

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD
PORTANTE DEL SUELO EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES DEL
PROYECTO NUEVO NOGALES - ETAPA 5 Y 6,
DISTRITO EL AGUSTINO, LIMA 2022”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Victor Hugo Aguirre Motta

Asesor:

Mg. Carlos Alberto Avellaneda Cruz
<https://orcid.org/0000-0003-2291-6901>

Lima - Perú

DEDICATORIA

A mi familia, a mi esposa y a mi hijo quienes me motivaron constantemente para alcanzar
mis anhelos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Privada del Norte por ser parte de mi formación académica y a la empresa BESCO S.A.C. por darme la oportunidad en desarrollar mi investigación, de igual manera a mi asesor en el camino del aprendizaje.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	12
RESUMEN EJECUTIVO.....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Reseña de la empresa.....	14
1.1.1. Propósito.....	14
1.1.2. Misión.....	14
1.1.3. Visión.....	14
1.1.4. Valores corporativos.....	14
1.1.5. Organigrama.....	15
1.1.6. Obras más importantes en los últimos años.....	16
1.1.7. Competencia directa.....	18
1.2. Realidad problemática.....	18
1.3. Formulación del problema.....	20
1.3.1. Problema general.....	20
1.3.2. Problemas específicos.....	20
1.4. Justificación.....	20
1.4.1 Teórica.....	21
1.4.2. Práctica.....	21
1.4.3. Académica.....	21

1.5. Objetivos de la investigación	22
1.5.1. Objetivo general.....	22
1.5.2. Objetivos específicos	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales	24
2.2. Conceptos teóricos	25
2.2.1. Concepto teórico 1: Estudios geológicos.....	25
2.2.2. Concepto teórico 2: Cimentación	27
2.2.3. Concepto teórico 3: Método de compactación.....	30
2.2.4. Concepto teórico 4: Método de pilotes	33
2.2.5. Concepto teórico 5: Capacidad portante del suelo.....	39
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	44
3.1. Descripción de la mejora capacidad portante a través del método de pilote.....	45
3.1.1. Descripción de la zona.....	45
3.1.2. Alternativa de cimentación	47
3.1.3. Modelamiento numérico	52
3.1.4. Proceso constructivo	61
3.2. Descripción de la mejora capacidad portante a través del método de compactación	65
3.2.1. Descripción de la zona.....	65
3.2.2. Alternativa de cimentación	68
3.2.3. Modelamiento numérico	71
3.2.4. Proceso constructivo	75

CAPÍTULO IV. RESULTADOS	79
4.1. Mejora de la capacidad portante empleando el método de pilotes.....	79
4.2. Mejora de la capacidad portante empleando el método de compactación	82
4.3. Comparación de métodos para la mejora de la capacidad portante	85
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones.....	90
REFERENCIAS	92
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de cambios de volumen de suelo.....	32
Tabla 2 Coeficiente de expansión del suelo	33
Tabla 3 Fuerza de hincado para los pilotes.....	39
Tabla 4 Perfil estratigráfico de la zona estudiada.....	46
Tabla 5 Fondo de cimentación, longitud del pilote y empotramiento edificio 7.....	48
Tabla 6 Resumen de capacidad de carga admisible a compresión axial de pilotes excavados individuales edificio 7	48
Tabla 7 Resumen de capacidad de carga admisible a tracción de pilotes excavados individuales edificio 7	49
Tabla 8 Resultados del cálculo de asentamiento edificio 7.....	49
Tabla 9 Fondo de cimentación, longitud del pilote y empotramiento edificio 8.....	50
Tabla 10 Resumen de capacidad de carga admisible a compresión axial de pilotes excavados individuales edificio 8.	51
Tabla 11 Resumen de capacidad de carga admisible a tracción de pilotes excavados individuales edificio 8	52
Tabla 12 Resultados del cálculo de asentamiento edificio 8.....	52
Tabla 13 Perfil estratigráfico de la zona estudiada.....	67
Tabla 14 Capacidad de carga admisible y geometría de la cimentación con $DF= 0.40m$..	69
Tabla 15 Parámetros de resistencia y deformación de los suelos.....	70
Tabla 16 Cálculo de los asentamientos	75
Tabla 17 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de pilotes.....	79

Tabla 18 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de compactación	83
Tabla 19 Análisis de capacidad portante del suelo después de la mejora método de pilotes y método de compactación	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa.....	15
Figura 2 Organigrama proyecto constructivo Nuevo Nogales.	16
Figura 3 Proyectos habitacionales entregados.....	17
Figura 4 Proyectos habitacionales en desarrollo	18
Figura 5 Mapa de suelo de los distritos de Lima.....	27
Figura 6 Tipo de cimentación superficial.....	29
Figura 7 Tipo de cimentación profunda	30
Figura 8 Pilote por fuste	35
Figura 9 Pilote por punta	36
Figura 10 Factores de carga.....	41
Figura 11 Factores de capacidad de carga según Terzaghi	42
Figura 12 Distribución de presiones suelo compactado	43
Figura 13 Esquema del relleno frente al edificio 8.....	53
Figura 14 Sección G-C del plano Planta principal suelos 7 y 8 V	54
Figura 15 Plano Especific. Generales.....	55
Figura 16 Espaciamiento mínimo entre pilotes	55
Figura 17 Modelo numérico – Losa cimentación Edificio 08 y bloque de estacionamientos	56
Figura 18 Empujes soportados por el muro inmediatamente después de ser construido (sin ninguna edificación.....	57
Figura 19 Variación de empujes – Muro de estacionamientos.....	58
Figura 20 Deformaciones horizontales – pilote.....	59
Figura 21 Deformaciones horizontales - Muro estacionamiento.....	60

Figura 22 Esquema del proceso constructivo de pilotes excavados.....	61
Figura 23 Equipo de perforación para construcción de pilotes excavados.....	62
Figura 24 Posición del winche para izaje de armadura	63
Figura 25 Recomendaciones sobre las características del hormigón a colocar en pantallas y pilotes	64
Figura 26 Parámetros elásticos y de resistencia para el modelo numérico	70
Figura 27 Asentamiento máximo tolerable según European Committee for Standardization (1994.....	71
Figura 28 Modelamiento de la sección C-C´	72
Figura 29 Malla deformada sección C-C´	72
Figura 30 Deformaciones verticales sección C-C´	73
Figura 31 Deformaciones verticales a nivel de Losa de Cimentación – Loza Izquierda sección C-C´	73
Figura 32 Deformaciones verticales a nivel de Losa de Cimentación – Loza Derecha sección C-C´	74
Figura 33 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de pilotes.....	80
Figura 34 Gráfico comparativo M.D.S antes y después de la mejora con el método de pilotes	80
Figura 35 Gráfico comparativo OCH antes y después de la mejora con el método de pilotes	81
Figura 36 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. antes y después de la mejora con el método de pilotes	82
Figura 37 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de compactación	83

Figura 38 Gráfico comparativo M.D.S antes y después de la mejora con el método de compactación.....	84
Figura 39 Gráfico comparativo OCH antes y después de la mejora con el método de pilotes	84
Figura 40 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. antes y después de la mejora con el método de compactación.....	85
Figura 41 Gráfico comparativo M.D.S después de la mejora método de pilotes y método de compactación.....	86
Figura 42 Gráfico comparativo OCH después de la mejora método de pilotes y método de compactación.....	87
Figura 43 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. después de la mejora método de pilotes y método de compactación.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 grado de compactación	33
Ecuación 2 Capacidad portante de pilote	37
Ecuación 3 Capacidad portante de la punta del pilote.....	38
Ecuación 4 Capacidad portante del suelo	41

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional tuvo como objetivo determinar la mejora de la capacidad portante de un suelo con baja resistencia a partir del empleo de los métodos de pilotes y compactación, distrito el Agustino, Lima 2022. Las conclusiones permitieron evidenciar que al comparar el resultado de la mejora de la máxima densidad seca del suelo al aplicar ambos métodos, no hay una diferencia significativa entre estos en relación a este parámetro ya que con el empleo del método de pilotes se reportó un valor de 2.307 g/cm^2 y con el método de compactación 2.285 g/cm^2 , así mismo, al comparar el resultado de la mejora del óptimo contenido de humedad al aplicar ambos métodos, se evidenció que no hay una diferencia significativa entre estos en relación a este parámetro ya que con el empleo del método de pilotes se reportó un valor de 5.60% y con el método de compactación 5.70% , en lo que respecta a la capacidad portante del suelo se evidenció que existe una diferencia casi significativa entre ambos métodos, ya que el parámetro de mejora establecido por el investigador entre un método y otro es que sea igual o superior al 5% , en este sentido, el método de pilotes reportó una mejora del 22.58% del CBR al 95% de MDS respecto al método de compactación, sin embargo, la diferencia del CBR al 100% de la MDS reportó una mejora del 4.71% del método de pilotes respecto al método de compactación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Reseña de la empresa

La empresa Besco S.A.C. fue constituida en Perú el 7 de setiembre de 1998, siendo una subsidiaria de la empresa Besalco S.A. ubicada en la ciudad de Santiago de Chile, la cual posee el 92% de las acciones que constituyen el capital social. Su actividad principal, es la construcción y venta de departamentos en forma directa e indirecta por medio de consorcios y asociaciones en participación. Se encuentra registrada en la SUNAT desde el año 1998 con el RUC 20416162299, siendo su dirección fiscal Av. Paseo de la Republica Nro. 3245 Int. 1101 Urb. San Isidro (edificio El Senador) Lima

1.1.1. Propósito

Construir el sueño de la casa propia para mejorar la calidad de vida de más peruanos

1.1.2. Misión

Desarrollar una organización empresarial emprendedora, confiable y exitosa; dedicada a construir bienestar para todos nuestros clientes.

1.1.3. Visión

Construir la empresa peruana más innovadora del sector.

1.1.4. Valores corporativos

- **Garantía:** La confianza es construida con esfuerzo y obras bien ejecutadas. Por eso, cada vivienda que edifica Besco lleva el respaldo de la experiencia de la compañía; Besco ofrece el más alto nivel de calidad.
- **Seguridad:** Para Besco seguridad es un tema fundamental. Al asumir un proyecto, la compañía y sus trabajadores asumen un compromiso mutuo con la seguridad.
- **Eficiencia:** La compañía se anticipa a las necesidades de los proyectos emprendidos. La capacitación constante, el manejo responsable de los recursos

y la eficaz interacción entre las diferentes áreas de Besco permiten asumir nuevos retos, y brindarle la mejor y más rápida solución a cualquier requerimiento que pueda plantearse.

- **Comunicación:** Besco comparte una misma filosofía de trabajo, motivada por los grandes resultados a los que siempre aspira. La compañía cree en el trabajo en equipo como el mejor camino para alcanzar las metas planteadas.

1.1.5. Organigrama

La empresa está encabezada por la gerencia general, a la que le reportan la gerencia de operaciones y la gerencia de administración y finanzas. La gerencia de operaciones es la que posee el mayor tramo de control, dada la importancia de su gestión en el desarrollo de la misión de la empresa.

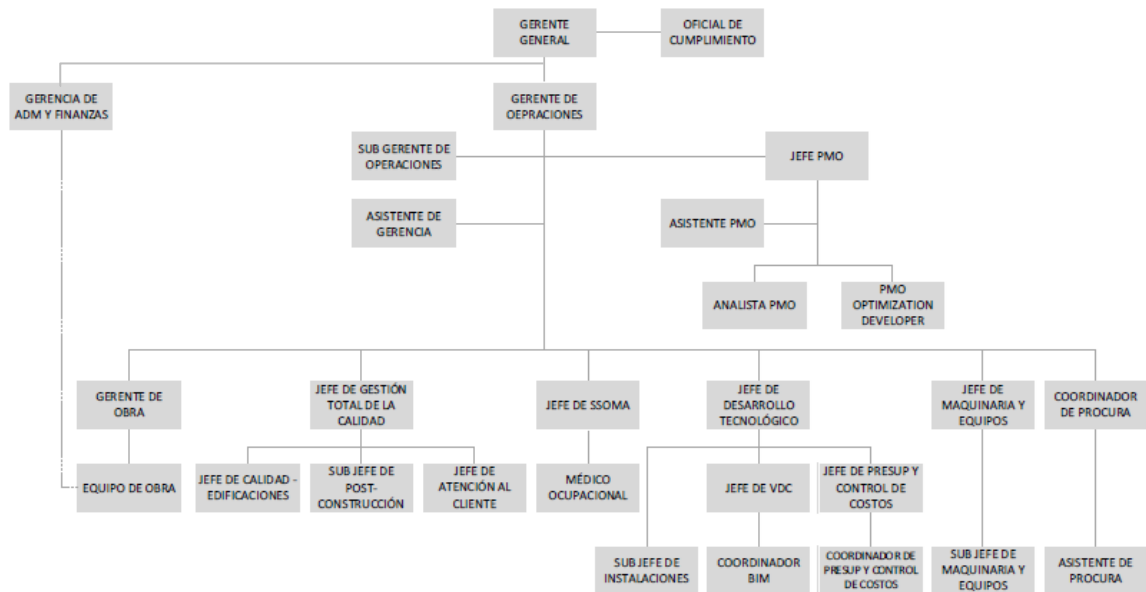


Figura 1 Organigrama de la empresa

Fuente: Besco

El organigrama del proyecto constructivo Nuevo Nogales, está constituido por una gerencia de obra, a la que le reportan tres jefaturas (Técnica, Administración y Trabajo Social) y cuatro subjefaturas (dos de producción, Calidad y SSOMA).

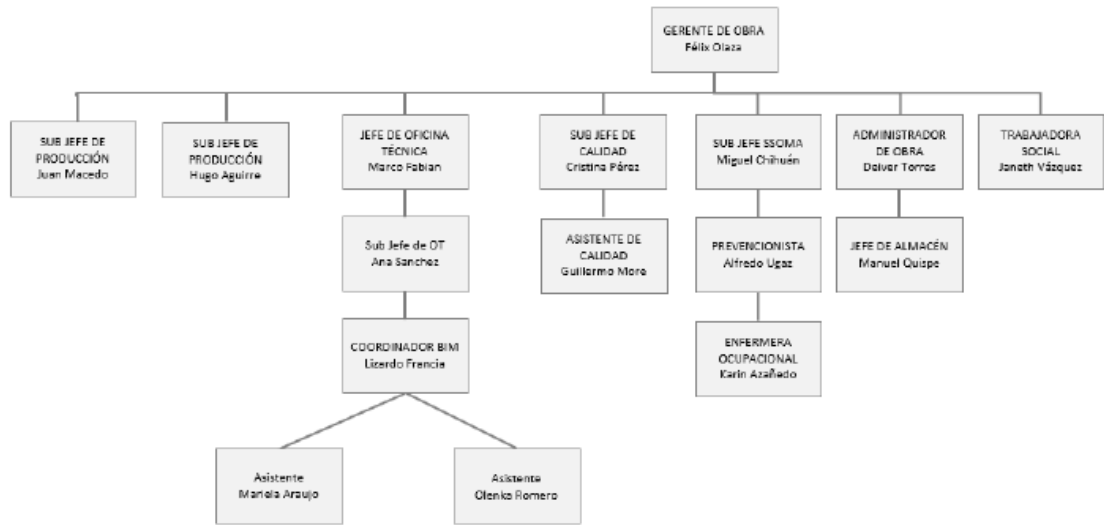


Figura 2 Organigrama proyecto constructivo Nuevo Nogales.

