 95.97%, F = 3.69%.	M-10	24.68	NP	NP										N=47
11																		
12																		

				EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-07							
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C				NIVEL FREÁTICO		-1.20 m							
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALAN				REGISTRO		J.O.R.							
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA				REVISADO POR									
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		COTA (m s.n.m.)		28.00		FECHA		Enero - 2020					
PROF (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT $\phi 50.8$						
	SÍMBOLO		SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	IP (%)	N° (GOLPES/PIE)						
	SUCS	ASHTO									10	20	30	40	50
	--	--		0.00 - 0.50 m. Relleno gravoso, poco húmedo, con arena fina, presencia de fragmentos de ladrillos, raíces, compactad media.	S/M	--	--	--							
	SP	A-3		0.50 - 1.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta a media, presencia de raíces.	S/M	--	--	--							
1	SP	A-3		1.00 - 2.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad suelta a media, presencia de raíces. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.04%, F = 2.96%.	M-01	22.98	NP	NP							
2	SP	A-3		2.00 - 3.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.22%, F = 3.78%.	M-02	23.16	NP	NP							
3	SP-SM	A-3		3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.03%, F = 5.97%.	M-03	21.55	NP	NP							
4	SP	A-3		4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.43%, F = 3.57%.	M-04	23.72	NP	NP							
5	SP-SM	A-3		5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravillas asiladas, compactad media a densa. Constituido por: G = 2.88%, A = 90.75%, F = 6.36%.	M-05	20.17	NP	NP							
6															

SOLICITADO		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-07				
INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI		NIVEL FREÁTICO		-1.20 m				
PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA.		COTA (m s.n.m.)		28.00		REGISTRO		J.O.R.		
PROFUNDIDAD		- 10.45 m		FECHA		Enero - 2020				
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT @0.30 m	
	SUCS	MSHTO	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	LP (%)	N° (GOLPES/PIE)	
7	SP-SM	A-3		6.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.17%, A = 94.29%, F = 5.55%.	M-06	23.67	NP	NP	N=42	
8	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravillas aisladas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.14%, A = 93.63%, F = 6.24%.	M-07	25.13	NP	NP	N=46	
9	SP-SM	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravillas aisladas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.45%, A = 92.75%, F = 6.80%.	M-08	24.12	NP	NP	N=45	
10	SP	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas y gravillas aisladas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.96%, A = 95.39%, F = 3.64%.	M-09	23.84	NP	NP	N=45	
11	SP-SM	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada con limo de color marrón, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.32%, A = 92.57%, F = 7.11%.	M-10	24.31	NP	NP	N=47	
12										

		EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-08										
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO MEO S.A.C		NIVEL FREÁTICO		-1.40 m										
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO MEO - ETAPA KALANI		REGISTRO		J.O.R.										
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA		REVISADO POR												
PROFUNDIDAD		- 10.45 m	COTA (m s.n.m.)	28.00		FECHA		Enero - 2020								
PROF (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT $\phi 0.2m$							
	SÍMBOLO SUCS	SÍMBOLO AASHTO	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	L.L (%)	LP (%)	N° (GOLPES/PIE)							
									10	20	30	40	50	60	70	80
0.00 - 0.40	---	---		0.00 - 0.40 m. Relleno, denso, color gris, seco, gravas aisladas TM=1", falces hasta 1.0 m de prof., afirmado.	S/M	---	---	---								
0.40 - 2.00	SP	A-3		0.40 - 2.00 m. Arena pobremente gradada de color beige, húmeda, arena fina, presencia de fragmentos de conchas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.21%, F = 1.79%.	M-01	24.10	NP	NP								
2.00 - 3.00	SP	A-3		2.00 - 3.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 97.86%, F = 2.14%.	M-02	22.75	NP	NP								
3.00 - 4.00	SP	A-3		3.00 - 4.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.62%, F = 3.38%.	M-03	21.10	NP	NP								
4.00 - 5.00	SP	A-3		4.00 - 5.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 96.03%, F = 3.97%.	M-04	23.74	NP	NP								
5.00 - 6.00	SP	A-3		5.00 - 6.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, compactación media a densa. Constituido por: G = 0.20%, A = 95.94%, F = 3.85%.	M-05	21.56	NP	NP								

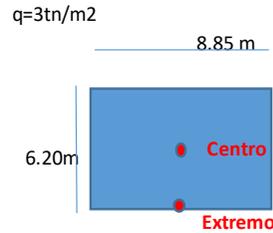
			EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		REGISTRO DEL SONDAJE		P-08											
SOLICITADO		INMOBILIARIA VIVE PUERTO VIEJO S.A.C.			NIVEL FREÁTICO		-1.40 m											
PROYECTO		ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS CON FINES DE CIMENTACIÓN Y PAVIMENTOS CONDOMINIOS PUERTO VIEJO - ETAPA KALANI			REGISTRO		J.O.R.											
UBICACIÓN		PANAMERICANA SUR KM 71 DISTRITO DE SAN ANTONIO, PROVINCIA DE CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA			REVISADO POR													
PROFUNDIDAD		- 10.45 m	COTA (m s.n.m.)		28.00		FECHA		Enero - 2020									
PROF. (m)	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			ENSAYO SPT Q ₁₀₀ (N)									
	SUCS	AASHTO	SÍMBOLO GRÁFICO			W (%)	LL (%)	LP (%)	N* (GOLPES/PE)									
									10	20	30	40	50	60	70	80		
7	SP-SM	A-3		8.00 - 7.00 m. Arena pobremente gradada con limos de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.86%, F = 5.34%.	M-06	23.51	NP	NP									N=47	
	SP-SM	A-3		7.00 - 8.00 m. Arena pobremente gradada con limos de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.37%, F = 5.63%.	M-07	24.58	NP	NP										N=52
8	SP	A-3		8.00 - 9.00 m. Arena pobremente gradada de color gris, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 87.13%, F = 2.87%.	M-08	24.88	NP	NP										N=62
9	SP-SM	A-3		9.00 - 10.00 m. Arena pobremente gradada con limos de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.00%, A = 94.18%, F = 5.82%.	M-09	24.33	NP	NP										N=64
10	SP-SM	A-3		10.00 - 10.45 m. Arena pobremente gradada con limos de color marrón, húmeda, arena fina a media, presencia de fragmentos de conchas, grumos de arcilla, compactad media a densa. Constituido por: G = 0.33%, A = 93.94%, F = 5.73%.	M-07	22.79	NP	NP										N=58
11																		
12																		

ANEXO D

FACTORES DE INFLUENCIA POR CARGA RECTANGULAR

CALCULO DE FACTORES DE INFLUENCIA SEGÚN PROFUNDIDAD

Parametros	
Carga - q (tn/m ²)	3.00
Ancho B (m)	6.20
Largo L (m)	8.85
Beq	7.66



Z (m)	Factor de influencia UPPER ZONE	
	C	EX
0.25	1.000	0.500
0.75	0.995	0.498
1.25	0.977	0.493
1.75	0.944	0.483
2.25	0.897	0.468

Z (m)	Factor de influencia LOWER ZONE	
	C	EX
3.50	0.744	0.415
5.50	0.508	0.323
7.50	0.346	0.246
9.50	0.244	0.188
11.50	0.179	0.146
13.50	0.136	0.116
15.50	0.106	0.093