Fuente: Besco

1.1.6. Obras más importantes en los últimos años

Durante los últimos años, la empresa ha entregado 13 proyectos habitacionales (multifamiliares) tal y como se aprecia en la figura 3.

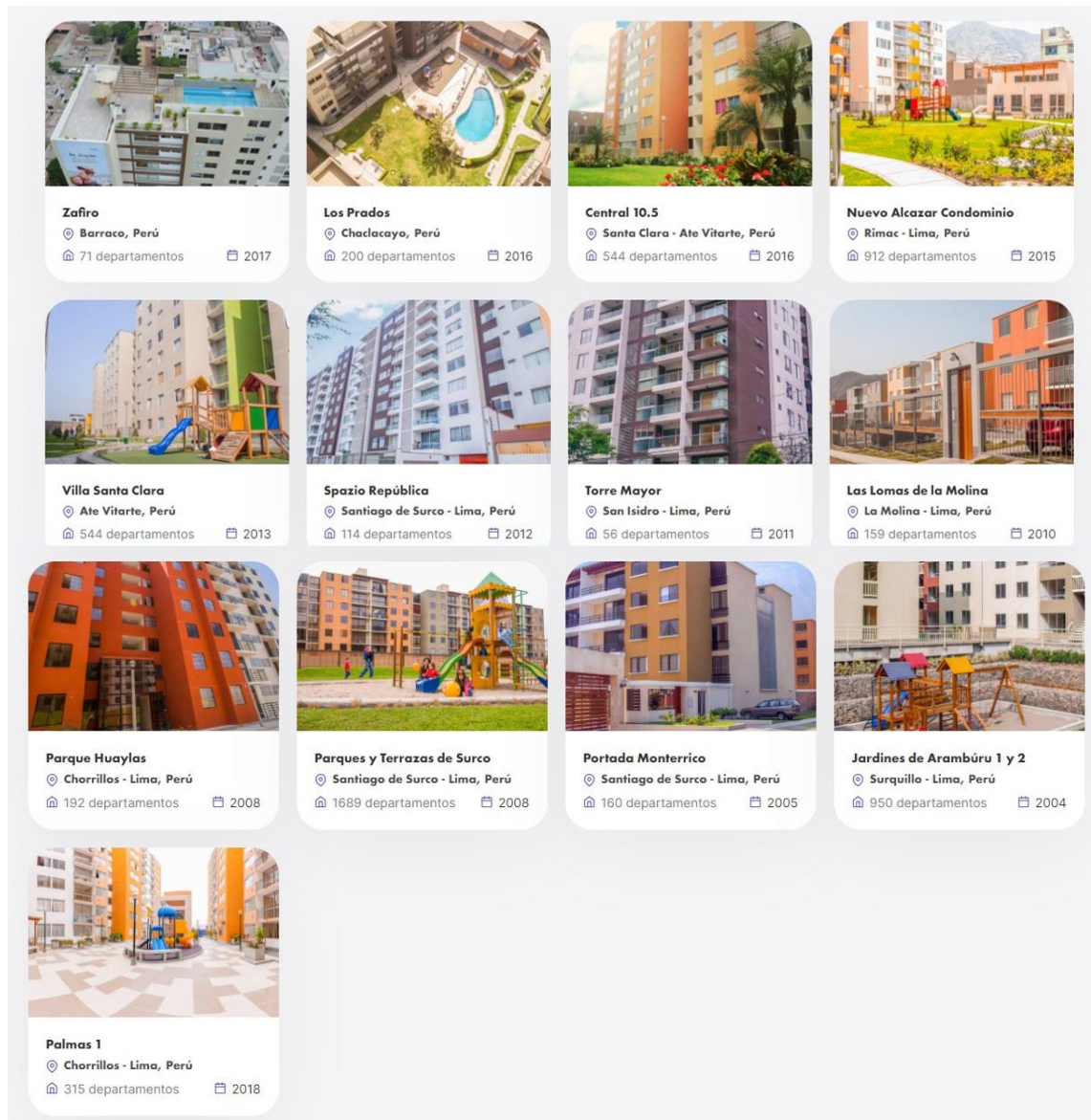


Figura 3 Proyectos habitacionales entregados

Fuente: Besco

Así mismo, en la actualidad tiene en desarrollo 7 proyectos habitacionales multifamiliar, tal y como se aprecia en la figura 4.

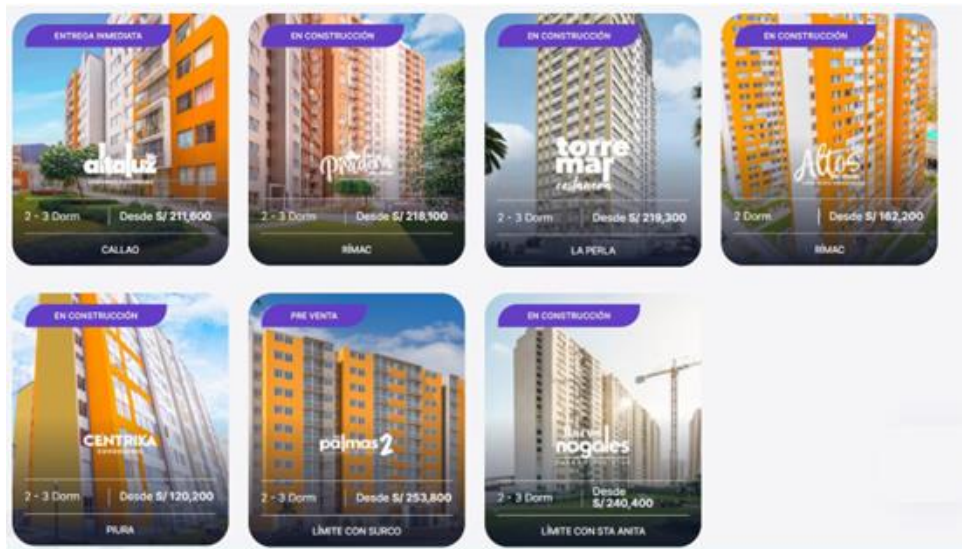


Figura 4 Proyectos habitacionales en desarrollo

Fuente: Besco

1.1.7. Competencia directa

La competencia directa de la empresa, son empresas dedicadas al mismo rubro de Besco (construcción y venta de departamentos), entre la que destacan Grupo inmobiliario VIVA GYM, Venturosa, Cissac y Grupo Caster.

1.2. Realidad problemática

Las obras de ingeniería civil en su mayoría, inician en el suelo ya que es uno de los elementos fundamentales de la estructura de una edificación, pues en este comenzará el proceso constructivo y descansará la obra concluida. En la mayoría de los casos, el suelo en su estado natural no posee las condiciones ideales para el inicio de un proceso constructivo, por lo que se requiere de la intervención del hombre para modificar sus características físicas y mecánicas, con el fin de garantizar que tenga la capacidad portante ideal para dar soporte a unas estructuras (Castillo, 2017).

Uno de los parámetros más importantes en el desarrollo de toda obra civil es la capacidad portante del suelo, debido a que indica la resistencia que tiene ante las cargas

estáticas que recibirá; en consecuencia, si no es la adecuada, se corre el riesgo de pérdidas financieras y humanas (Arangundi et al., 2020)

A nivel internacional, se observa un avance en materia de obra civil, particularmente en el caso de mejoramiento de suelo, tal es el caso de Colombia donde ya existen normas de especificaciones generales de construcción donde se establecen los parámetros que deben cumplir los suelos previo al proceso de compactación (León, 2018)

En Perú, es común conocer de construcciones realizadas en suelos que colapsan con el peso de la carga, lo que orienta las causas a la deficiente o nula preparación del mismo para mejorar su resistencia a la carga; generado como consecuencia la colocación de cimientos especiales para estabilizar el terreno, traduciéndose en altos costos de mantenimiento de las edificaciones (Cotrina, 2021)

En la actualidad, a nivel global, el concreto es el material más empleado para mejorar la resistencia de la baja capacidad portante en proyectos de construcción capacidad de carga del suelo, debido a la relación costo-beneficio con respecto a materiales como el asfalto y la cal (González et al., 2018)

Dado los distintos materiales y tratamientos empleados para mejorar la resistencia del suelo y el sentido de responsabilidad que tiene la empresa objeto de estudio con sus clientes y la sociedad peruana, se ha solicitado realizar un análisis comparativo entre dos técnicas de mejora de la capacidad portante, específicamente compactación y pilotes. Por tal motivo, en este trabajo de suficiencia profesional se realizará un análisis entre ambos métodos de mejoramiento de suelo considerando el mejor resultado obtenido respecto a la capacidad portante obtenida.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida los métodos de pilotes y compactación mejoran la capacidad portante de un suelo con baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida el método de pilotes mejora la capacidad portante de un suelo con baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022?
- ¿En qué medida el método de compactación mejora la capacidad portante de un suelo con baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022?
- ¿Cuál de los dos métodos da una mejor capacidad portante de un suelo con baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022?

1.4. Justificación

En la actualidad la construcción de obras civiles es un proceso regularizado por normas de calidad que brindan seguridad económica y física a los clientes, por lo que la calidad con la que se realizan es determinante para la sostenibilidad de las empresas en el mercado. es así como la calidad es una característica presente desde el momento de la concepción de proyecto, pasando por las condiciones de preparación del terreno hasta la entrega al cliente final. Por tal razón es este trabajo se realizó un análisis comparativo entre dos métodos de mejoramiento de la capacidad portante, específicamente compactación y pilotes en un suelo de baja resistencia; lo que le permitirá a la empresa mantener la credibilidad en el mercado de la construcción, captar nuevos clientes e incrementar su rentabilidad, impactando positivamente en la mano de obra nacional.

1.4.1 Teórica

La presente investigación realiza un análisis comparativo del mejoramiento de la capacidad portante del suelo empleando compactación y pilotes en un suelo de baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022. Así mismo, se soporta en la Norma Técnica E-050 (Suelos y cimentaciones), siendo el objetivo de esta norma es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos. Los ensayos de laboratorio de las muestras de suelos representativos han sido realizados según los procedimientos de la A.S.T.M. y N.T.P., siendo estos los siguientes:

1.4.2. Práctica

A través de esta investigación se podrá conocer cuál es la mejor método para mejorar la capacidad cortante de suelos realizando un análisis entre las técnicas de compactación y pilotes .Se busca conocer las ventajas de implementación del método de mejora de la capacidad portante por medio de pilotes y a su vez por medio de compactación, analizando los estudios previos y posteriores a la utilización de cada método, determinando el valor admisible ideal para la construcción de la edificación a construir.

1.4.3. Académica

Esta investigación tiene como objetivo conocer como a través del empleo de dos métodos mayormente usados para la mejora de la capacidad portante de suelos de baja resistencia brinda resultados más eficientes, convirtiéndose en un referente para obras e ingeniería civil con similares características y a su vez para otros estudios relacionados a la temática en estudio. De esta manera se aborda la temática asociada a

los procesos de cimentación necesarios para la construcción de edificaciones que permitan mantener su estabilidad y seguridad en el tiempo

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Determinar la mejora de la capacidad portante de un suelo con baja resistencia a partir del empleo de los métodos compactación y pilotes, distrito el Agustino, Lima 2022.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la mejora de la capacidad portante de un suelo con baja resistencia a partir del empleo del método de pilotes, distrito el Agustino, Lima 2022.
- Determinar la mejora de la capacidad portante de un suelo con baja resistencia a partir del empleo del método de compactación, distrito el Agustino, Lima 2022.
- Determinar cuál de los dos métodos da una mejor capacidad portante de un suelo con baja resistencia, distrito el Agustino, Lima 2022

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Marin y Becerra (2021), en su investigación titulada “Variación de la capacidad de carga de una cimentación superficial en suelo granular estabilizado: una aproximación empírica, semionírica y racional”; realizaron una evaluación de la mejora de la capacidad portante del suelo empleando metodologías empíricas, semiempíricas y racionales en un suelo granular natural homogéneo. Los resultados obtenidos del ensayo de laboratorio arrojaron suelo arenoso de tipo SP según USCS y A-1-b, en concordancia con la norma AASTHO. En su investigación concluyeron que la pasta resultante de la mezcla entre suelos granulares con cemento y cal, es un excelente método de estabilización de suelos que aumentan la capacidad portante y disminuye los asentamientos de las cimentaciones sobre suelos débiles, siempre y cuando se compacte de manera correcta. Así mismo, concluyen que existen otros métodos que incrementan la capacidad portante del suelo, como el caso de las cenizas volcánica, cal, cenizas de carbón y cal de carburo.

Aragundi et al. (2020) en su investigación científica titulada “Estudio para determinar la capacidad portante del suelo como parámetro geotécnico, aplicando el ensayo de cono dinámico de penetración (DCP), en los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas”; mediante el método de penetración DCP prueba de cono dinámico, estudiaron la capacidad portante del suelo de las áreas adyacentes de la Universidad Técnica de Manabí en Ecuador. Para ello, se realizaron 5 sondes de ensayo in situ de DCP, a fin de obtener un valor de CBR empleando la formula experimental propuesta por la ASTM D6951M-09; lo que permitió corroborar su validez y utilización en suelos limo- arcillosos. Los resultados del laboratorio

arrojaron suelos con texturas limosa de bajo a alta plasticidad y un CBR pobre de calidad pobre para la subrasante.

Bautista y Mayorga (2018), en su investigación titulada “Análisis del mejoramiento de suelos empelando el método de columnas de grava”, logró comprobar mediante ensayos de laboratorios que el método de mejoramiento de suelos utilizando gravas y/o vibro sustitución, mejora satisfactoriamente la resistencia frente a los esfuerzos axiales y disminuye la deformidad, permitiendo obtener una capacidad portante aceptable. La investigación arrojó como resultado que el suelo estudiado de tipo arcilloso, mostró un mejoramiento del 25% en la capacidad portante del suelo, en comparación con suelos sin mejorar.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cerna (2020), en su investigación titulada “Potencial de expansión y capacidad portante del suelo de la carretera del Colcap en la subrasante al adicionar ceniza de cascara de arroz, Colcap, Cáceres del Perú, Ancash-2020”, mediante ensayos realizados con protocolos e laboratorio analizó el suelo arcilloso de la carretera Colcap, concluyendo con resultados confiables de 95% que los porcentajes agregados de ceniza de cascara de arroz (4%, 7% y 10%) mejoraron la capacidad portante del suelo en una carretera, en comparación con su estado natural.

Espinoza y Torres (2019), en su investigación titulada “Evaluación técnica y económica para el mejoramiento de suelos finos con fines de cimentación, por medio de compactación dinámica e inclusiones rígidas”, concluyen que la compactación dinámica representa una técnica muy eficiente para mejorar los suelos del tipo limo arenoso desde el punto de vista técnico y económico. Para ello realizaron análisis de laboratorio de dos técnicas de mejoramiento de suelos, siendo estas el método de inclusiones rígidas y método de compactación dinámica. Los resultados arrojaron que

esta técnica mejora propiedades geotécnicas de este tipo de suelos, particularmente la capacidad portante y el asentamiento.

Arias & Villa (2019), en su investigación titulada “Evaluación de suelos con presencia de nivel freático para cimentaciones superficiales de viviendas unifamiliares en el Centro Poblado de Leticia de la ciudad de Pisco en el 2019”, empleó el método Meyerhof para calcular la capacidad portante de suelos con presencia de nivel freático en cimentaciones de viviendas, tomando para ello muestra de tres calicatas ubicadas a un nivel freático promedio de 1.64m. Como resultado, concluyó que la capacidad portante del suelo varía en función de la profundidad y al ancho de la base de la cimentación.

2.2. Conceptos teóricos

2.2.1. Concepto teórico 1: Estudios geológicos

De acuerdo con Obando (2009), la ingeniería geológica es una ciencia que estudia la relación entre el hombre y el ámbito geológico, con el propósito de dar solución a las problemáticas que surgen como consecuencia de dicha interrelación; interpretando de manera correcta la intervención de los factores geológicos y minimizando sus consecuencias sobre las obras de construcción.

Para los autores Aduato y Ling Cheong (2018), para iniciar todo estudio geológico incluida su exploración, requiere necesariamente recopilar información sobre la zona de estudio y analizarla, investigando tanto en la zona del futuro proyecto como en el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cuyo organismo es el encargado de generar y suministrar la información concerniente a los derechos mineros y geológicos en el estado peruano. El INGEMMET es el responsable de evaluar y hacer seguimiento de los riesgos geológicos en el Perú para medir el impacto en el

medio ambiente y ejecutar las medidas de mitigación y prevención necesarias (INGEMMET, 2021).

En el INGEMMET se puede acceder a la información necesaria para identificar la zona de estudio y en tal sentido determinar la viabilidad del proyecto (Aauto y Ling Cheong, 2018); siendo dicha información: mapas geológicos y morfológicos, planos topográficos, historia geológica y fotografía aérea. Con esta información se podrá conocer a litología, fallas o pliegues y periodo geológico al que pertenecen los materiales; y una vez recopilada y analizada se procederá a continuar con los estudios de campo (Aauto y Ling Cheong, 2018).

En todo estudio geológico de la zona de intervención, se debe contar con el mapa de suelo y de litología superficial, el cual señala las características y condiciones de los materiales presentes en el suelo en estudio y cuyos parámetros se obtuvieron a través de ensayos realizados in situ y ensayos de laboratorio a partir de normas y estándares internacionales, siendo catalogados dichos materiales conforme a la clasificación geotécnica de rocas y también a partir de la clasificación geotécnica de los suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (International Society for Rocks Mechanics [ISRM], 1978; , cada categoría contiene los atributos inherentes a las características geomecánicas de los materiales y grado de propensión a la inestabilidad (Juárez y Rico, 2005).

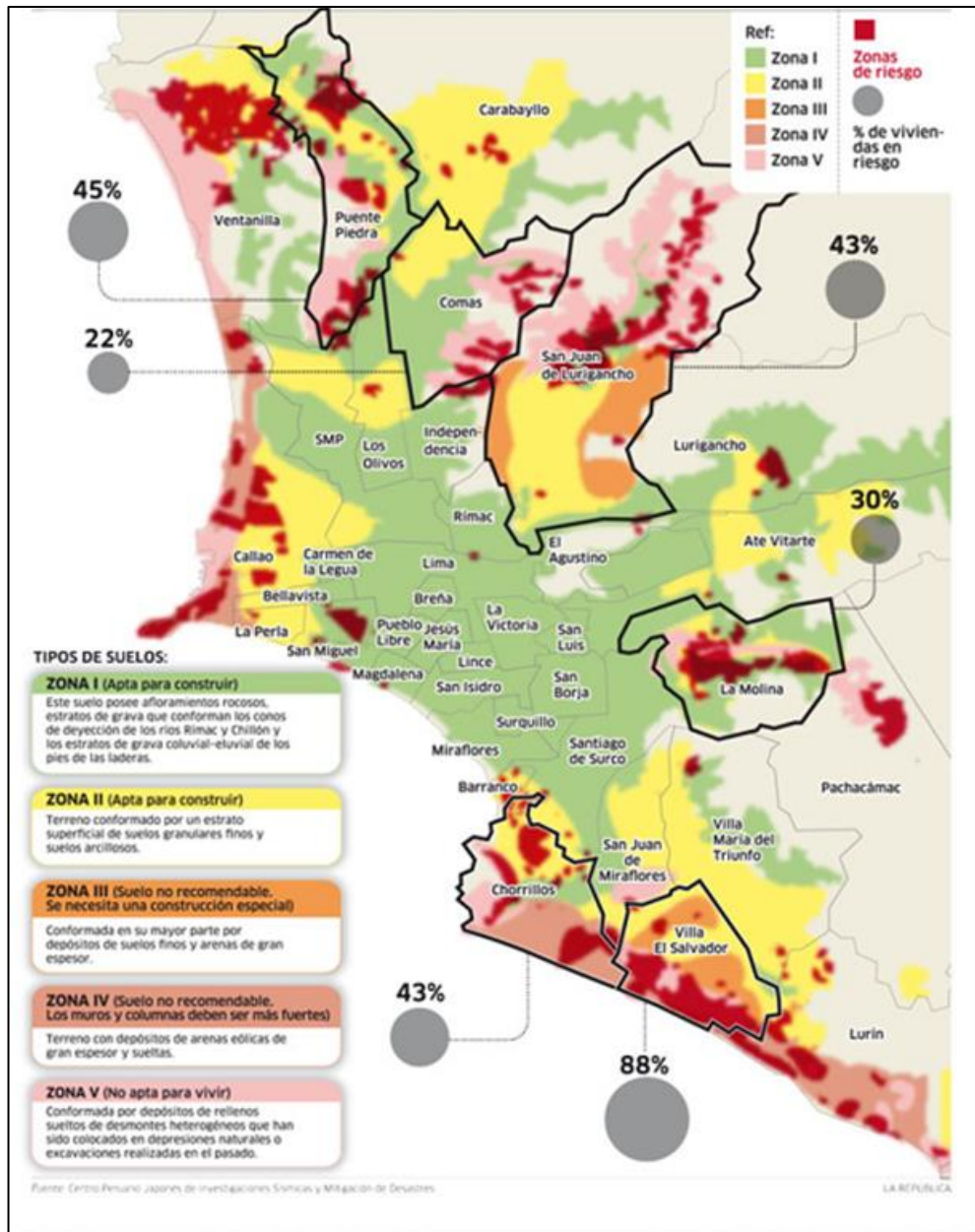


Figura 5 Mapa de suelo de los distritos de Lima

Fuente: Centro Peruano de Japones de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2012).

2.2.2. Concepto teórico 2: Cimentación

Braja (2001) define la cimentación al conjunto de los elementos de una estructura responsables de transmitir las cargas de las edificaciones apoyadas en el suelo, distribuyéndolas de tal forma que dicha estructura no supere la presión admisible del suelo ni genere cargas zonales.

De acuerdo con Garza (2003), la superestructura y el suelo son elementos indispensables a considerar en la cimentación dada la conexión entre ellos; siendo en consecuencia su función la de transmitir al suelo la carga de un elemento o edificio que sostiene, en otras palabras, distribuir las para no superar la presión permitida o crear una carga superficial.

La cimentación es determinante dado que pertenece al grupo de elementos que soportan la superestructura; por lo cual se debe prestar especial atención a ella, debido a que la estabilidad de la construcción es dependiente del tipo de terreno (Braja, 2001). Para Juárez y Rico (2005), el tipo de cimentación debe seleccionarse en función de las características mecánicas del terreno, como la cohesión, posición del nivel freático, ángulo de rozamiento interno y magnitud de las cargas existentes. Este autor sostiene que, a partir de dichos datos se calcula la capacidad cortante, que junto a la homogeneidad del terreno recomiendan utilizar un tipo de cimentación.

De acuerdo con Juárez y Rico (2005), los tipos de cimentaciones se clasifican en:

- **Cimentaciones superficiales o directas:** se denominan cimentaciones directas a aquéllas que se soportan en las capas superficiales del suelo, por tratarse de construcciones relativamente livianas y de tipo secundarias. En este tipo de cimentaciones las cargas se distribuyen en un plano horizontal para estructuras como puentes, cimentaciones, incluyendo superficiales. Las cimentaciones superficiales se dividen en: cimentaciones ciclópeas, zapatas, zapatas aisladas, zapatas corridas, zapatas combinadas, y losas de cimentación.
- **Cimentaciones semiprofundas:** este tipo de cimentaciones se soportan entre las superficies intermedias del suelo, se dividen en: pozos de cimentación o

caissons, arcos de ladrillo sobre machones de hormigón o mampostería, muros de contención bajo rasante, micropilotes,

- **Cimentaciones profundas:** este tipo de cimentaciones soportan el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación, razón por la que deben ser más profundas a fin de distribuirlos sobre una gran área para garantizar la seguridad de la estructura. Dentro de los métodos utilizados de cimentaciones profundas se encuentran: pilotes, pantallas, pantallas isostáticas, pantallas hiperestáticas.
- **Cimentaciones de máquinas:** este tipo de cimentaciones está sometida a cargas estáticas o cíclicas, razón por la cual se debe considerar el estado límite de servicio de vibraciones y el estado límite último de fatiga; algunas de las cimentaciones de máquina son tipo bloque, tipo celdas, de muros, porticadas, con pilotes, sobre apoyos elásticos, y de soporte.

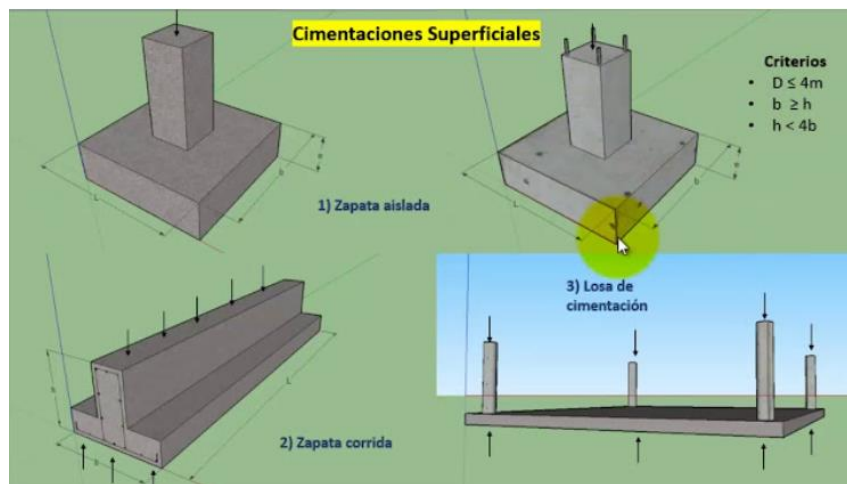


Figura 6 Tipo de cimentación superficial

Fuente: SonProject Ingenieria Civi (2019)

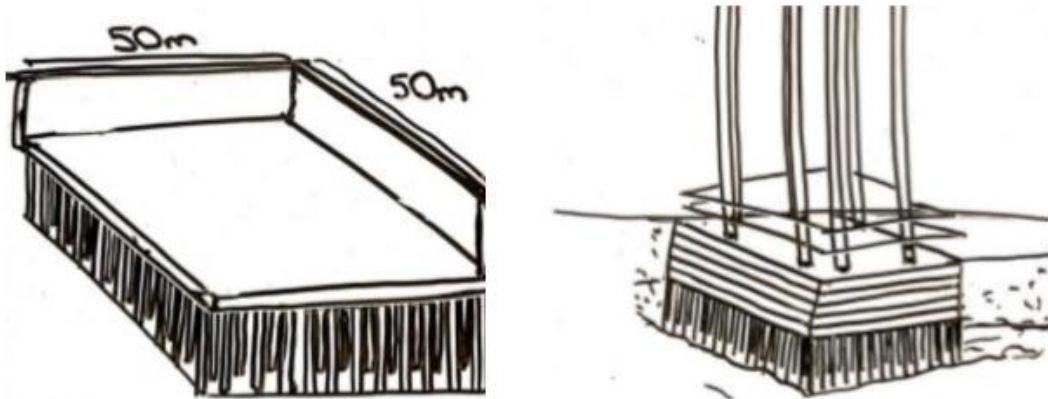


Figura 7 Tipo de cimentación profunda

Fuente: Jiménez (2018)

2.2.3. Concepto teórico 3: Método de compactación

La compactación de un suelo es un proceso mecánico que se emplea para lograr mejoras de forma artificial en las características compresibilidad, resistencia y del comportamiento al esfuerzo y deformación del mismo. Lo que se busca es conseguir una reducción de los vacíos lo que trae como consecuencia que se den cambios volumétricos importantes asociados a la pérdida de aire, ya que en por lo común no hay expulsión de agua. A través del esfuerzo de compactación, el suelo recibe un incremento de su resistencia al corte, de su densidad y una disminución a la contracción, la permeabilidad y la compresibilidad (Rosetti y Begliardo, 2005).

Para Construmatica (2021), este método busca aplicar una fuerza al suelo lo que provoca la densificación del mismo a medida que el aire se desplaza a través de los poros del suelo. En los casos en los que no existe aire sino agua, se trata entonces de una consolidación del suelo. Se realiza por medio de causas artificiales o por medio del empleo de máquinas que se han fabricado especialmente para ello, sin embargo, en ocasiones ocurre de forma natural como por ejemplo por el paso de ganado.

Dentro de los procesos constructivos, se requiere de su empleo para la cimentación de edificaciones o para la realización de caminos, ya que el suelo donde se realice la obra

civil deberá contar con una adecuada resistencia, ser incompresible relativamente, que posea estabilidad ante el cambio de volumen, ser seguro y duradero respecto al deterioro, y poseer una adecuada permeabilidad. Para que se dé una idónea compactación, deben tenerse las especificaciones relativas a densidad del suelo y el grado de compactación que se requiere. Así mismo, se debe tomar en consideración el las características del suelo a compactar, pues tienen una influencia significativa en lo que respecta al peso máximo de unidad seca, al contenido óptimo de humedad y como se compactaran los materiales (Construmatica, 2021).

Los métodos de compactación mayormente empleados son:

- **Estático:** A través del empleo de una gran fuerza de forma lenta al suelo para luego ser liberada.
- **Impacto:** A través de la caída de una gran masa en la superficie del suelo.
- **Vibración:** A través de una fuerza rápida y repetitiva con el empleo de un martillo que se acciona de manera mecánica.
- **Giros:** A través del empleo de una fuerza estática, manteniéndose en una dirección mientras que el suelo se encuentra sujeto a movimientos giratorios.
- **Balanceo:** A través de un cilindro pesado que rota sobre el suelo.
- **Amasamiento:** A través de la aplicación de movimientos en posiciones adyacentes al corte (Rosetti y Begliardo, 2005).

En una obra, la eficacia de la compactación está supeditada a distintos factores, entre los que se destaca:

- La naturaleza propia del suelo a compactar.
- Elegir de manera adecuada el equipo a utilizar (peso, tipo, presión del inflado del neumático, frecuencia de vibración, área de contacto, entre otros).