<u>CALCULO DE FACTOR DE INFLUENCIA ZONA SUPERIOR - SUELO MEJORADO</u>					CENTRO		EXTREMO		PARCIAL		TOTAL	
Espesor	Z (m)	q	B	L	m1	n1	m1	n1	lc	lex	lc	lex
0.50	0.25	3.00	7.66	7.66	15.32	15.32	15.32	30.65	0.25	0.25	1.000	0.500
0.50	0.75	3.00	7.66	7.66	5.11	5.11	5.11	10.22	0.25	0.25	0.995	0.498
0.50	1.25	3.00	7.66	7.66	3.06	3.06	3.06	6.13	0.24	0.25	0.977	0.493
0.50	1.75	3.00	7.66	7.66	2.19	2.19	2.19	4.38	0.24	0.24	0.944	0.483
0.50	2.25	3.00	7.66	7.66	1.70	1.70	1.70	3.41	0.22	0.23	0.897	0.468

2.50 m

<u>CALCULO DE FACTOR DE INFLUENCIA ZONA INFERIOR -DEBAJO DE SUELO MEJORADO</u>					CENTRO		EXTREMO		PARCIAL		TOTAL	
Espesor	Z (m)	q	B	L	m1	n1	m1	n1	lc	lex	lc	lex
2.00	3.50	3.00	7.66	7.66	1.09	1.09	1.09	2.19	0.19	0.21	0.744	0.415
2.00	5.50	3.00	7.66	7.66	0.70	0.70	0.70	1.39	0.13	0.16	0.508	0.323
2.00	7.50	3.00	7.66	7.66	0.51	0.51	0.51	1.02	0.09	0.12	0.346	0.246
2.00	9.50	3.00	7.66	7.66	0.40	0.40	0.40	0.81	0.06	0.09	0.244	0.188
2.00	11.50	3.00	7.66	7.66	0.33	0.33	0.33	0.67	0.04	0.07	0.179	0.146
2.00	13.50	3.00	7.66	7.66	0.28	0.28	0.28	0.57	0.03	0.06	0.136	0.116
2.00	15.50	3.00	7.66	7.66	0.25	0.25	0.25	0.49	0.03	0.05	0.106	0.093

16.50 m

ANEXO E

CAPACIDAD PORTANTE METODO PRIEBE 1995 SISTEMA
VIBROCOMPACTACION

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-01

Datos de la columna de grava

Espaciamiento	3.3 m
Diámetro	0.70 m
Módulo edométrico (DC)	190 MN/m ²
Ángulo de fricción	45 °
Área de reemplazo	5.55%
Ka	0.073
Koc	0.255

Datos de la cimentación

Carga transmitida a suelo de apoyo	20.42 kN/m ²
------------------------------------	-------------------------

Parámetros del Suelo SPT 1

No	Topl. m	A/Ac	D ₅₀ mm	DC/D ₅₀	γ kN/m ³	u	f	C _u kN/m ²
1	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.533	22.00	0.00
2	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.533	22.00	0.00
3	0.50	28.19	11.31	13.26	16.00	0.533	22.00	0.00
4	0.50	28.19	11.31	13.26	17.00	0.533	22.00	0.00
5	0.50	28.19	11.31	13.26	17.00	0.533	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n _c	m _v	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₂	n ₀	m ₂	f ₃	c ₀ kN/m ²
1	1.231	0.488	1.225	0.18	27.207	0.000	1.077	1.296	0.30	30.113	0.000
2	1.231	0.488	1.225	0.18	27.207	0.000	1.150	1.435	0.30	30.113	0.000
3	1.231	0.488	1.225	0.18	27.207	0.000	1.267	1.485	0.30	30.113	0.000
4	1.231	0.488	1.225	0.18	27.207	0.000	1.611	1.455	0.30	30.113	0.000
5	1.231	0.536	1.228	0.18	29.452	0.000	1.572	1.882	0.28	31.548	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Cimentación Zapata cuadrada

Condición: Cálculo General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	φ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	Nγ	B'	B	σ _v	σ _{vadm}
kN	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m	m	kN/m ²	kN/m ²
0.40	15.000	0.00	30.0	18.0	27.16	22.46	29.32			7.55	1090.80	963.60

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-02

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Modulo volumétrico (DC)	150 MN/m ²		
Ángulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	3.33%		
fa	0.172		
Soc.	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Tept m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.13	15.56	3.84	16.05	0.533	22.00	0.00
2	0.50	28.13	16.26	3.84	16.05	0.533	22.00	0.00
3	0.50	28.13	16.97	3.84	16.05	0.533	25.00	0.00
4	0.50	28.13	18.37	3.84	17.00	0.533	25.00	0.00
5	0.50	28.13	17.73	11.79	17.00	0.533	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _c	C _v kN/m ²
1	1.233	0.692	1.225	0.38	27.176	0.000	1.057	1.261	0.33	28.347	0.000
2	1.233	0.692	1.225	0.38	27.176	0.000	1.160	1.307	0.33	28.540	0.000
3	1.232	0.787	1.224	0.38	29.425	0.000	1.179	1.278	0.22	30.217	0.000
4	1.233	0.764	1.224	0.38	29.425	0.000	1.179	1.278	0.33	30.217	0.000
5	1.232	0.554	1.226	0.38	29.452	0.000	1.572	1.388	0.28	32.549	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	φ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	Nγ	B	D	φ _o	φ _o udm
t	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	30.0	16.0	37.16	22.46	39.52		7.66	1090.89	355.80

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-03

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Modulo volumétrico (DC)	150 MN/m ²		
Angulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	5.33%		
fa	0.172		
Soc.	0.208		

Parámetros del suelo SPI 3

No	Test m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.13	18.36	2.16	16.05	0.533	25.00	0.00
2	0.50	28.13	28.28	2.28	16.05	0.533	25.00	0.00
3	0.50	28.13	8.44	17.68	16.05	0.533	25.00	0.00
4	0.50	28.13	6.56	25.57	17.05	0.533	25.00	0.00
5	0.50	28.13	10.01	16.14	17.05	0.533	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _c	C _v kN/m ²
1	1.231	0.613	1.231	0.38	29.416	0.000	1.057	1.251	0.30	26.822	0.000
2	1.231	0.613	1.231	0.38	29.416	0.000	1.088	1.251	0.30	26.822	0.000
3	1.232	0.617	1.228	0.29	27.576	0.000	1.267	1.292	0.37	32.538	0.000
4	1.231	0.367	1.228	0.14	27.889	0.000	1.512	1.801	0.44	34.230	0.000
5	1.232	0.454	1.227	0.28	27.962	0.000	1.287	1.446	0.32	35.222	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	φ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	Nγ	B	D	φ _o	φ _o udm
t	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	32.0	16.0	44.04	28.52	27.35		7.66	15.02.09	507.96

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-04

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Modulo volumétrico (DC)	150 MN/m ²		
Angulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	5.33%		
Is	0.172		
Soc	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Tept m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.13	11.31	15.26	16.05	0.533	22.00	0.00
2	0.50	28.13	22.61	25.26	16.05	0.533	22.00	0.00
3	0.50	28.13	11.31	15.26	16.05	0.533	22.00	0.00
4	0.50	28.13	22.61	25.26	16.05	0.533	22.00	0.00
5	0.50	28.13	11.79	10.68	17.05	0.533	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _c	C _v kN/m ²
1	1.231	0.468	1.226	0.18	27.207	0.000	1.057	1.286	0.33	28.372	0.000
2	1.231	0.468	1.226	0.18	27.207	0.000	1.190	1.435	0.30	30.512	0.000
3	1.232	0.484	1.226	0.18	27.207	0.000	1.267	1.485	0.30	30.512	0.000
4	1.231	0.463	1.224	0.18	29.416	0.000	1.088	1.256	0.30	28.822	0.000
5	1.232	0.497	1.226	0.18	29.445	0.000	1.451	1.350	0.28	32.145	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	ϕ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	N _y	B	D	ϕ_{20}	ϕ uden
t	m	kN/m ²	kN/m ²	°	kN/m ²				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	32.0	16.0	40.41	25.28	22.96		7.66	1287.49	429.38