- La energía de compactación a utilizar.
- El contenido de humedad que posee el suelo.
- Espesor y cantidad de capas.
- Número de veces que deberá pasar el equipo de compactación.

En este sentido, según el tipo de suelo permitirá determinar el método de compactación a utilizar:

- Suelos friccionales: Se compactan de manera eficiente empleando métodos vibratorios (placas vibratorias).
- Suelos arcillosos: Se compactan de manera eficiente empleando métodos estáticos (rodillos neumáticos, rodillos pata de cabra o rodillos lisos) (Rosetti y Begliardo, 2005).

Tabla 1

Coficiente de cambios de volumen de suelo

Tipoi de suelo	Estado del material	Transformado a		
		Natural	Esponjado	Compacto
Arena	Natural	1	1.11	0.95
	Esponjado	0.9	1	0.86
	Compacto	1.05	1.17	1
Tierra común / Materiales húmedos	Natural	1	1.25	0.9
	Esponjado	0.8	1	0.72
	Compacto	1.11	1.39	1
Arcilla y Rocoso	Natural	1	1.43	0.9
	Esponjado	0.7	1	0.63
	Compacto	1.11	1.59	1
Roca	Natural	1	1.5	1.3
	Esponjado	0.67	1	0.87
	Compacto	0.77	1.15	1

Fuente: Benavidez (2018).

Tabla 2

Coefficiente de expansión del suelo

Naturaleza del terreno	Coefficiente de expansión inicial	Coefficiente de expansión residual
Tierra Vegetal	1.1	0.01 a 0.05
Arena	1.15 a 1.20	0.01 a 0.03
Arcilla	1.20 a 1.25	0.03 a 0.05
Margas	1.25 a 1.30	0.05 a 0.08
Tierra Gredosa	1.2	0.1
Arcilla compactas	1.5	0.3
Tierra dura	1.55	0.3
Roca partida	1.60 a 1.65	0.4
Tierra margosa muy compacta y dura	1.7	0.4

Fuente: Benavidez (2018).

Según Rosetti y Begliardo (2005), en todo proceso de compactación de un suelo se deberá medir el grado de compactación del suelo compactado, que no es más que relación porcentual que existe entre la densidad seca que se alcanzó en obra y la densidad máxima seca que se obtuvo en el laboratorio para ese mismo suelo (Ensayo Proctor Estándar o Modificado). De esta manera se logra tener el control en obra de la mejora de la compactación del suelo comparando el resultado que se ha obtenido con el porcentaje establecido para la obra (90%, 95%, 100%) según la importancia requerida.

$$GC = \frac{\text{Densidad seca del suelo in situ}}{\text{Densidad máxima seca en laboratorio}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

2.2.4. Concepto teórico 4: Método de pilotes

Según Yepes (2019), es un método que se emplea cuando se hace imposible realizar la cimentación superficial, por ejemplo, cuando se requieren transmitir cargas a grandes profundidades mayores a los 6 m o a más de 8 diámetros del pilote. Son piezas largas (pilares que son clavados en el terreno), que pueden alcanzar una profundidad

suficiente que permite la transmisión de las cargas de estructura. Se utilizan mayormente cuando:

- Se dispone de un terreno competente con profundidad entre 5 m a 6 m.
- Las cargas de la estructura son concentradas e importantes.
- La estructura es sensible a movimientos diferenciales o absolutos.
- Existe un alto nivel freático que hace imposible el desarrollo de losas.
- Se requiere limitar el efecto de las cargas en estructuras que son próximas.
- Se requiere como elemento de contención por medio de pantallas de pilotes.
- Se requiere contener movimientos de ladera.
- Se hace necesario resistir las cargas horizontales.
- Se necesita compensar las tracciones o subpresiones.

De acuerdo con Yepes (2019), los pilotes se clasifican en 4 tipos:

- **Pilote aislado:** Es un tipo de pilote que se encuentra suficientemente alejado de otros con el propósito de no interactuar con estos. Cuando se hormigonan in situ, los mismos deberán tener diámetros superiores a 450 mm con arriostras laterales. En los casos de pilotes prefabricados hincados, pueden construirse aislados siempre y cuando se arriostren en dos direcciones ortogonales y se logre demostrar que los momentos resultantes de esas direcciones se absorben o anulan bien sea por la armadura del pilote o por las vigas riostras.
- **Grupo de pilotes:** Son un grupo de pilotes que se encuentra próximos lo suficientemente para interactuar entre estos o cuando están unidos con elementos estructurales.

- **Zonas pilotadas:** Son un tipo de pilotes que poseen una escasa capacidad portante individual, que por lo regular están espaciados o se sitúan en puntos estratégicos, con el propósito de reducir asientos o cuando se quiere mejorar la seguridad ante el hundimiento de las cimentaciones.
- **Micropilotes:** So un tipo de pilotes que se componen de una armadura metálica que la forman una serie de tubos, perfiles o barras los cuales son introducidos en un taladro con un diámetro pequeño y son inyectados con una lechada de concreto.

Para Moreno (2020), de acuerdo a la forma de trabajo, los pilotes suelen clasificarse en:

- **Pilotes por fuste:** Se emplean en aquellos suelos en donde, al no existir claramente un nivel de mayor resistencia para que se transmita la carga del pilotaje, entonces este realizara la transmisión de su carga al terreno por medio del fuste. Suelen ser llamados pilotes flotantes.

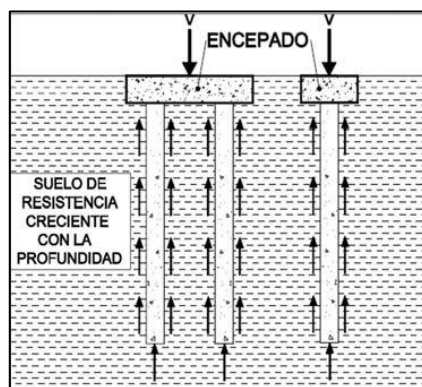


Figura 8 Pilote por fuste

Fuente: Moreno (2020)

- **Pilotes por punta:** Se emplean en aquellos suelos en los que existen cierta profundidad y un estrato más resistente, transmitiéndose las cargas del pilotaje a través de la punta. Se ser llamados pilotes de columna.

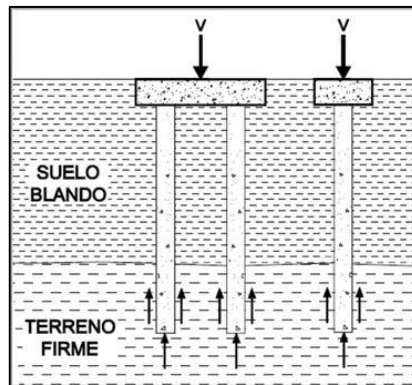


Figura 9 Pilote por punta

Fuente: Moreno (2020)

Ahora bien, atendiendo al procedimiento de construcción del pilote (su forma de colocación), en el suelo a mejorar, se clasifican según Moreno (2020) en:

- **Pilotes prefabricados hincados:** Su característica principal depende del desplazamiento del terreno que puede ser inducido en el proceso de ejecución, puesto que el pilote es introducido en el suelo sin que se requieran excavaciones previas para facilitar su alojamiento. La manera de hincar el pilote varía según el método empleado, siendo estos vibración o percusión. Suelen construirse en un único tramo o por medio de la unión de varios tramos con sus respectivas juntas, en este último caso, se deberá tener en cuenta la resistencia a compresión, a flexión y a tracción del pilote, la cual no podrá ser superior a la que reporten las juntas que unen cada tramo.

Este tipo de pilote podrá ser construidos de manera aislada, siempre y cuando se realice el debido arriostramiento en dos direcciones ortogonales y que se evidencie que los momentos resultantes de ambas direcciones son nulos o que son absorbidos por la armadura del pilote o por las vigas riostras.

- **Pilotes hormigonados in situ:** Para la construcción de este tipo de pilote, se requieren realizar excavaciones previas en el suelo, tomando en consideración los criterios:
 - a) *Diámetro < 0,45 m:* No se podrán utilizar pilotes aislados, salvo en aquellos casos en los que la edificación a construir sea de poca responsabilidad y se dé un fallo del elemento de cimentación con pocas repercusiones.
 - b) *Diámetro entre 0,45 m y 1,00 m:* Se podrán emplear pilotes aislados siempre y cuando se realice un arriostramiento en dos direcciones ortogonales y este asegurada la integridad del pilote en toda la longitud del mismo.
 - c) *Diámetro > 1,00 m:* Se podrán emplear pilotes aislados sin que sea necesario un arriostramiento, siempre que se asegure la integridad del pilote en toda la longitud del mismo y que el pilote sea armado para las excentricidades permitidas y los momentos resultantes.

Paco (2010), indica que la capacidad portante de pilote para suelos finos, sean arcillosos o limosos, es aplicada conforme a las recomendaciones de AASHTO LRFD y FHWA, tal y como se aprecia en la siguiente ecuación

$$R_{SN} = \pi B \Delta z f_{SN} = \pi B \Delta z (\alpha S_U)_1 \dots \dots \dots (2)$$

En donde:

R_{SN} = Resistencia lateral nominal

B = Diámetro del eje.

Z = Espesor de la capa de suelo sobre la que se calcula la resistencia.

S_U =Resistencia media al corte sin drenaje en el intervalo de profundidad.

α =Coeficiente que relaciona la resistencia del lado de la unidad con la resistencia al corte sin drenaje

f_{SN} =Resistencia nominal del lado de la unidad.

En este sentido, la teoría de la capacidad de carga que es aplicada en los casos de un fundamento profundo que se encuentre apoyado en el suelo cohesivo, tomando en consideración el análisis de la tensión total, la ecuación antes señalada es la ideal para el diseño del pilote (Paco, 2010).

Ahora bien, la determinación de la capacidad punta del pilotes en suelos cohesivos se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q_{BN} = N_c * S_u \dots \dots \dots (3)$$

En donde:

N_c = Capacidad de carga

S_U = Factor de resistencia al corte sin drenaje medio del suelo cohesivo sobre una profundidad de $2b$ por debajo de la base.

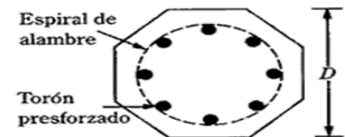
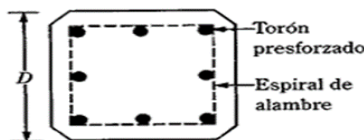
En este sentido, la capacidad de carga última del pilote se compone por la resistencia a la fricción y la resistencia en la punta, ambas se suman y luego se divide por el factor de seguridad (Paco, 2010).

Tabla 3

Fuerza de hincado para los pilotes

Forma del pilote	Diámetro (Pulgadas)	Área de sección transversal (pulgadas)	Perímetro (Pulgadas)	Número de torones		Fuerza de presfuerzo efectivo mínimo (Klb)	Módulo de sección (Pulgadas)	Capacidad de (Klb) carga de diseño	
				Resistencia de concreto				5000 psi	6000 psi
				1(2 pulgada diámetro)	7/16 pulgada de diámetro				
S	10	100	40	4	4	70	167	125	175
O	10	83	33	4	4	58	109	104	125
S	12	144	48	5	6	101	288	180	216
O	12	119	40	4	5	83	189	149	178
S	14	196	56	6	8	137	457	245	295
O	14	162	46	5	7	113	300	203	243
S	16	256	64	8	11	179	683	320	385
O	16	212	53	7	9	148	448	265	318
S	18	324	72	10	13	227	872	405	486
O	18	268	60	8	11	188	638	336	402
S	20	400	80	12	16	280	1333	500	600
O	20	331	66	10	14	234	876	414	503
S	22	484	88	15	20	339	1775	605	727
O	22	401	73	12	16	281	1166	502	602
S	24	576	96	18	23	403	2304	710	851
O	24	477	80	15	19	334	2123	596	716

S= Sección cuadrada O= Sección octogonal



Fuente: Constructor Civil 2013

2.2.5. Concepto teórico 5: Capacidad portante del suelo

La capacidad portantes del suelo no es más que la capacidad que tiene una cimentación para soportar las cargas fijas de una estructura; por tanto es considerada un factor de seguridad que previene fallas o daños en la estructura; depende de las características del suelo, del tipo de cimentación y del factor de seguridad adoptado (Nij, 2009).

Calderón (2018) define esta característica como el esfuerzo de una estructura o edificación sobre el suelo sobre el cual reposa, previniendo fallas por esfuerzos excesivos. Para este autor, en toda cimentación se deben asegurar ciertos requisitos

esenciales como lo son un factor de seguridad (F_2) superior a 2 contra la falla por resistencia al esfuerzo cortante; y un asentamiento tolerable.

Para Herrera (2010), la capacidad cortante desde el contexto técnico, se define como la presión media máxima de contacto entre la cimentación y el terreno sin llegar al extremo de ocasionar fallas por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo; en consecuencia, la capacidad portante admisible debe sostenerse en dos criterios esenciales:

- Si se requiere soportar una determinada tensión independiente de la deformación, la capacidad portante del suelo debe calcularse a partir de la carga de hundimiento.
- Si se requiere lograr una estabilidad entre la tensión aplicada al suelo y la deformación sufrida por éste, la capacidad portante deberá calcularse a partir de criterios de asiento admisible.

Para determinar la capacidad portante del suelo se emplea la metodología de Karl Terzaghi (1943), la se basó en los resultados de la mecánica continua del suelo con el fin de evaluar la capacidad de carga de una cimentación. En este sentido, Terzaghi (1943), señala que si el fondo de la cimentación (B) es igual o mayor a distancia vertical entre el suelo natural (profundidad del pilar) (D_f) y la parte inferior de la cimentación (B), la cimentación se considera poco profunda

Sin embargo, en el transcurrir del tiempo, oras investigaciones han considerado que una cimentación superficial es aquella en la cual profundidad (D_f) es de tres a cuatro veces el ancho del cimientto (Braja, 2012). Para Terzaghi, toma en cuenta este parámetro solo por debajo de dicho nivel y descarta la resistencia al esfuerzo cortante en el nivel meridiano de la base. En este sentido, el suelo del piso de cimentación se representa

por sobrecarga $q = \gamma \cdot Df$ actuante en el plano horizontal, donde (γ) es la gravedad específica del suelo (Medina, 2002).

Terzaghi señaló la siguiente ecuación:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (4)$$

En donde:

c : Cohesión del suelo

γ : Peso específico del suelo

Df : Profundidad de desplante de la cimentación

q : $\gamma \cdot Df$ = sobrecarga efectiva

B : Ancho del cimiento

N_c : Factor de capacidad de carga debido a la cohesión

Para Terzaghi, los factores de carga N_c , N_q , N_γ se determinan a partir del método de espiral logarítmica, tal y como se aprecia en la siguiente figura.