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-05

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Módulo elástico (DC)	150 MN/m ²		
Ángulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	3.33%		
fa	0.172		
Soc	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Tept m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.13	16.97	2.84	16.05	0.533	25.00	0.00
2	0.50	28.13	26.27	2.84	16.05	0.533	25.00	0.00
3	0.50	28.13	12.78	11.78	17.05	0.533	25.00	0.00
4	0.50	28.13	22.25	11.79	17.05	0.533	25.00	0.00
5	0.50	28.13	26.72	5.66	17.05	0.533	20.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _v	C _v kN/m ²
1	1.231	0.768	1.234	0.38	29.425	0.000	1.057	1.228	0.22	30.237	0.000
2	1.231	0.768	1.224	0.38	29.425	0.000	1.178	1.228	0.22	30.237	0.000
3	1.232	0.558	1.226	0.28	29.452	0.000	1.293	1.223	0.22	31.549	0.000
4	1.231	0.558	1.226	0.38	29.452	0.000	1.573	1.263	0.28	31.549	0.000
5	1.232	1.307	1.220	0.28	35.167	0.000	1.000	1.265	0.34	32.508	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	φ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	Nγ	B	D	φ _o	φ _{adm}
t	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	32.0	16.0	40.41	25.28	22.96		7.66	1287.49	429.38

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-06

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Modulo volumétrico (DC)	150 MN/m ²		
Angulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	5.33%		
fa	0.172		
Soc.	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Test m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.14	24.04	8.34	16.05	0.533	25.00	0.00
2	0.50	28.13	24.04	8.24	17.05	0.533	25.00	0.00
3	0.50	28.13	18.03	8.30	17.05	0.533	25.00	0.00
4	0.50	28.13	25.22	5.66	17.05	0.533	30.00	0.00
5	0.50	28.14	26.72	5.66	17.05	0.533	30.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _v	C _v kN/m ²
1	1.231	1.158	1.231	0.18	29.377	0.000	1.000	1.166	0.16	28.838	0.000
2	1.231	1.158	1.231	0.18	29.377	0.000	1.000	1.166	0.16	28.838	0.000
3	1.252	0.825	1.224	0.18	29.438	0.000	1.130	1.280	0.22	29.955	0.000
4	1.231	1.307	1.220	0.18	33.167	0.000	1.000	1.165	0.14	32.538	0.000
5	1.252	1.407	1.220	0.18	35.167	0.000	1.000	1.165	0.14	32.538	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	φ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	Nγ	B	D	φ _o	φ _o udm
t	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	31.0	16.0	40.41	25.28	22.96		7.66	1287.49	429.38

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-07

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Módulo elástico (DC)	150 MN/m ²		
Ángulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	5.33%		
fa	0.172		
Sox	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Test m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C _v cN/m ²
1	0.50	28.13	9.90	15.15	16.05	0.533	22.00	0.00
2	0.50	28.13	9.90	15.15	16.05	0.533	22.00	0.00
3	0.50	28.13	7.43	20.20	17.05	0.533	22.00	0.00
4	0.50	28.13	20.15	7.44	17.05	0.533	25.00	0.00
5	0.50	28.13	20.15	7.44	17.05	0.533	25.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n _v	d(A/Ac)	n ₁	m ₁	f ₁	C ₁ kN/m ²	f ₄	n ₂	m ₂	f _v	C _v kN/m ²
1	1.233	0.421	1.227	0.18	27.217	0.000	1.057	1.287	0.33	28.386	0.000
2	1.233	0.421	1.227	0.18	27.217	0.000	1.190	1.463	0.32	30.650	0.000
3	1.252	0.505	1.228	0.20	27.258	0.000	1.204	1.881	0.42	32.842	0.000
4	1.233	0.404	1.223	0.18	29.406	0.000	1.000	1.233	0.38	29.404	0.000
5	1.252	0.599	1.228	0.28	29.404	0.000	1.000	1.228	0.38	29.404	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	ϕ abajo Df	γ abajo Df	Nc	Nq	N _y	B	D	ϕ_{cr}	ϕ_{adm}
t	m	kN/m ²	kN/m ²	°	kN/m ²				m	m	kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	30.0	16.0	37.16	22.46	39.52		7.66	1090.89	955.80

CAPACIDAD PORTANTE DE SUELO MEJORADO P-08

Datos de la columna de grava		Datos de la cimentación	
Espesoramiento	3.3 m	Carga transmitida al suelo de apoyo	29.42 kN/m ²
Diámetro	0.70 m		
Modulo volumétrico (DC)	150 MN/m ²		
Angulo de fricción	45 °		
Área de reemplazo	3.33%		
ka	0.172		
Sc	0.208		

Parámetros del suelo SPI 1

No	Test m	A/Ac	DS MN/m ²	DC/DS	γ kN/m ³	u	f	C_u cN/m ²
1	0.50	28.14	19.40	7.38	16.05	0.333	25.00	0.00
2	0.50	28.13	20.20	7.38	16.05	0.333	25.00	0.00
3	0.50	28.14	19.40	7.38	17.05	0.333	25.00	0.00
4	0.50	28.13	24.40	8.25	17.05	0.333	28.00	0.00
5	0.50	28.14	24.40	8.15	17.05	0.333	28.00	0.00
6								
7								
8								
9								

Parámetros del Suelo Mejorado

No	n_v	$d(A/Ac)$	n_1	m'_1	f_1	C_1 kN/m ²	f_d	n_2	m'_2	f_c	C_2 kN/m ²
1	1.233	0.920	1.223	0.38	29.407	0.000	1.033	1.233	0.39	28.564	0.000
2	1.233	0.920	1.223	0.38	29.407	0.000	1.033	1.233	0.39	28.564	0.000
3	1.232	0.920	1.223	0.38	29.407	0.000	1.032	1.233	0.39	28.564	0.000
4	1.233	1.180	1.221	0.38	31.652	0.000	1.000	1.183	0.35	35.133	0.000
5	1.232	1.180	1.221	0.38	31.652	0.000	1.000	1.183	0.35	35.133	0.000
6											
7											
8											
9											

Cálculo de capacidad portante para Zapatas cuadradas

Dimensiones Zapata cuadrada

Condición: Falla General por corte

P	Df	γ Arriba Df	C abajo Df	ϕ abajo Df	γ abajo Df	N_c	N_q	N_γ	E'	β	ϕ_{cr}	ϕ_{adm}
t	m	kN/m ³	kN/m ²	°	kN/m ³				m		kN/m ²	kN/m ²
	0.40	16.000	0.00	30.0	16.0	37.16	23.46	39.52		7.66	1090.89	95.80

ANEXO F

ASENTAMIENTO ELASTICO SISTEMA GEOPIER IMPACT

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kalani
 Tipo de cimentación: Plata de Cimentación
 Sanitaje: P-01

Sistema de Mejoramiento: SISTEMA GEOPILR IMPACT
 Nivel de Pisos: 2

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.66
Largo de losa (m)	7.66
Espaciamiento (m)	7.4
Diametro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.91

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. RAP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento			
		m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SUCS	N															
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.25	1.000	3.00	0.082	0.500	1.50	0.041			
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.75	0.995	2.98	0.082	0.498	1.50	0.041			
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	1.25	0.977	2.91	0.080	0.493	1.48	0.041			
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	1.75	0.944	2.81	0.078	0.483	1.45	0.040			
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	20000.00	1960.74	2.25	0.897	2.69	0.069	0.468	1.40	0.036			
2.50 m										Asentamiento Superior (cm)		0.391		Asentamiento Superior (cm)		0.198

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DFBALO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presion de suelo	Asentamiento			
		m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.165	0.415	1.25	0.092			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072			
SP-SM	75	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021			
16.50 m										Asentamiento inferior (cm)		0.502		Asentamiento inferior (cm)		0.339
										Asentamiento Total (cm)		0.893		Asentamiento Total (cm)		0.537

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-02

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	2.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.06

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. IIP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	11	0.5	3.55%	1585.75	20000.00	2238.83	0.25	1.000	3.00	0.067	0.500	1.50	0.033
SP	11	0.5	3.55%	1585.75	20000.00	2238.83	0.75	0.993	2.98	0.067	0.498	1.50	0.033
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	20000.00	2377.87	1.25	0.977	2.93	0.062	0.498	1.48	0.031
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	20000.00	2377.87	1.75	0.944	2.83	0.060	0.483	1.45	0.030
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	20000.00	1960.73	2.25	0.897	2.69	0.069	0.468	1.40	0.036
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)	0.323		Asentamiento Superior (cm)	0.164		

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)	0.502		Asentamiento inferior (cm)	0.339		
							Asentamiento Total (cm)	0.826		Asentamiento Total (cm)	0.503		

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani
 Tipos de cimentación: Plata de Cimentación
 Sondaje: P-01

Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Nivel de Pisos: 2

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	2.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.75

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. IIP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	13	0.5	3.55%	1874.07	20000.00	2516.92	0.25	1.000	3.00	0.060	0.500	1.50	0.030	
SP	13	0.5	3.55%	1874.07	20000.00	2516.92	0.75	0.993	2.98	0.059	0.498	1.50	0.030	
SM	10	0.5	3.55%	804.96	20000.00	1543.59	1.25	0.977	2.93	0.095	0.498	1.48	0.048	
SM	10	0.5	3.55%	840.72	20000.00	1335.02	1.75	0.944	2.83	0.106	0.483	1.45	0.054	
SP	10	0.5	3.55%	3081.20	20000.00	1752.16	2.25	0.897	2.69	0.077	0.468	1.40	0.040	
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)			0.397	Asentamiento Superior (cm)			0.202

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021	
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)			0.502	Asentamiento inferior (cm)			0.339
							Asentamiento Total (cm)			0.899	Asentamiento Total (cm)			0.541

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-04

Parámetros de Dibujo:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	2.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	2.11

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. IIP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.25	1.000	3.00	0.087	0.500	1.50	0.041	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	0.75	0.995	2.98	0.082	0.498	1.50	0.041	
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	20000.00	1821.69	1.25	0.977	2.93	0.080	0.498	1.48	0.041	
SP	13	0.5	3.55%	3874.07	20000.00	2516.92	1.75	0.944	2.83	0.056	0.483	1.45	0.029	
SP	13	0.5	3.55%	3405.36	20000.00	2065.02	2.25	0.897	2.69	0.065	0.468	1.40	0.034	
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			Asentamiento Superior (cm)			0.186

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DIFRAIO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021	
16.50 m								Asentamiento inferior (cm)			Asentamiento inferior (cm)			0.339
								Asentamiento Total (cm)			Asentamiento Total (cm)			0.525

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-05

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	2.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.25

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. IIP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	20000.00	2377.87	0.25	1.000	3.00	0.063	0.500	1.50	0.032
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	20000.00	2377.87	0.75	0.993	2.98	0.063	0.498	1.50	0.031
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	20000.00	1960.73	1.25	0.977	2.93	0.075	0.498	1.48	0.038
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	20000.00	1960.73	1.75	0.944	2.83	0.072	0.483	1.45	0.037
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	20000.00	3316.44	2.25	0.897	2.69	0.041	0.468	1.40	0.021
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)	0.313		Asentamiento Superior (cm)	0.159		

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)	0.502		Asentamiento inferior (cm)	0.339		
							Asentamiento Total (cm)	0.815		Asentamiento Total (cm)	0.498		

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani
 Tipos de cimentación: Plata de Cimentación
 Sondaje: P-06

Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Nivel de Pisos: 2

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.66
Largo de losa (m)	7.66
Espaciamiento (m)	7.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	0.92

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. IIP	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	17	0.5	3.55%	3450.71	20000.00	3073.11	0.25	1.000	3.00	0.049	0.500	1.50	0.024
SP	17	0.5	3.55%	2420.71	20000.00	3073.11	0.75	0.993	2.98	0.049	0.498	1.50	0.024
SP	17	0.5	3.55%	1838.08	20000.00	2482.16	1.25	0.977	2.93	0.050	0.498	1.48	0.030
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	20000.00	3316.44	1.75	0.944	2.83	0.043	0.483	1.45	0.022
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	20000.00	3316.44	2.25	0.897	2.69	0.041	0.468	1.40	0.021
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)		0.240	Asentamiento Superior (cm)		0.122	

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-IM	25	3.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	3.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)		0.502	Asentamiento inferior (cm)		0.339	
							Asentamiento Total (cm)		0.742	Asentamiento Total (cm)		0.461	

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPIER IMPACT**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-07

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.66
Largo de losa (m)	7.66
Espaciamiento (m)	2.4
Diámetro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.20

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo				
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Módulo Elás. del suelo	Módulo Elás. RAP	Módulo Elás. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento		
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm		
SP	7	0.5	3.55%	3009.32	20000.00	1882.64	0.25	1.000	3.00	0.089	0.500	1.50	0.045		
SP	7	0.5	3.55%	3009.32	20000.00	1882.64	0.75	0.995	2.98	0.089	0.498	1.50	0.044		
SP	7	0.5	3.55%	756.81	20000.00	1439.33	1.25	0.977	2.93	0.107	0.493	1.48	0.051		
SP	19	0.5	3.55%	2054.27	20000.00	2090.73	1.75	0.944	2.83	0.053	0.483	1.45	0.027		
SP	19	0.5	3.55%	2054.27	20000.00	2090.73	2.25	0.897	2.69	0.050	0.408	1.40	0.026		
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			0.387	Asentamiento Superior (cm)			0.143

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo				
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Módulo Elás. del suelo	Módulo Elás. CG	Módulo Elás. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento		
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm		
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.165	0.415	1.25	0.092		
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072		
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055		
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042		
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.175	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032		
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026		
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.106	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021		
16.50 m								Asentamiento Inferior (cm)			0.502	Asentamiento Inferior (cm)			0.339
								Asentamiento Total (cm)			0.889	Asentamiento Total (cm)			0.532

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **SISTEMA GEOPHER IMPACT**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-08

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.66
Largo de losa (m)	7.66
Espaciamento (m)	2.4
Diametro (m)	0.51
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.40

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Módulo Elás. del suelo	Módulo Elás. RAP	Módulo Elás. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	20000.00	2665.97	0.25	1.000	3.00	0.056	0.500	1.50	0.028
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	20000.00	2665.97	0.75	0.995	2.98	0.056	0.498	1.50	0.028
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	20000.00	2665.97	1.25	0.977	2.93	0.055	0.493	1.48	0.028
SP	23	0.5	3.55%	2486.75	20000.00	3307.87	1.75	0.944	2.83	0.046	0.483	1.45	0.023
SP	23	0.5	3.55%	2486.75	20000.00	3307.87	2.25	0.897	2.69	0.043	0.408	1.40	0.023
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)	0.25 f		Asentamiento Superior (cm)	0.130		

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DEBAJO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Módulo Elás. del suelo	Módulo Elás. CG	Módulo Elás. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.165	0.415	1.25	0.062
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.175	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.106	0.32	0.023	0.095	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)	0.502		Asentamiento inferior (cm)	0.339		
							Asentamiento Total (cm)	0.759		Asentamiento Total (cm)	0.469		