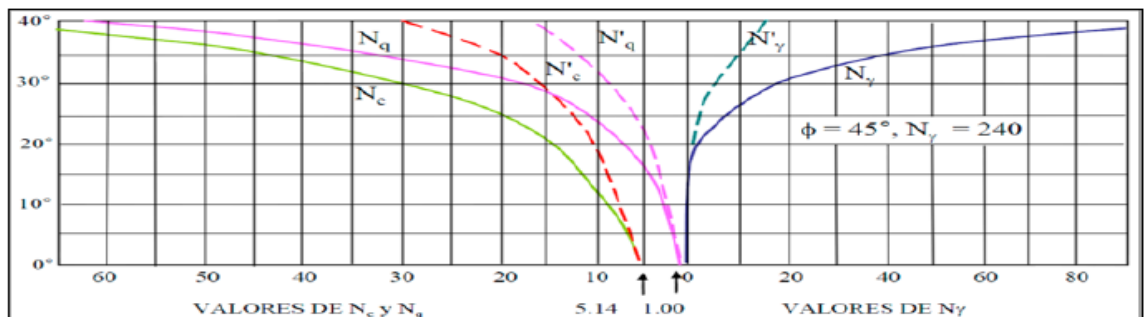


Figura 10 Factores de carga

Fuente: Terzaghi (1943)

A partir de la curva obtenida, Terzaghi determinó los valores N_c , N_q , N_γ tal y como se observa en la figura 11, estando ubicados en el rango de ϕ 0° a 50° .

ϕ (grados)	Nc	Nq	Ny	Kpy
0	5.7	1	0.0	10.8
5	7.3	1.6	0.5	12.2
10	9.6	2.7	1.2	14.7
15	12.9	4.4	2.5	18.6
20	17.7	7.4	5.0	25.0
25	25.1	12.7	9.7	35.0
30	37.2	22.5	19.7	52.0
34	52.6	36.5	36.0	
35	57.8	41.4	42.4	82.0
40	95.6	81.3	100.4	141.0
45	172.3	173.3	297.5	298.0
50	258.3	287.9	780.1	
55	347.5	415.1	1153.2	800.0

Figura 11 Factores de capacidad de carga según Terzaghi

Fuente: Terzaghi (1943)

De acuerdo con Nij (2009), se emplean una serie de ensayos con el fin de determinar la capacidad portante del suelo, comenzando con inspección ocular y finalizando con la realización de ensayos de laboratorios siendo estos:

- Ensayos para las características del suelo: Granulometría, Humedad natural, Límites de consistencia, Pesos específicos, Clasificación de suelos, Grado de saturación, Porosidad y Relación de vacíos
- Ensayos especiales: Cortes directos, Triaxiales, Consolidación, , Densidad in situ, Pesos unitarios y Ensayo de la Placa.

Nij (2009), indica que al momento de determinar la capacidad portante del terreno que requerirá una debida cimentación para construir una edificación, es necesario conocer la tensión admisible, siendo un parámetro que permite cuantificar la resistencia del suelo, que no es más que la carga que soportará en la parte superior sin que se hunda.; este parámetro representa la fuerza por unidad de superficie o tensión que soporta un

suelo a una profundidad determinada, siendo su unidad de medida kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2).

Los valores de tensión admisible que poseen los suelos varían entre 0,5 y 3 Kg/cm^2 , en este sentido, al encontrar una tensión admisible baja, se habla de un suelo que posee problemas para garantizar la estabilidad del cimiento, ahora bien, cuando este valor es muy cercano o superior a 3, se habla de un buen suelo para construir (Nij, 2009).

Adicional al valor de la tensión admisible del suelo, se deberá conocer el coeficiente de balasto y el nivel del firme.

- **Coefficiente de Balasto:** Mide que tan rígido es el terreno a partir de la relación existente entre la tensión admisible y el asiento que sufre un terreno.
- **Nivel del Firme:** Es el estrato donde está la tensión admisible requerida para que soporte las cargas correspondientes a la edificación a construir, es decir, la profundidad donde se ubica el estrato apto que permitirá sostener la edificación.

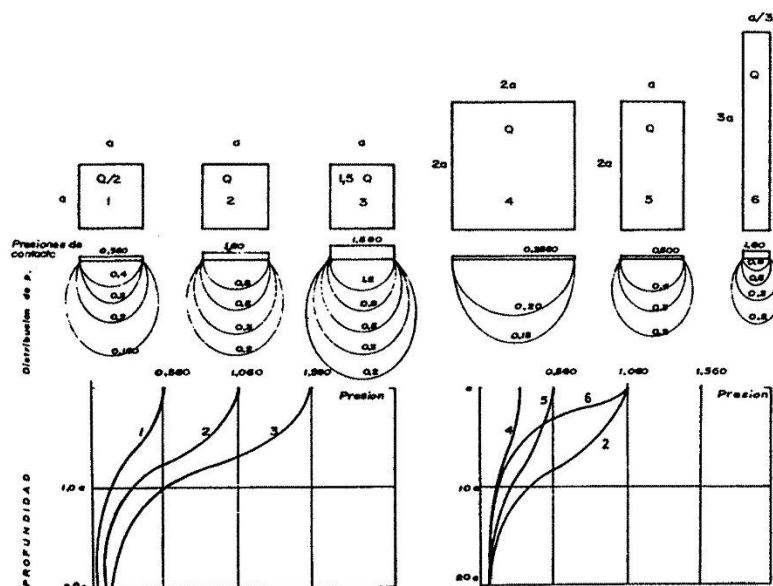


Figura 12 Distribución de presiones suelo compactado

Fuente: Yepes (2021)

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

El autor de la investigación ingreso a la empresa en el mes de diciembre del año 202, en el cargo de Sub Jefe de producción, ya que posee experiencia laboral comprobada en diferentes empresas de construcción civil en áreas de producción y calidad, siendo los cargos desempeñados: Asistente de producción, Asistente de calidad, Asistente de producción y calidad, Ingeniero de producción y calidad, Encargado de Obra, Ingeniero de calidad.

Las funciones que desempeña en la actualidad son las siguientes:

- Planificar y organizar todas las actividades necesarias, para la correcta ejecución de los trabajos con el fin de conseguir el cumplimiento de los plazos o una reducción de los mismos.
- Dar soporte en la negociación y conseguir la mejor alternativa de contratación de proveedores/subcontratas conforme a términos de calidad, precios y plazos de ejecución.
- Dar soporte en el cierre económico mensual para cumplir con el objetivo previsto, contemplando los costes incurridos, pagos y el volumen de obra ejecutada, así como las desviaciones producidas en el periodo para cumplir con la normativa.
- Reducir al mínimo los repasos en periodo de postventa
- Establecer una relación de confianza y ser proactivo con el cliente y la dirección facultativa que conlleve la fidelización del mismo
- Control de todas las medidas de seguridad y cumplimiento del plan de seguridad.

- Gestión documentación de la empresa sobre los procedimientos establecidos cumplimiento normas ISO

3.1. Descripción de la mejora capacidad portante a través del método de pilote

3.1.1. Descripción de la zona

La zona donde se proyectó la construcción de dos edificios de 20 pisos cada uno, presenta un área para el edificio 7 es de 593.98 m² y para el edificio 8 732.57 m². Esta área se ubica de acuerdo al mapa de zonificación sísmica propuesto en la Norma Técnica E030 en la Zona 04, por lo que le corresponde un factor de zona igual a 0.45, lo que indica que como una fracción de la aceleración de la gravedad y es aquella aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10.0% de ser excedida en 50 años.

Así mismo, de acuerdo al estudio de microzonificación sísmica locales realizado para la región Lima Metropolitana y el Callao, el distrito El Agustino se ubica en la la Zona Sísmica II de Lima Metropolitana, siendo una zona conformada por materiales arenosos finos y/o alternancias de suelos finos cohesivos y no cohesivos, cuyas potencias varían entre 3.0 y 10.0 m, subyaciendo a estos estratos se encuentra la grava aluvial o grava coluvial. También se resalta que, los periodos dominantes del suelo tienen valores de 0.20 s a 0.50 s, por lo que se proyecta un incremento moderado del nivel de peligro sísmico debido al comportamiento dinámico del suelo.

En relación a la geología, de acuerdo al INGEMMET, el distrito en estudio se ubica en el Cuadrangulo 25-j de la Carta Geológica Nacional, caracterizado por un depósito de tipo aluvial conformado por una mezcla heterogénea de cantos y gravas en una matriz arenosa y areno-limosa. Dichos cantos provienen de rocas ígneas y volcánicas como la granodiorita y la andesita en el caso de los ríos Rímac y Chillón respectivamente. Así mismo, el comportamiento geotécnico de este tipo de depósitos

depende mucho de la compactación de dichos materiales, por lo que existe una mayor compacidad a profundidades mayores.

Tabla 4

Perfil estratigráfico de la zona estudiada

	Estrato 1 Relleno (R) y Manto de materiales arenosos y finos	Estrato 2: Grava pobremente aradada
Perfil M-MP	En la superficie donde se emplazarán los edificios, el terreno presenta un relleno de espesor variable que va de 1.40 m en el sector noroeste profundizando en dirección sureste, conformado por un material granular constituido por bolonería inmerso en matriz arenosa/limosa, medianamente denso. Bajo este material, se encuentra un manto de materiales arenosos y finos conformado por: arcilla de plasticidad baja a media, medianamente compacta a dura; limo arenoso, de baja plasticidad, medianamente.	
Perfil N-PN	En la superficie donde se emplazarán los edificios, presenta un relleno de espesor variable entre 0.24 y 1.40 m de espesor, conformado por un material granular constituido por grava, suelta a medianamente densa, con bolonería de TM hasta 7. Bajo este relleno, se encuentra un manto de materiales arenosos y finos conformado por: arcilla de plasticidad baja a media, medianamente compacta a dura, limo arenoso, de plasticidad baja, medianamente compacto a duro y arena con contenido variable de limo, medianamente densa a densa. El espesor de este manto varía entre 2.40 y 3.80 m. De acuerdo con la clasificación SUCS este estrato está conformado por suelos del tipo CL, ML, SP-SM y SM	Este estrato está conformado por el depósito de grava con matriz arenosa, medianamente densa a densa, que se registra a partir de profundidades comprendidas entre 3.30 y 4.30 m y se prolonga más allá de la profundidad de investigación (6,00 m), presenta partículas de forma sub-redondeada de TM=3", húmeda, con presencia de bolonería de TM=6.7". De acuerdo con la clasificación SUCS, está conformado por suelos de tipo GW y GP
Perfil P-P	Este estrato está conformado por un relleno de espesor entre 0.24 y 1.40 m, conformado por un material granular constituido por grava, suelta a medianamente densa, con bolonería de TM hasta 7". Bajo este relleno, se encuentra un manto de materiales arenosos y finos conformado por arcilla de plasticidad baja a media medianamente compacta a dura, limo arenoso, de plasticidad baja, medianamente compacto a duro; y arena con contenido variable de limo, medianamente densa a densa espesor de este manto varía entre 2.40 y 3.80 m. De acuerdo con la clasificación SUCS este estrato está conformado por suelos del tipo CL ML, SP-SM y SM	Este estrato está conformado por el depósito de grava con matriz árenos, medianamente densa a densa que aparece a partir de 3.50 m de profundidad y se extiende más allá de la profundidad de investigación (6.00 m), con partículas de forma sub-redondeada de TM=3" húmeda, non presencia de bolonería de TM=67".
Perfil Q-Q'	Este estrato está conformado por un relleno de espesor variable y que se infiere profundiza en dirección norte (hacia el bloque de estacionamiento subterráneo frente a la torre B) conformado por un material granular constituido por grava, suelta a medianamente densa, con bolonería de TM hasta 7. Bajo este relleno, se encuentra un manto de materiales arenosos y finos conformado por arcilla de plasticidad baja a media, medianamente compacta a dura; limo arenoso, de plasticidad baja, medianamente compacto a duro y arena con contenido variable de limo, medianamente densa a densa. El espesor de este manto varía entre 2.40 3.80 m. De acuerdo con la clasificación SUCS este estrato está conformado por suelos del tipo CL ML, SP-SM y SM.	Este estrato está conformado por el depósito de grava con matriz arenosa, medianamente densa a densa, que se registra a partir de los 3.50 m de profundidad y se extiende más allá de la profundidad de investigación (6.00 m). presenta partículas de forma sub-redondeada de TM=3', húmeda, con presencia de bolonería de TM6-7". En este perfil se puede apreciar que el depósito de grava aparece a una profundidad mayor que 3.50 m en dirección norte, debido a la presencia del relleno adyacente al bloque de estacionamientos subterráneo. De acuerdo con la clasificación SUCS, está conformado por suelos de tipo GW y GP

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

Los perfiles unidimensionales de ondas de corte que se obtuvieron de los ensayos geofísicos, permitió determinar la velocidad promedio de ondas de corte para los primeros 30.0 m de profundidad del suelo (V30), las cuales varían de 388 m/s y 433 m/s. Sin embargo, debido a que se requiere mejorar la resistencia actual del suelo de

cimentación, las velocidades de ondas de corte del estrato superficial se incrementarán, es por ello que el perfil sísmico se clasifica como Tipo S1 según la norma E.030.

En base a lo anterior, la evaluación estructural de la estructura conforme a lo descrito en norma E.030 se determinaron los siguientes parámetros:

- **Factor de zona (Z) :** 0.45 (Zona 04, ver apartado 2.2)
- **Factor de suelo (S) :** 1.00
- **Tipo de perfil de suelo :** S₁
- **Periodo predominante (T_p) :** 0.4 s
- **Periodo predominante (T_L):** 2.5 s

3.1.2. Alternativa de cimentación

Edificio 7

Dada las características del suelo en donde se realizará la construcción de la edificación de 20 pisos y los requerimientos de carga previsto que esta por el orden de 2.00 kg/cm², se planteó como mejor alternativa de cimentación profunda, ya que las cargas serán transmitidas al depósito natural de grava arenosa, ya que la capacidad de carga de la capa superior de los suelos finos no alcanza la resistencia mencionada. Es así que la cimentación se empleando pilotes individuales excavados, con diámetros iguales a D=0.60 y 0.80 m, dadas las elevadas cargas estructurales que transmitirán las columnas de la edificación al suelo de cimentación.

En este sentido, se empotraron los pilotes sobre material competente y resistente tal como la grava pobremente gradada con arena, cuya profundidad es ligeramente variable comparando entre los registros realizados en el área de estudio. El nivel de empotramiento inicia desde los 3.50 m de profundidad con respecto al nivel de terreno

natural y el análisis de cimentación contempla longitudes de empotramiento igual a 2.0 y 3.0 m tal y como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5

Fondo de cimentación, longitud del pilote y empotramiento edificio 7

Tipo de pilote / Diámetro	N.F.C. (respecto al terreno natural)	Longitud del pilote (m)	Longitud de empotramiento (m)
Excavados Ø= 0.60 m	-5.50	4.30	2.0
	-6.50	5.30	3.0
Excavados Ø= 0.80 m	-5.50	4.30	2.0
	-6.50	5.30	3.0

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha marzo 2018

Capacidad admisible

A partir de las hojas de cálculo de las especificaciones de diseño de la norma AASHTO LRFD 2012, se realizó la evaluación de la capacidad de carga admisible de un pilote excavado. En este sentido, conforme a la recomendación de la norma se consideró un factor de resistencia por fuste de 0.45 y 0.60 para la arcilla limo arenoso y grava arenosa respectivamente, y un factor de resistencia por punta de 0.55 para la grava pobremente gradada con arena para el diseño de pilotes excavados. Así mismo, se determinó la resistencia admisible del pilote individual utilizando los parámetros de resistencia cortante, número de golpes del SPT-01, así como los pesos específicos de los distintos estratos que conforman el perfil estratigráfico N-N'.