ANEXO G

ASENTAMIENTO ELASTICO SISTEMA VIBROCOMPACTACION

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-01

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.01

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.25	1.000	3.00	0.091	0.500	1.50	0.046
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.75	0.993	2.98	0.091	0.498	1.50	0.045
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	1.25	0.977	2.93	0.089	0.498	1.48	0.045
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	1.75	0.944	2.83	0.086	0.483	1.45	0.044
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	15000.00	1783.44	2.25	0.897	2.69	0.075	0.468	1.40	0.039
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)			0.433	Asentamiento Superior (cm)	0.219	

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	3.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	3.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)			0.502	Asentamiento inferior (cm)	0.339	
							Asentamiento Total (cm)			0.935	Asentamiento Total (cm)	0.558	

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipos de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-02

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.96

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento			
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SP	11	0.5	3.55%	1585.75	15000.00	2061.53	0.25	1.000	3.00	0.073	0.500	1.50	0.036			
SP	11	0.5	3.55%	1585.75	15000.00	2061.53	0.75	0.993	2.98	0.072	0.498	1.50	0.036			
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	15000.00	2200.58	1.25	0.977	2.93	0.067	0.498	1.48	0.034			
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	15000.00	2200.58	1.75	0.944	2.83	0.064	0.483	1.45	0.033			
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	15000.00	1783.44	2.25	0.897	2.69	0.075	0.468	1.40	0.039			
2.50 m										Asentamiento Superior (cm)			0.351	Asentamiento Superior (cm)		0.178

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DIFRAIO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento			
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021			
16.50 m										Asentamiento inferior (cm)			0.502	Asentamiento inferior (cm)		0.339
										Asentamiento Total (cm)			0.854	Asentamiento Total (cm)		0.518

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-01

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.75

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo								
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento						
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm						
SP	13	0.5	3.55%	1874.07	15000.00	2339.63	0.25	1.000	3.00	0.064	0.500	1.50	0.032						
SP	13	0.5	3.55%	1874.07	15000.00	2339.63	0.75	0.993	2.98	0.064	0.498	1.50	0.032						
SM	10	0.5	3.55%	804.96	15000.00	1366.30	1.25	0.977	2.93	0.107	0.498	1.48	0.054						
SM	10	0.5	3.55%	848.72	15000.00	1357.73	1.75	0.944	2.83	0.122	0.483	1.45	0.063						
SP	10	0.5	3.55%	3081.20	15000.00	1574.87	2.25	0.897	2.69	0.085	0.468	1.40	0.045						
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			0.443			Asentamiento Superior (cm)			0.225		

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo								
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento						
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021						
16.50 m								Asentamiento inferior (cm)			0.502			Asentamiento inferior (cm)			0.339		
								Asentamiento Total (cm)			0.945			Asentamiento Total (cm)			0.564		

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-04

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	2.11

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.25	1.000	3.00	0.091	0.500	1.50	0.046
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	0.75	0.993	2.98	0.091	0.498	1.50	0.045
SP	8	0.5	3.55%	1153.28	15000.00	1644.39	1.25	0.977	2.93	0.089	0.498	1.48	0.045
SP	13	0.5	3.55%	3874.07	15000.00	2339.63	1.75	0.944	2.83	0.061	0.483	1.45	0.031
SP	13	0.5	3.55%	3405.36	15000.00	1887.73	2.25	0.897	2.69	0.071	0.468	1.40	0.037
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)		0.403	Asentamiento Superior (cm)		0.204	

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	3.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	3.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)		0.502	Asentamiento inferior (cm)		0.339	
							Asentamiento Total (cm)		0.905	Asentamiento Total (cm)		0.543	

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-05

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.25

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento			
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	15000.00	2200.58	0.25	1.000	3.00	0.068	0.500	1.50	0.034			
SP	12	0.5	3.55%	1729.91	15000.00	2200.58	0.75	0.993	2.98	0.068	0.498	1.50	0.034			
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	15000.00	1783.44	1.25	0.977	2.93	0.082	0.498	1.48	0.041			
SP	12	0.5	3.55%	1297.44	15000.00	1783.44	1.75	0.944	2.83	0.079	0.483	1.45	0.041			
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	15000.00	3339.14	2.25	0.897	2.69	0.043	0.468	1.40	0.022			
2.50 m										Asentamiento Superior (cm)		0.340		Asentamiento Superior (cm)		0.172

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DIFRAIO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo					
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento			
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072			
SP-SM	25	3.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055			
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032			
SP	25	3.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026			
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021			
16.50 m										Asentamiento inferior (cm)		0.502		Asentamiento inferior (cm)		0.339
										Asentamiento Total (cm)		0.842		Asentamiento Total (cm)		0.512

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-06

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	0.92

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	17	0.5	3.55%	3450.71	15000.00	2895.81	0.25	1.000	3.00	0.057	0.500	1.50	0.026
SP	17	0.5	3.55%	2420.71	15000.00	2895.81	0.75	0.993	2.98	0.052	0.498	1.50	0.026
SP	17	0.5	3.55%	1838.08	15000.00	2304.86	1.25	0.977	2.93	0.064	0.498	1.48	0.032
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	15000.00	3339.14	1.75	0.944	2.83	0.045	0.483	1.45	0.023
SP	25	0.5	3.55%	2702.99	15000.00	3339.14	2.25	0.897	2.69	0.043	0.468	1.40	0.022
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)			0.255	Asentamiento Superior (cm)	0.129	

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DISEÑO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo		
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)			0.502	Asentamiento inferior (cm)	0.339	
							Asentamiento Total (cm)			0.757	Asentamiento Total (cm)	0.468	

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kaiani Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Tipo de cimentación: Placa de Cimentación Nivel de Pisos: 2
 Sondaje: P-07

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.00
Largo de losa (m)	7.00
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.20

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo								
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento						
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm						
SP	7	0.5	3.55%	3009.12	15000.00	1505.35	0.25	1.000	3.00	0.100	0.500	1.50	0.050						
SP	7	0.5	3.55%	3009.12	15000.00	1505.35	0.75	0.993	2.98	0.099	0.498	1.50	0.050						
SP	7	0.5	3.55%	756.84	15000.00	1262.02	1.25	0.977	2.93	0.116	0.498	1.48	0.059						
SP	19	0.5	3.55%	2054.27	15000.00	2513.43	1.75	0.944	2.83	0.056	0.483	1.45	0.029						
SP	19	0.5	3.55%	2054.27	15000.00	2513.43	2.25	0.897	2.69	0.054	0.468	1.40	0.028						
2.50 m								Asentamiento Superior (cm)			0.425			Asentamiento Superior (cm)			0.215		

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DIFRAIO DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo								
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Área de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento						
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.23	0.105	0.425	1.25	0.052						
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072						
SP-SM	25	3.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032						
SP	25	3.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026						
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.100	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021						
16.50 m								Asentamiento inferior (cm)			0.502			Asentamiento inferior (cm)			0.339		
								Asentamiento Total (cm)			0.927			Asentamiento Total (cm)			0.554		

CALCULO DE ASENTAMIENTO EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kalani
 Tipos de cimentación: Plata de Cimentación
 Sondaje: P-08

Sistema de Mejoramiento: **STONE COLUMNS-VIBROCOMPACTACION**
 Nivel de Pisos: 2

Parámetros de Diseño:	
Presión de suelo (Tn/m ²)	3.00
Ancho de losa (m)	7.66
Largo de losa (m)	7.66
Espaciamiento (m)	3.3
Diámetro (m)	0.70
Área de reemplazo (%)	3.55%
Nivel freático	1.40

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA SUPERIOR (UPPER ZONE) - SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	Ra %	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	15000.00	2478.67	0.25	1.000	3.00	0.061	0.500	1.50	0.030	
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	15000.00	2478.67	0.75	0.995	2.98	0.060	0.498	1.50	0.030	
SP	14	0.5	3.55%	2018.23	15000.00	2478.67	1.25	0.977	2.93	0.059	0.498	1.48	0.030	
SP	23	0.5	3.55%	2486.75	15000.00	2990.57	1.75	0.944	2.83	0.048	0.483	1.45	0.025	
SP	23	0.5	3.55%	2486.75	15000.00	2990.57	2.25	0.897	2.69	0.046	0.468	1.40	0.024	
2.50 m							Asentamiento Superior (cm)			0.274	Asentamiento Superior (cm)			0.139

CALCULO DE ASENTAMIENTO ZONA INFERIOR (LOWER ZONE) - DERRAMA DE SUELO MEJORADO								Asentamiento en el Centro			Asentamiento en el Extremo			
Tipo de suelo	Numero de Golpes	Espesor de capa	Area de reemplazo	Modulo Elas. del suelo	Modulo Elas. CG	Modulo Elas. Compuesto	Profundidad de asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	Factor de influencia	Δ Presión de suelo	Asentamiento	
SUCS	N	m	%	Tn/m ²	Tn/m ²	Tn/m ²	m	adm	Tn/m ²	cm	adm	Tn/m ²	cm	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			3.50	0.744	2.22	0.165	0.425	1.25	0.092	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			5.50	0.508	1.52	0.113	0.323	0.97	0.072	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			7.50	0.346	1.04	0.077	0.246	0.74	0.055	
SP-SM	25	2.00	3.55%	2702.99			9.50	0.244	0.73	0.054	0.188	0.56	0.042	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			11.50	0.179	0.54	0.040	0.146	0.44	0.032	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			13.50	0.136	0.41	0.030	0.116	0.35	0.026	
SP	25	2.00	3.55%	2702.99			15.50	0.106	0.32	0.023	0.098	0.280	0.021	
16.50 m							Asentamiento inferior (cm)			0.502	Asentamiento inferior (cm)			0.339
							Asentamiento Total (cm)			0.776	Asentamiento Total (cm)			0.478

ANEXO H

POTENCIAL DE LICUACION Y ASENTAMIENTO POST-LICUACION SISTEMA

GEOPIER IMPACT

CALCULO DE POTENCIAL DE LUCIACION EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

De quien: Consultores S.A.
Tipo de obra: Obra de Construcción
Actores de Mantenimiento: SERVICIO ESPECIAL IMPACT
Molde de Proyecto: 2

Parámetros de suelo
Volumen por comp (litros) 8
Caudal estimación (lts/min) 6.25
Gravidad del agua (kg/l) 1.0
Gravidad de las arenas (kg/l) 1.7

SONDAJE P-01

Table with 33 columns: Niveles de SP, Espesor, qt, q10, q5, Rf SP, C. Hércules, Rf, Rf SP, Rf SP, qpar, qpar, w total, u total, Fv, wV/W, w, CSR, CR, Cc, Cu, Cv, Cc, N60, Cc, %Lu, Alpha, Beta, Pmax, CSR, Factor, PCmax, R, Factor, CSR, CR, MSL, CA, Rv, Fv, Rv, SPT, Cc, CS, BF, Bq. Contains data for levels 1-9.

SONDAJE P-02

Table with 33 columns: Niveles de SP, Espesor, qt, q10, q5, Rf SP, C. Hércules, Rf, Rf SP, Rf SP, qpar, qpar, w total, u total, Fv, wV/W, w, CSR, CR, Cc, Cu, Cv, Cc, N60, Cc, %Lu, Alpha, Beta, Pmax, CSR, Factor, PCmax, R, Factor, CSR, CR, MSL, CA, Rv, Fv, Rv, SPT, Cc, CS, BF, Bq. Contains data for levels 1-10.

SONDAJE P-03

Table with 33 columns: Niveles de SP, Espesor, qt, q10, q5, Rf SP, C. Hércules, Rf, Rf SP, Rf SP, qpar, qpar, w total, u total, Fv, wV/W, w, CSR, CR, Cc, Cu, Cv, Cc, N60, Cc, %Lu, Alpha, Beta, Pmax, CSR, Factor, PCmax, R, Factor, CSR, CR, MSL, CA, Rv, Fv, Rv, SPT, Cc, CS, BF, Bq. Contains data for levels 1-10.

SONDAJE P-04

Table with 33 columns: Niveles de SP, Espesor, qt, q10, q5, Rf SP, C. Hércules, Rf, Rf SP, Rf SP, qpar, qpar, w total, u total, Fv, wV/W, w, CSR, CR, Cc, Cu, Cv, Cc, N60, Cc, %Lu, Alpha, Beta, Pmax, CSR, Factor, PCmax, R, Factor, CSR, CR, MSL, CA, Rv, Fv, Rv, SPT, Cc, CS, BF, Bq. Contains data for levels 1-10.

CALCULO DE POTENCIAL DE LIGACION EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Construcción de edificio
Tipo de construcción: Edificio de departamentos
Número de pisos: 2

SONDAJE P-05

Table with 34 columns: Niveles de SP, Espesor, qd, qd, fw, etc. Includes data for levels 1 through 10.

SONDAJE P-06

Table with 34 columns: Niveles de SP, Espesor, qd, qd, fw, etc. Includes data for levels 1 through 10.

SONDAJE P-07

Table with 34 columns: Niveles de SP, Espesor, qd, qd, fw, etc. Includes data for levels 1 through 10.

SONDAJE P-08

Table with 34 columns: Niveles de SP, Espesor, qd, qd, fw, etc. Includes data for levels 1 through 10.

Vertical text on the right side of the page, likely a legend or additional notes, including terms like 'f1', 'f2', 'f3', 'f4', 'f5', 'f6', 'f7', 'f8', 'f9', 'f10'.

ANEXO I

POTENCIAL DE LICUACION Y ASENTAMIENTO POST-LICUACION SISTEMA
VIBROCOMPACTACION

CALCULO DE POTENCIAL DE LICUACION EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Coacimera IAB
Tipo de cimentación: Rama de Cimentación
Sistema de Mejoramiento: VIBROCOMPACTACION
Nivel de Phas: 2

Parámetros de suelo: Algebrar del arena (Mw): 0.65, P. Esp. seco (d) (kN/m3): 16, Suelo aceleración (g): 0.45, P. Esp. saturado (sat) (kN/m3): 27, Diámetro del hoyo (mm): 103, Área de remplazo (%): 5.00%, P. Esp. agua (w) (kN/m3): 9.85

SONDAJE P-01

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, yct, ysat, ys, N° SPT, C. Fines, ER, Prof. "C", cv par, q par, cv total, p total, sigma, sigma/v, rd, CSR, Cc, Cc, Cc, Cc, FRO, Cc, P(Li), delta(Li), (Li)max, OCR, Kc, NBF, CBR, FS, Fm, Fv, Fw, delta(B), Cc, delta(m)

SONDAJE P-02

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, yct, ysat, ys, N° SPT, C. Fines, ER, Prof. "C", cv par, q par, cv total, p total, sigma, sigma/v, rd, CSR, Cc, Cc, Cc, Cc, FRO, Cc, P(Li), delta(Li), (Li)max, OCR, Kc, NBF, CBR, FS, Fm, Fv, Fw, delta(B), Cc, delta(m)

SONDAJE P-03

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, yct, ysat, ys, N° SPT, C. Fines, ER, Prof. "C", cv par, q par, cv total, p total, sigma, sigma/v, rd, CSR, Cc, Cc, Cc, Cc, FRO, Cc, P(Li), delta(Li), (Li)max, OCR, Kc, NBF, CBR, FS, Fm, Fv, Fw, delta(B), Cc, delta(m)

CALCULO DE POTENCIAL DE LICUACION EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condominio Kale
Tipo de Construcción: Pisos de Construcción
Sistema de Mejoramiento: VIBROCOMPACTACION
Nivel de Risco: 2

Table with 2 columns: Parameter and Value. Includes Magnitud del caso, Suelo de base, Diametro del hoyo, and P.Esp. eqva.