Tabla 6

Resumen de capacidad de carga admisible a compresión axial de pilotes excavados individuales edificio 7

Tipo de pilote	Sondaje característico	Ø (m)	L (m)	Capacidad de Carga Axial (t)
Excavado	SPT-01	0.6	4.30	67.00
			5.30	78.00
Excavado	SPT-01	0.8	4.30	110.00
			5.30	124.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

En la tabla 7 se aprecia la resistencia a la tracción de los pilotes, ya que el peso propio del pilote también aporta a la resistencia antes mencionada.

Tabla 7

Resumen de capacidad de carga admisible a tracción de pilotes excavados individuales edificio 7

Tipo de pilote	Sondaje característico	Ø (m)	L (m)	Capacidad de Carga Tracción (t)
Excavado	SPT-01	0.6	4.30	19.00
			5.30	28.00
Excavado	SPT-01	0.8	4.30	27.00
			5.30	39.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

En la tabla 8 se aprecia los asentamiento para cada uno de los pilotes recomendados.

Tabla 8

Resultados del cálculo de asentamiento edificio 7

Tipo de pilote	Ø (m)	Fuste (cm)		Punta (cm)	Total (cm)
		Suelo cohesivo	Suelo no cohesivo	Suelo no cohesivo	
Excavado	0.60	0.06	0.15	1.20	1.41
Excavado	0.80	0.08	0.20	1.60	1.88

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

Edificio 8

Dada las características del suelo en donde se realizará la construcción de la edificación de 20 pisos y los requerimientos de carga previsto que esta por el orden de 2.00 kg/cm², se planteó como mejor alternativa de cimentación profunda, ya que las cargas serán transmitidas al depósito natural de grava arenosa, ya que la capacidad de carga de la capa superior de los suelos finos no alcanza la resistencia mencionada. Teniendo en cuenta la existencia del relleno heterogéneo, que se colige sirvió para rellenar el espacio que dejó los cortes provenientes de la construcción del muro colindante del bloque de estacionamiento subterráneo y que profundiza en dirección norte, se ha

generado una sectorización, la cual considera dos zonas denominadas A y B de tal forma que se tenga un mejor entendimiento de las condiciones de cimentación que se presentan en dichas zonas.

En la zona A, se espera encontrar el depósito de grava arenosa a partir de los 4.50 m de profundidad; mientras que en la zona B, en el sector más profundo, se infiere que el depósito de grava aparece a los 17.00 m de profundidad. La existencia de este relleno genera un problema en particular para la cimentación del edificio 8, ya que la misma, dada la configuración propia del proyecto, se debe apoyar en un sector invadido por este material en toda su longitud.

En este sentido, se empotraron los pilotes sobre material competente y resistente tal como la grava pobremente gradada con arena, cuya profundidad es ligeramente variable comparando entre los registros realizados en el área de estudio. En la zona A de la huella, el nivel de empotramiento inicia desde los 4.50 m de profundidad con respecto al nivel de terreno natural y el análisis de cimentación contempla longitudes de empotramiento igual a 2.0 y 3.0 m. En la zona B, en la cual el relleno heterogéneo se infiere que profundiza hasta los 17.00 m, se recomienda que los pilotes penetren en el depósito de grava por 2.00 o 3.00 m (desde el nivel -17.00 m).

Tabla 9

Fondo de cimentación, longitud del pilote y empotramiento edificio 8

Tipo de pilote / Diámetro	Zona	N.F.C. (respecto al terreno natural)	Longitud del pilote (m)	Longitud de empotramiento (m)
Excavados Ø= 0.60 m	A	-6.50	5.30	2.00
		-7.50	6.30	3.00
Excavados Ø= 0.80 m		-6.50	5.30	2.00
		-7.50	6.30	3.00
Excavados Ø= 1.00 m	B	-19.00	17.80	2.00
		-20.00	18.80	3.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

Capacidad admisible

A partir de las hojas de cálculo de las especificaciones de diseño de la norma AASHTO LRFD 2012, se realizó la evaluación de la capacidad de carga admisible de un pilote excavado. En este sentido, conforme a la recomendación de la norma se consideró un factor de resistencia por fuste de 0.45 y 0.60 para la arcilla limo arenoso y grava arenosa respectivamente, y un factor de resistencia por punta de 0.55 para la grava pobremente gradada con arena para el diseño de pilotes excavados. Así mismo, se determinó la resistencia admisible del pilote individual utilizando los parámetros de resistencia cortante, número de golpes del SPT-01, así como los pesos específicos de los distintos estratos que conforman el perfil estratigráfico N-N'.

Tabla 10

Resumen de capacidad de carga admisible a compresión axial de pilotes excavados individuales edificio 8.

Tipo de pilote	Zona	Sondaje característico	Ø (m)	L (m)	Capacidad de Carga Axial (t)
Excavado	A	SPT-01	0.6	5.30	63.00
				6.30	68.00
Excavado		SPT-01	0.8	5.30	104.00
				6.30	111.00
Excavado	B	SPT-01	1.0	17.80	475.00
				18.80	504.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

En la tabla 11 se aprecia la resistencia a la tracción de los pilotes, ya que el peso propio del pilote también aporta a la resistencia antes mencionada.

Tabla 11

Resumen de capacidad de carga admisible a tracción de pilotes excavados individuales edificio 8

Tipo de pilote	Zona	Sondaje característico	Ø (m)	L (m)	Capacidad de Carga Tracción (t)
Excavado	A	SPT-01	0.6	5.30	20.00
				6.30	28.00
Excavado		SPT-01	0.8	5.30	25.00
				6.30	30.00
Excavado	B	SPT-01	1.0	17.80	295.00
				18.80	319.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

En la tabla 12 se aprecia los asentamiento para cada uno de los pilotes recomendados.

Tabla 12

Resultados del cálculo de asentamiento edificio 8

Tipo de pilote	Ø (m)	Fuste (cm)		Punta (cm)	Total (cm)
		Suelo cohesivo	Suelo no cohesivo	Suelo no cohesivo	
Excavado	0.60	0.06	0.15	1.20	1.41
Excavado	0.80	0.08	0.20	1.60	1.88
Excavado	1.00	0.00	0.20	1.60	2.35

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

3.1.3. Modelamiento numérico

En los trabajos realizados de construcción de viviendas multifamiliares en el proyecto Nogales de los edificios 7 y 8 notó que parte de las huellas de las edificaciones reposaban sobre rellenos no controlados, lo que se originó como consecuencia de las excavaciones masivas para la construcción de los estacionamientos contiguos a la zona de construcción.

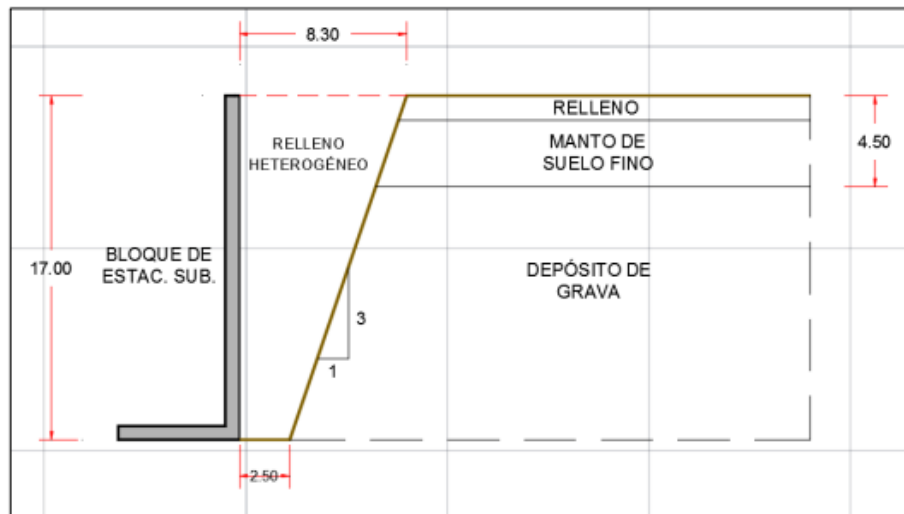


Figura 13 Esquema del relleno frente al edificio 8

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

Por tal razón se solicitó un estudio geotécnico para evaluar la construcción de pilotes excavados, de manera que la carga de la estructura se transmitiera hacia un estrato más competente (grava) y no se generarán esfuerzos sobre el muro debido a la sobrecarga del edificio. Dada la actividad sísmica de la zona fue necesario evaluar primeramente el muro para conocer los esfuerzos sufridos por los pilotes. Es así como se realizó el estudio mediante modelamiento numérico.

Con la información suministrada se realizó el modelamiento empleando pilotes excavados de un diámetro de 0.80 m, los cuales se empotraron en la grava hasta 3.00 m por debajo del nivel inferior de cimentación del estacionamiento contiguo. La sección escogida para la modelación corresponde al corte G-C del plano Planta principal suelos 7 y 8 V., la cual se seleccionó en función de la proximidad con la estructura y a la profundidad de cimentación (N.F.Z. -15.47m).

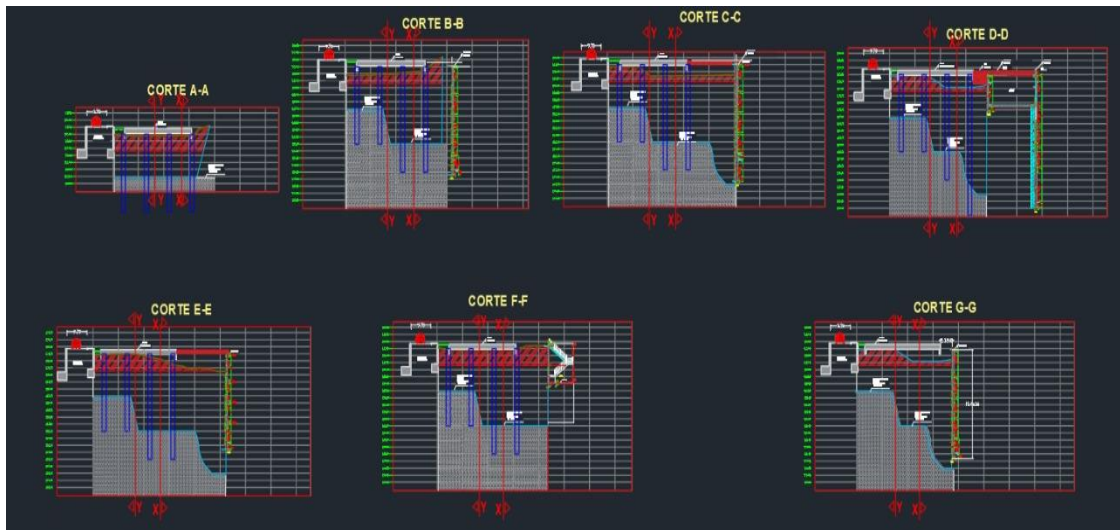


Figura 14 Sección G-C del plano Planta principal suelos 7 y 8 V

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

Para realizar el modelamiento fue necesario considerar información como las propiedades de los muros tomando como referencia el plano ESPECIFICACIONES GENERALES, y los espesores para lo que se utilizaron los planos “Planta_Principal Suelos 7 y 8 V.2 y E-CORTES-1 al 12 CIMENTACION PLANTA GENERAL-21.10.14.

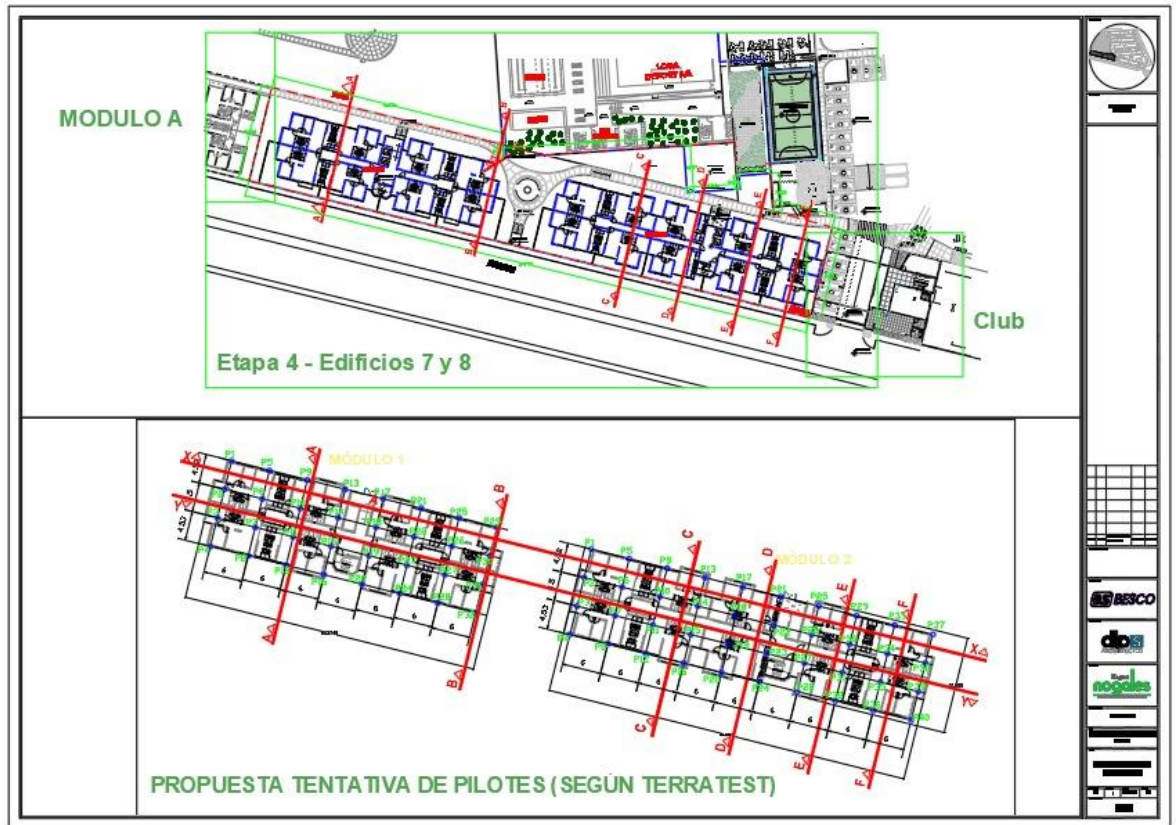


Figura 15 Plano Especificaciones. Generales

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha marzo 2018

Así mismo, para la distribución en planta de los pilotes se consideraron las recomendaciones de la normativa vigente (E.050), específicamente del CAPITULO V: Cimentaciones profundas, la cual plantea lo siguiente:

LONGITUD (m)	ESPACIAMIENTO ENTRE EJES
$L < 10$	3b
$10 \leq L < 25$	4b
$L \geq 25$	5b

Figura 16 Espaciamento mínimo entre pilotes

Fuente: Tomlinson (1997)

Siendo b el diámetro o mayor dimensión del pilote.