SONDAJE P-04

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, vs, Yw, N° SPT, C. fines, ER, Prof. Z', etc. for borehole P-04.

5 (m) = 0.03
3 (0.9) = 2.43

SONDAJE P-05

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, vs, Yw, N° SPT, C. fines, ER, Prof. Z', etc. for borehole P-05.

5 (m) = 0.03
2 (0.6) = 0.42

SONDAJE P-06

Table with 32 columns: Numero de SPT, Espesor, vs, Yw, N° SPT, C. fines, ER, Prof. Z', etc. for borehole P-06.

5 (m) = 0.03
2 (0.6) = 0.42

CALCULO DE POTENCIAL DE LICUACION EN CONDICION MEJORADA PARA LOSAS APOYADAS EN SUELO ARENOSO

Proyecto: Condón/ó Rio
 Tipo de cimentación: Pórtico de Cimentación
 Sistema de Mejoramiento: **VIBROCOMPACTACION**
 Nivel de Piso: 2

Parámetros de diseño			
Magnitud del sismo (Mw)	8	P. Ex. rot. ya (kN/m ²)	35
Suelo adyacente (q ₀)	0.45	P. Ex. rot. no rot. ya (kN/m ²)	37
Diámetro del hoyo (mm)	36	Área de compacta (m ²)	3.53%
P. Ex. opo ya (kN/m ²)	9.81		

SONDAJE P-07

Numero de SPT	Espesor m	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ (kN/m ²)	Nº SPT	C. Fines %	ER %	Prof "x"	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ total (kN/m ²)	q ₀ total (kN/m ²)	e _v	o _v /o _v	rd	CSR	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	NºD	C ₆	(N ₆₀) _s	DR ₆₀	(M _u) _s	CSR (kN/m ²)	K _u	MSF	CR	F.S	K _u	F _u	F _{max}	D _h (m)	C _u	ES (m)		
1	1.00	17.00	9.81	19	3.00	60	3.00	17.00	9.81	17.00	9.81	7.3	2.36	0.992	0.686	3.00	3.15	0.75	1.00	16.4	1.75	27.9	0.00	27.9	0.38	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	0.05	0.062	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
2	1.00	17.00	9.81	19	3.00	60	3.00	17.00	9.81	34.00	19.62	35.4	2.36	0.985	0.681	3.00	3.15	0.80	1.00	17.5	1.75	39.7	0.00	39.7	0.47	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-0.07	0.068	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
3	1.00	17.00	9.81	30	6.00	60	3.00	17.00	9.81	51.00	29.43	21.6	2.36	0.977	0.676	3.00	3.15	0.85	1.00	25.3	1.75	49.9	0.03	49.9	2.00	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-1.58	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
4	1.00	17.00	9.81	38	3.00	60	4.00	17.00	9.81	88.00	39.24	28.8	2.36	0.969	0.670	3.00	3.15	0.85	1.00	30.1	1.75	61.1	0.00	61.1	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-2.89	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
5	1.00	17.00	9.81	44	6.40	60	5.00	17.00	9.81	95.00	49.05	36.0	2.36	0.962	0.666	3.00	3.15	0.95	1.00	40.1	1.68	80.7	0.04	80.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-4.27	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
6	1.00	17.00	9.81	62	5.30	60	6.00	17.00	9.81	302.00	58.86	48.3	2.36	0.954	0.660	3.00	3.15	0.95	1.00	46.9	1.50	70.9	0.01	70.9	3.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-5.32	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
7	1.00	17.00	9.81	66	6.20	60	7.00	17.00	9.81	118.00	68.67	50.3	2.36	0.948	0.655	3.00	3.15	0.95	1.00	58.3	1.42	71.3	0.04	71.3	2.80	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-3.42	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
8	1.00	17.00	9.81	65	6.40	60	8.00	17.00	9.81	136.00	78.48	57.5	2.36	0.949	0.649	3.00	3.15	0.95	1.00	49.2	1.38	65.3	0.10	65.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-2.89	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
9	1.00	17.00	9.81	45	5.00	60	9.00	17.00	9.81	153.00	88.29	64.7	2.36	0.945	0.644	3.00	3.15	1.00	1.00	32.8	1.25	64.8	0.00	64.8	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-2.89	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
10	1.00	17.00	9.81	67	7.10	60	10.00	17.00	9.81	170.00	98.10	71.9	2.36	0.907	0.637	3.00	3.15	1.00	1.00	34.1	1.19	64.3	0.14	64.3	2.0	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-2.89	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
																													5.1m	0.013								
																													5.1m	2.2%								

SONDAJE P-08

Numero de SPT	Espesor m	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ (kN/m ²)	Nº SPT	C. Fines %	ER %	Prof "x"	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ ya (kN/m ²)	q ₀ total (kN/m ²)	q ₀ total (kN/m ²)	e _v	o _v /o _v	rd	CSR	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	NºD	C ₆	(N ₆₀) _s	DR ₆₀	(M _u) _s	CSR (kN/m ²)	K _u	MSF	CR	F.S	K _u	F _u	F _{max}	D _h (m)	C _u	ES (m)		
1	1.00	17.00	9.81	19	3.00	60	3.00	17.00	9.81	17.00	9.81	7.3	2.36	0.992	0.686	3.00	3.15	0.75	1.00	16.4	1.75	27.9	0.00	27.9	0.38	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	0.05	0.062	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
2	1.00	17.00	9.81	25	2.10	60	2.00	17.00	9.81	34.00	19.62	35.4	2.36	0.985	0.681	3.00	3.15	0.80	1.00	21.2	1.75	36.0	0.00	36.0	1.37	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-0.51	0.001	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
3	1.00	17.00	9.81	41	3.40	60	3.00	17.00	9.81	51.00	29.43	21.6	2.36	0.977	0.676	3.00	3.15	0.85	1.00	40.0	1.75	71.4	0.00	71.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-3.42	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
4	1.00	17.00	9.81	49	4.00	60	4.00	17.00	9.81	88.00	39.24	28.8	2.36	0.969	0.670	3.00	3.15	0.85	1.00	40.9	1.75	81.4	0.04	81.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-4.93	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
5	1.00	17.00	9.81	52	3.90	60	5.00	17.00	9.81	85.00	49.05	36.0	2.36	0.962	0.666	3.00	3.15	0.95	1.00	50.8	1.68	95.4	0.00	95.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-5.05	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
6	1.00	17.00	9.81	67	5.30	60	6.00	17.00	9.81	302.00	58.86	48.3	2.36	0.954	0.660	3.00	3.15	0.95	1.00	51.8	1.50	76.7	0.01	76.7	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-4.08	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
7	1.00	17.00	9.81	53	5.00	60	7.00	17.00	9.81	119.00	68.67	50.3	2.36	0.948	0.655	3.00	3.15	0.95	1.00	66.8	1.40	80.4	0.01	80.4	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-4.24	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
8	1.00	17.00	9.81	62	2.90	60	8.00	17.00	9.81	136.00	78.48	57.5	2.36	0.949	0.649	3.00	3.15	0.95	1.00	67.7	1.39	89.9	0.00	89.9	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-5.11	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
9	1.00	17.00	9.81	64	5.00	60	9.00	17.00	9.81	153.00	88.29	64.7	2.36	0.945	0.644	3.00	3.15	1.00	1.00	73.6	1.25	92.1	0.02	92.1	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-5.32	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
10	1.00	17.00	9.81	58	5.70	60	10.00	17.00	9.81	170.00	98.10	71.9	2.36	0.907	0.637	3.00	3.15	1.00	1.00	66.7	1.19	79.2	0.01	79.2	2.90	1.30	0.876	1.99	2.80	0.000	-4.12	0.000	1.00	0.000	0.000	1.00	0.000	0.000
																													5.1m	0.013								
																													5.1m	1.34%								

ANEXO J

PROCEDIMIENTO AASHTO PARA RELACION DE CAPACIDAD PORTANTE Y

$(N_1)_{60}$

CALCULO DE N°SPT MEJORADO CON PROCEDIMIENTO AASHTO DE CAPACIDAD PORTANTE

SONDAJE P-01

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	8	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1090.80	28.26	19.00	1005.00	26.04	18.00
2	12	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1090.80	28.26	18.00	1149.00	29.77	19.00
3	28	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	28.00	1437.00	37.23	28.00
4	105	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	105.00	1437.00	37.23	105.00
5	61	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1090.80	28.26	61.00	1437.00	37.23	61.00
6	43	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1090.80	28.26	43.00	1437.00	37.23	43.00
7	47	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1090.80	28.26	47.00	1437.00	37.23	47.00
8	53	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1090.80	28.26	53.00	1437.00	37.23	53.00
9	56	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1090.80	28.26	56.00	1437.00	37.23	56.00

SONDAJE P-02

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	11	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1090.80	28.26	19.00	1149.00	29.77	20.00
2	12	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1090.80	28.26	18.00	1149.00	29.77	19.00
3	34	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	34.00	1437.00	37.23	34.00
4	37	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	37.00	1437.00	37.23	37.00
5	45	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1090.80	28.26	45.00	1437.00	37.23	45.00
6	50	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1090.80	28.26	50.00	1437.00	37.23	50.00
7	43	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1090.80	28.26	43.00	1437.00	37.23	43.00
8	45	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1090.80	28.26	45.00	1437.00	37.23	45.00
9	59	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1090.80	28.26	59.00	1437.00	37.23	59.00
10	59	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1090.80	28.26	59.00	1437.00	37.23	59.00

SONDAJE P-03

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	13	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1522.09	39.44	26.00	1221.00	31.63	21.00
2	10	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1522.09	39.44	25.00	1149.00	29.77	19.00
3	49	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1522.09	39.44	49.00	1437.00	37.23	49.00
4	60	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1522.09	39.44	60.00	1437.00	37.23	60.00
5	49	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1522.09	39.44	49.00	1437.00	37.23	49.00
6	60	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1522.09	39.44	60.00	1437.00	37.23	60.00
7	56	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1522.09	39.44	56.00	1437.00	37.23	56.00
8	65	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1522.09	39.44	65.00	1437.00	37.23	65.00
9	54	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1522.09	39.44	54.00	1437.00	37.23	54.00
10	68	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1522.09	39.44	68.00	1437.00	37.23	68.00

SONDAJE P-04

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	8	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1287.49	33.36	22.00	1005.00	26.04	18.00
2	13	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1287.49	33.36	21.00	1221.00	31.63	20.00
3	17	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	20.00	1293.00	33.50	20.00
4	27	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	27.00	1437.00	37.23	27.00
5	58	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1287.49	33.36	58.00	1437.00	37.23	58.00
6	59	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1287.49	33.36	59.00	1437.00	37.23	59.00
7	63	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1287.49	33.36	63.00	1437.00	37.23	63.00
8	65	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1287.49	33.36	65.00	1437.00	37.23	65.00

SONDAJE P-05

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m2)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	12	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1287.49	33.36	22.00	1149.00	29.77	20.00
2	27	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1287.49	33.36	27.00	1437.00	37.23	27.00
3	35	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	35.00	1437.00	37.23	35.00
4	32	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	32.00	1437.00	37.23	32.00
5	45	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1287.49	33.36	45.00	1437.00	37.23	45.00
6	46	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1287.49	33.36	46.00	1437.00	37.23	46.00
7	40	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1287.49	33.36	40.00	1437.00	37.23	40.00
8	42	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1287.49	33.36	42.00	1437.00	37.23	42.00
9	52	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1287.49	33.36	52.00	1437.00	37.23	52.00
10	48	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1287.49	33.36	48.00	1437.00	37.23	48.00

SONDAJE P-06

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	17	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1287.49	33.36	22.00	1293.00	33.50	22.00
2	33	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1287.49	33.36	33.00	1437.00	37.23	33.00
3	29	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	29.00	1437.00	37.23	29.00
4	38	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1287.49	33.36	38.00	1437.00	37.23	38.00
5	36	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1287.49	33.36	36.00	1437.00	37.23	36.00
6	37	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1287.49	33.36	37.00	1437.00	37.23	37.00
7	40	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1287.49	33.36	40.00	1437.00	37.23	40.00
8	43	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1287.49	33.36	43.00	1437.00	37.23	43.00
9	59	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1287.49	33.36	59.00	1437.00	37.23	59.00
10	47	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1287.49	33.36	47.00	1437.00	37.23	47.00

SONDAJE P-07

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	7	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1090.80	28.26	19.00	1005.00	26.04	18.00
2	19	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1090.80	28.26	19.00	1293.00	33.50	21.00
3	30	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	30.00	1437.00	37.23	30.00
4	38	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	38.00	1437.00	37.23	38.00
5	44	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1090.80	28.26	44.00	1437.00	37.23	44.00
6	42	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1090.80	28.26	42.00	1437.00	37.23	42.00
7	46	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1090.80	28.26	46.00	1437.00	37.23	46.00
8	45	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1090.80	28.26	45.00	1437.00	37.23	45.00
9	45	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1090.80	28.26	45.00	1437.00	37.23	45.00
10	47	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1090.80	28.26	47.00	1437.00	37.23	47.00

SONDAJE P-08

Estrato	Nspt Inicial	Ancho B (m)	Df (m)	espesor (m)	Dw (nivel freatico)	FACT	Cwy	Cwq	VIBROCOMPACTACION PRIEBE 1995 (Q _{ult})			GEOPOER IMPACT SOIL REFORCEMENT MANUAL (Q _{ult})		
									Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado	Quit (kN/m ²)	(N1)60	N° SPT Mejorado
1	14	7.66	0.40	1.00	0.00	1.47	0.500	0.500	1090.80	28.26	19.00	1221.00	31.63	21.00
2	23	7.66	0.40	1.00	0.00	1.56	0.500	0.500	1090.80	28.26	23.00	1293.00	33.50	23.00
3	43	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	43.00	1437.00	37.23	43.00
4	49	7.66	0.40	1.00	0.00	1.66	0.500	0.500	1090.80	28.26	49.00	1437.00	37.23	49.00
5	52	7.66	0.40	1.00	0.00	1.83	0.500	0.500	1090.80	28.26	52.00	1437.00	37.23	52.00
6	47	7.66	0.40	1.00	0.00	1.67	0.500	0.500	1090.80	28.26	47.00	1437.00	37.23	47.00
7	52	7.66	0.40	1.00	0.00	1.55	0.500	0.500	1090.80	28.26	52.00	1437.00	37.23	52.00
8	62	7.66	0.40	1.00	0.00	1.45	0.500	0.500	1090.80	28.26	62.00	1437.00	37.23	62.00
9	64	7.66	0.40	1.00	0.00	1.44	0.500	0.500	1090.80	28.26	64.00	1437.00	37.23	64.00
10	58	7.66	0.40	1.00	0.00	1.37	0.500	0.500	1090.80	28.26	58.00	1437.00	37.23	58.00