En base a estos distanciamientos mínimos se consideró un espacio mínimo de 3.70 m entre pilotes para el ancho y 3.30 m para el largo de la platea sobre la cual se apoyó el edificio (tomando como dimensiones 14.90 m y 56.10 m, respectivamente). Esta distribución es referencial debido a que no se disponía de los pilotes construidos para el momento de la modelación. Igualmente se realizó un análisis considerándose 1.0 m de ancho de muro, por lo que los resultados se consideraron sólo para dicho ancho.

Para realizar el modelo numérico fue además necesario las cargas provenientes por sismos para la edificación, siendo estas las siguientes:

- Carga transmitida por el edificio: 2.50kg/cm²
- Edificio 7: $V_x=496.43$ ton, $V_y=481.20$ ton
- Edificio 8: $V_x=644.14$ ton, $V_y=626.13$ ton

Es relevante mencionar que el modelamiento se realizó considerando un estado plano de esfuerzos (plano cartesiano).

El análisis arrojó necesario la construcción de 4 pilotes como se evidencia en la figura siguiente.

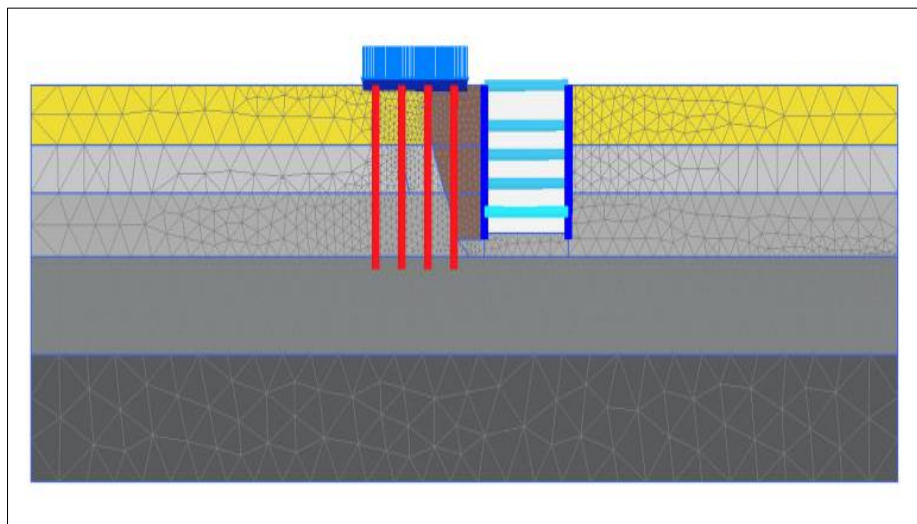


Figura 17 Modelo numérico – Losa cimentación Edificio 08 y bloque de estacionamientos

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha marzo 2018

Así mismo la simulación permitió conocer las cargas horizontales que soportaría el muro una vez construido.

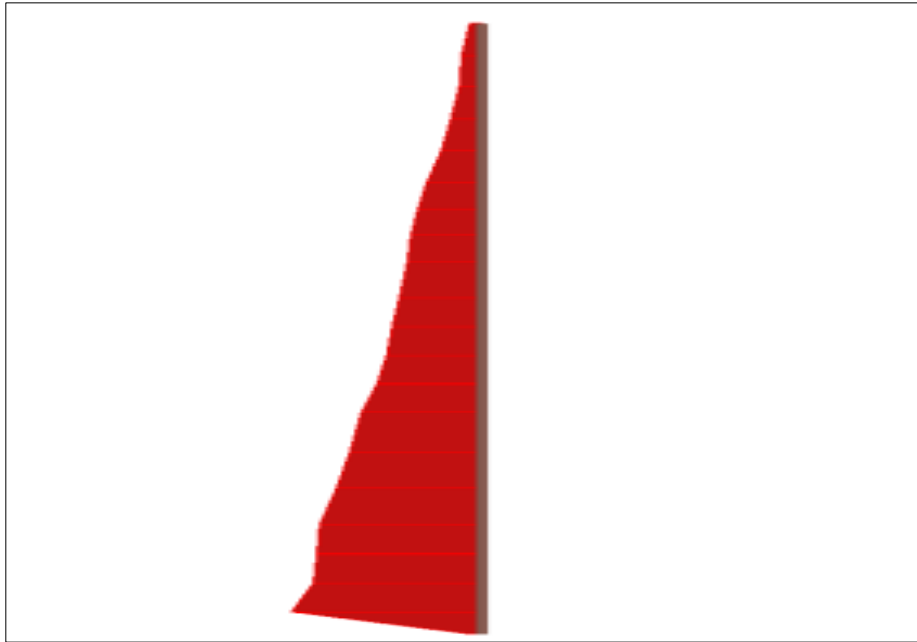


Figura 18 Empujes soportados por el muro inmediatamente después de ser construido (sin ninguna edificación)

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha marzo 2018

El modelamiento permitió obtener la variación de empujes a lo largo del muro para la sección crítica, representando esta, el incremento del esfuerzo horizontal que llega al muro del estacionamiento.

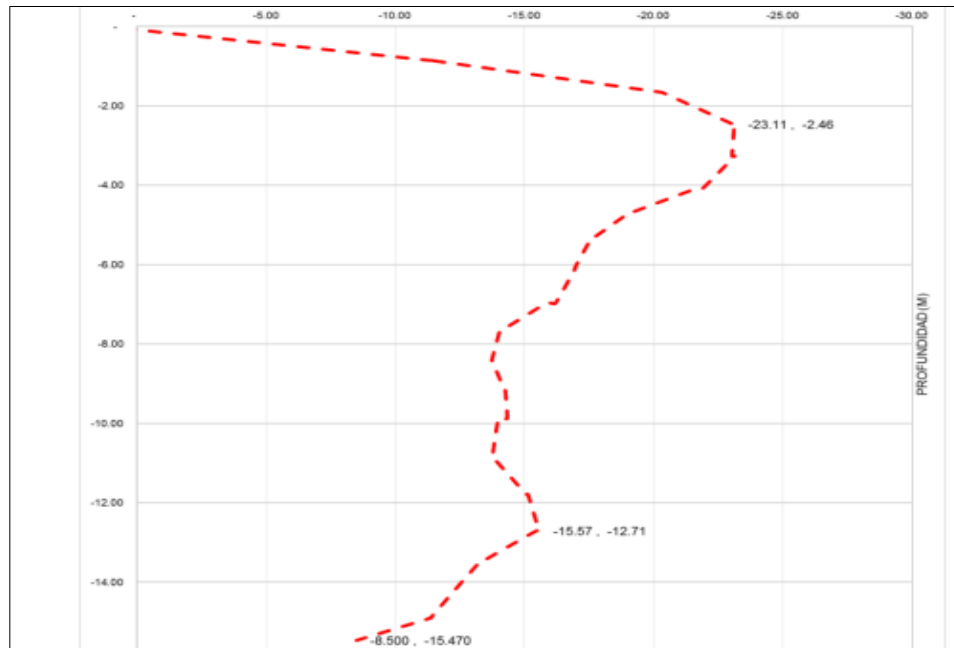


Figura 19 Variación de empujes – Muro de estacionamientos

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Peru SAC en fecha Marzo 2018

La variación de carga en el muro se presentó a casi 2.50m de profundidad. En ese punto, la variación de carga máxima fue de 23.11 kN/m² o 2.31tn/m². Dicho valor obedece a la aplicación de carga de la losa de cimentación y la fuerza sísmica. El modelamiento permitió prever que a mayor profundidad el incremento de la carga varía entre 8.50kN/m² y 15.57kN/m² (0.85 tn/m² y 1.56 tn/m² respectivamente).

Adicionalmente, se determinó que las deformaciones horizontales en la parte superior del pilote fueron de 1.94cm, y en el muro, el desplazamiento horizontal en la parte superior fue de 0.95cm y en la parte inferior de 1.39cm.

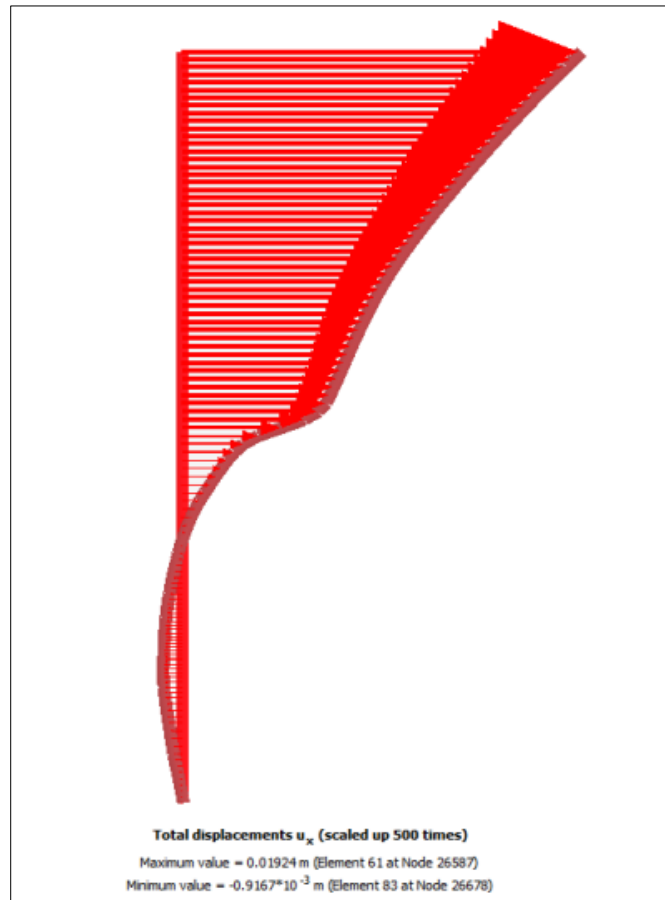


Figura 20 Deformaciones horizontales – pilote

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

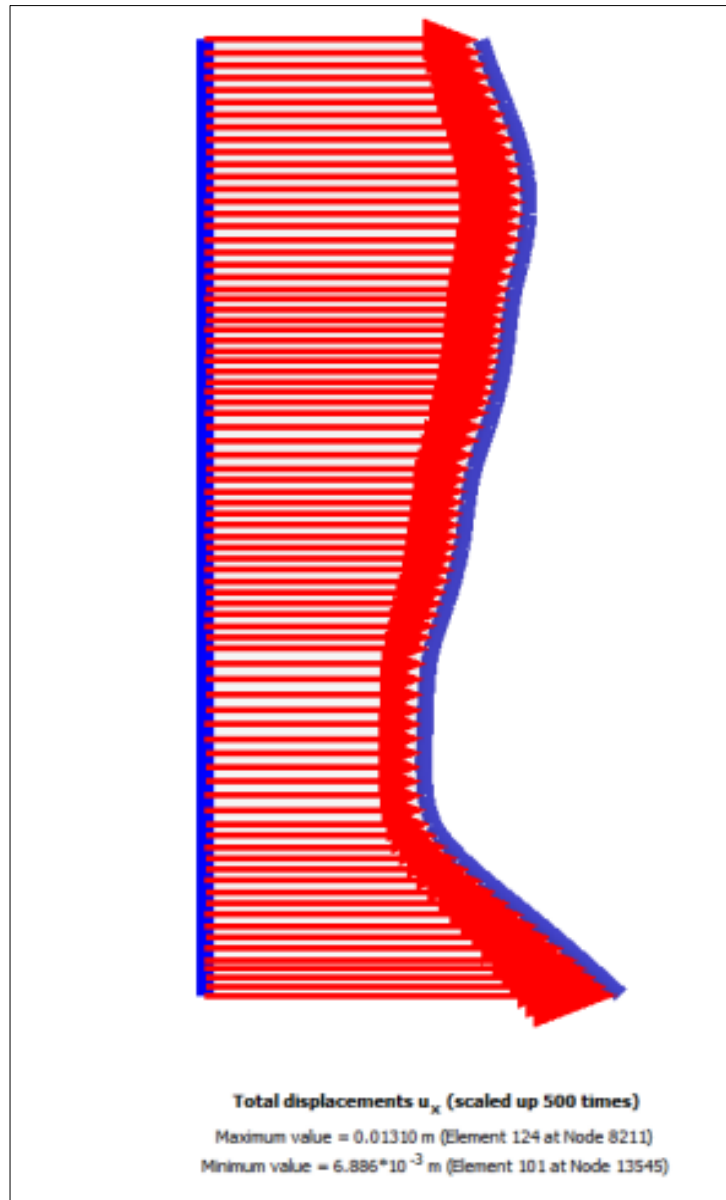


Figura 21 Deformaciones horizontales - Muro estacionamiento

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Marzo 2018

La capacidad de carga axial del pilote calculada analíticamente del pilote arrojó un valor de 389 Tn para una longitud de pilote de 20.0 m. Con está longitud es posible empotar por lo menos 3.0 m en grava por debajo del nivel inferior de cimentación (16.20 m). La memoria de cálculo se adjunta en el anexo.

3.1.4. Proceso constructivo

El proceso constructivo de pilotes excavados para mejoramiento de suelos se realizó en 5 operaciones como consta en la figura siguiente.

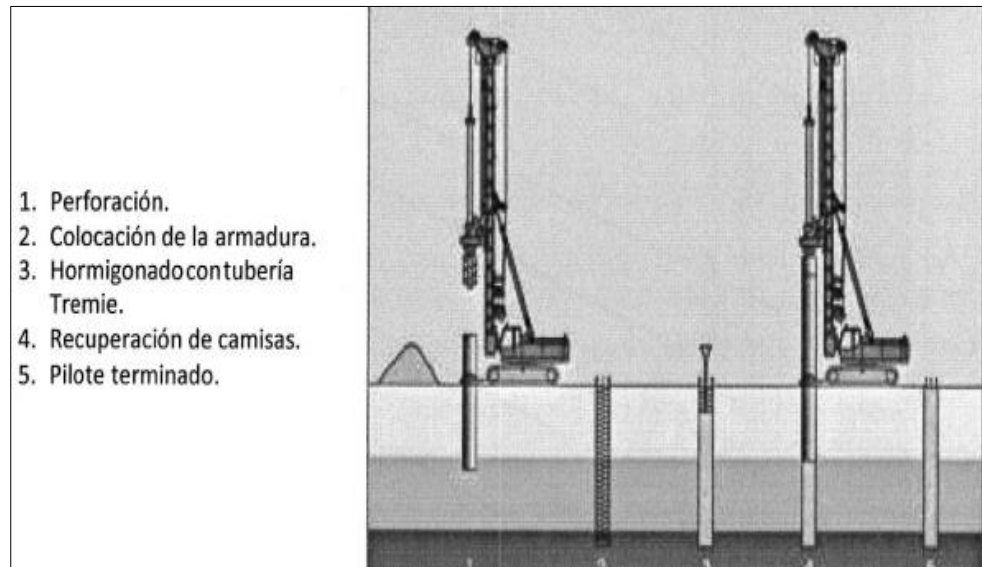


Figura 22 Esquema del proceso constructivo de pilotes excavados

Fuente: BESCO (2021)

Este procedimiento se realizó con un equipo de perforación como el mostrado en la imagen siguiente.

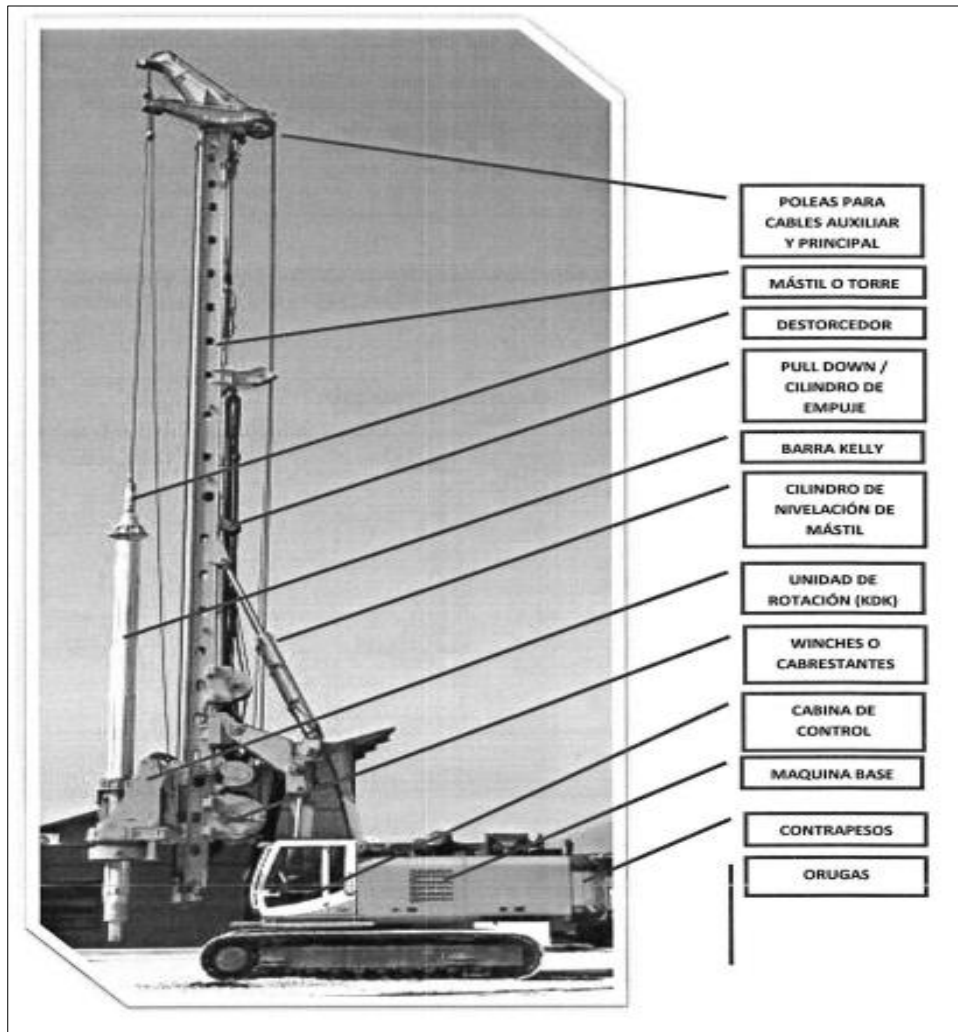


Figura 23 Equipo de perforación para construcción de pilotes excavados

Fuente: BESCO (2021)

La perforación inició una vez verticalizadas las camisas, hincándolas y rotándolas con la KDK o morsa y posteriormente se perforó con la herramienta por dentro de la camisa. Ya perforada la camisa fue necesario verificar la situación de las mismas y su verticalidad en el terreno. La verticalidad y posición de las camisas respecto a las referencias externas se controlaron constantemente durante los primeros 10 m de hinca. Así mismo, la inclinación de las camisas se realizó en cada camisa en dos ejes y de manera referencial empleando el método de goniómetro digital apoyado en el costado de la camisa. Una vez culminada la excavación se registró la excentricidad e inclinación de la última camisa en el formato correspondiente. Una vez culminada la

perforación del empotramiento de pilotes se aseguró la limpieza del fondo cuidando que no quedara sedimentos.

Para la colocación de la armadura previamente se aseguró su correcta reagudización antes del izaje, cuidando que estuviese cerca del radio de acción de la máquina. Así mismo la armadura fue izada con la ayuda de un guinche previendo que se realizara en una zona delimitada por un ángulo de 90° centrado respecto al eje principal de la máquina paralela a las orugas como se muestra en la figura siguiente.

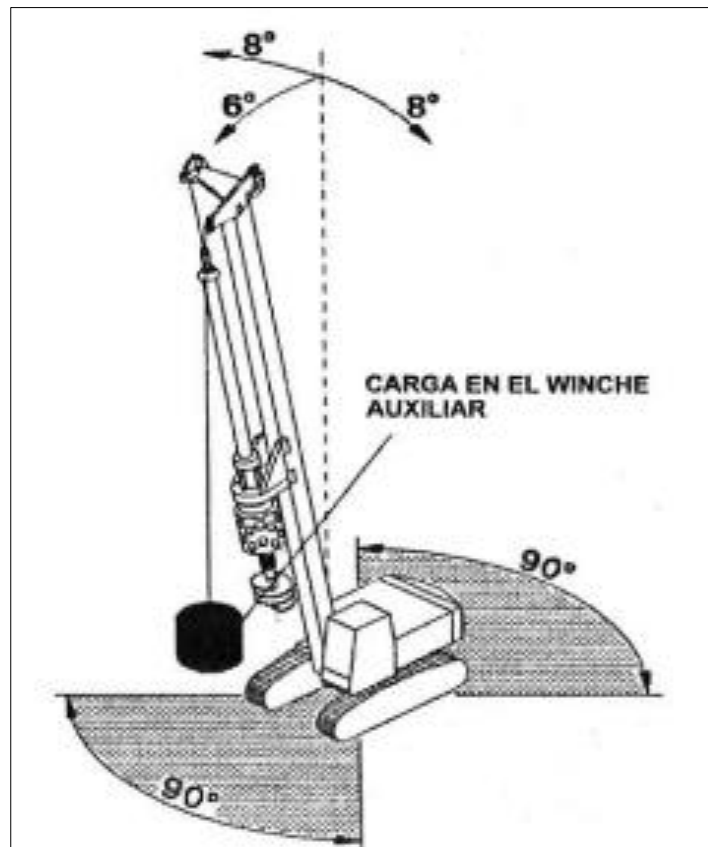


Figura 24 Posición del winche para izaje de armadura

Fuente: BESCO (2021)

En esta operación fue necesario cuidar las medidas de seguridad para proteger la integridad física del personal involucrado, conforme a los establecido en el procedimiento de trabajo seguro para la ejecución de pilotes encamisados por rotación para el proyecto en estudio (Ver anexo).

Para la operación del hormigonado fue necesario previamente cuidar que no existiera arena sedimentada en el fondo, y que esté estuviera totalmente limpio para evitar el levantamiento de la armadura, asegurándose la disposición en obra de dos camiones mixer para garantizar el flujo de hormigón y la calidad final del mismo. Se aseguró que la calidad del hormigón cumpliera el siguiente requisito:

- Asentamiento en Cono Abrams: 18 cm para hormigonado puesto en obra

Durante toda la operación de hormigonado, incluyendo hasta el retiro de la última camisa se aseguró el cumplimiento de los requisitos de la Federal Highway Administration, Drilled Shafts (FHWA -NHI-10-016) y las recomendaciones de la AETESS sobre las características del hormigón a colocar en pantallas y pilotes como se visualiza en la figura siguiente.

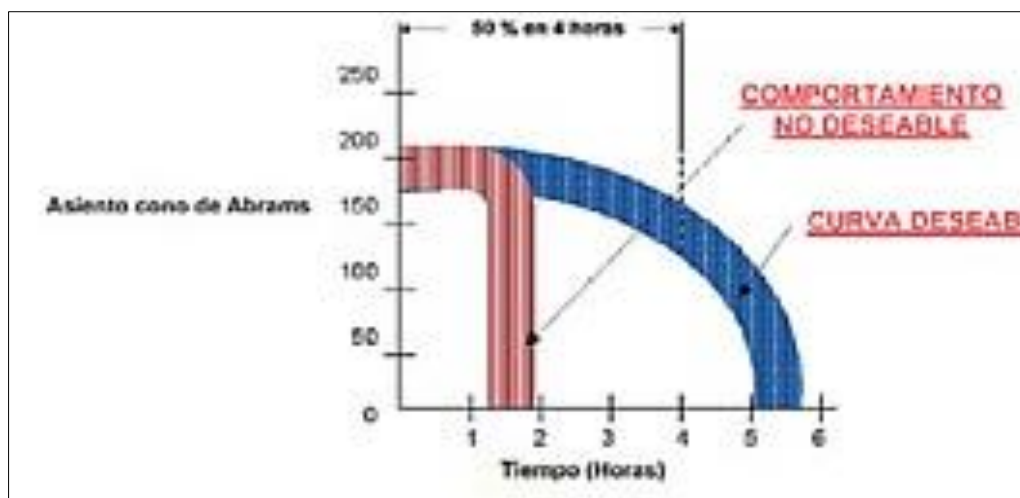


Figura 25 Recomendaciones sobre las características del hormigón a colocar en pantallas y pilotes

Fuente: ATESS (2007)

El hormigonado se realizó a través de un tubo de tremie, con la técnica de hormigonado bajo agua, cuidando siempre que la tubería estuviese en el hormigón asegurándose una longitud mínima de 2.50 m de tubería dentro de la masa de hormigón en todo momento.

La posición del hormigón se midió luego del vaciado de cada camión y antes de la extracción de un tramo de camisa o de tubo tremie, repitiéndose cada vez que se retiró el elemento antes de continuar el hormigonado. Una vez asegurado que el hormigón penetró suficientemente en la tubería de revestimiento, se procedió a la extracción de la misma con la morsa cuidando dejar un tapón de hormigón en la base de una altura no inferior a 2.0 m al momento de retirar el corte de la camisa.

3.2. Descripción de la mejora capacidad portante a través del método de compactación

3.2.1. Descripción de la zona

El área de estudio donde se proyectó la construcción corresponde a la la etapa 5 del proyecto inmobiliario el cual constó de 2 edificios multifamiliares de 20 pisos cada uno y un área construida aproximada de 590 m².

Esta área se ubica de acuerdo al mapa de zonificación sísmica propuesto en la Norma Técnica E030 en la Zona 04, por lo que le corresponde un factor de zona igual a 0.45, lo que indica que como una fracción de la aceleración de la gravedad y es aquella aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10.0% de ser excedida en 50 años.

Así mismo, de acuerdo a la de microzonificación, en el distrito de El Agustino donde se realizó el proyecto, se encuentra en gran parte de su extensión ubicado en la zona Sísmica I de Lima Metropolitana, la cual está conformada por zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación, depósitos de grava y arena de compacidad densa a muy densa, depósitos de limos y arcillas de consistencia rígida a muy rígida; y periodos de vibración ambiental menores a 0.30 s.

Por su parte, de acuerdo al INGEMMET, el distrito donde se realizó la construcción se encuentra en el cuadrángulo 25-j de la Carta Geológica Nacional, la cual está

ubicada sobre un depósito de tipo aluvial conformado por una mezcla heterogénea de cantos y gravas en una matriz arenosa y areno-limosa. Estos cantos provienen de rocas ígneas y volcánicas como la granodiorita y la andesita en el caso de los ríos Rímac y Chillón respectivamente. Asimismo, de acuerdo a los estudios del INGEMMET, el comportamiento geotécnico de este tipo de depósitos depende mucho de la compactación de estos materiales, presentando una mayor compacidad a mayor profundidad, por lo cual advierten que en los depósitos de alta compactación las vibraciones sísmicas se transmiten a la superficie con un grado de amplificación o amortiguamiento sin pérdida de resistencia o deformaciones locales significativas, lo que causa que los efectos sobre las cimentaciones de las estructuras tengan una menor magnitud.

Tabla 13

Perfil estratigráfico de la zona estudiada

Perfil	Descripción
Relleno heterogéneo: Material granular con bolonería y presencia de relleno controlado.	De acuerdo con los ensayos SPT y excavación de calicatas, se presenta una capa de relleno heterogéneo que abarca la totalidad del área del terreno la cual subyace a una losa de concreto armada de espesor 0.15m. Se presenta en la mayoría del área del terreno una capa de hasta 1.0m, seco con presencia de grava y bolonería con tamaño máximo de partículas de hasta 7” pulgadas, englobado en una matriz arenosa de suelo, de color beige, de compacidad medianamente densa, en dicha cobertura se encontró relleno controlado conformado por un material gravoso bien gradado con arena, con color marrón, de compacidad medianamente densa.
Estrato 1: Material fino de consistencia firme a muy firme (CL/CH/ML)	Con base en las observaciones de campo y a los ensayos de clasificación SUCS, se ha encontrado una capa de suelo fino compuesto por limos y arcillas, secos, con presencia de algunas gravillas y consistencia firme a muy firme, como se observa en los planos de corte estratigráficos, la estratigrafía es uniforme por lo cual se observa que el estrato subyace a la capa de relleno heterogéneo hasta llegar a una profundidad de 6.0m. (Ver Plano P-04, P-05 y Plano P-06). Se ha observado material arcilloso predominantemente a lo largo de todo el terreno como se aprecia en los reportes de SPT y los planos realizados en el presente informe, el cual se ha caracterizado como; ligeramente húmedo, de color marrón con tonalidades amarillentas y con golpes del ensayo NSPT entre 7 y 38. Se presenta una cota inferida máxima de 234.00 m y un espesor inferido promedio de 5.0 m
Estrato 2: Material granular de compacidad densa a muy densa (SM/GP/GW)	Este estrato está conformado por gravas pobremente gradadas y bien gradadas predominantemente, con arena, húmedo, de color marrón y compacidad densa a muy densa. Además, se ha encontrado bolonería de un tamaño nominal máximo de 8”. Este estrato subyace al relleno heterogéneo y al estrato 1 e inicia desde una profundidad inferida de 6.0 m. hasta la máxima profundidad de exploración. Con base en las exploraciones directas y los sondajes geofísicos, se presume que llega a profundidades mayores a las alcanzadas en las exploraciones de campo (más de 10.0m desde la superficie del terreno).

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

En cuanto al nivel freático, dadas las características geológicas de la ciudad de Lima y a la profundidad de cimentación del proyecto, se determinó que no habría influencia del NF en la estructura de fundación, por lo que se consideró que el nivel freático no afectará en el diseño de cimentación.

De los perfiles unidimensionales de ondas de corte obtenidos de las exploraciones geofísicas se calculó la velocidad promedio de ondas de corte para los primeros 30.0 m de profundidad del suelo (V_{S30}) y para los 30.0 m por debajo del NPT de la estructura con el propósito de determinar el tipo de perfil sísmico al cual corresponde.

En base a lo anterior, la evaluación estructural de la estructura conforme a lo descrito en norma E.030 se determinaron los siguientes parámetros:

Factor de zona (Z): 0.45 (Zona 04, ver Anexo 1. de la Norma E.030)

- **Tipo de perfil de suelo:** S2
- **Factor de suelo (S):** 1.05
- **Período TP (s):** 0.6
- **Período TL (s):** 2.0

3.2.2. Alternativa de cimentación

De acuerdo al perfil estratigráfico inferido, las dimensiones del área de cimentación y los requerimientos de carga de las torres; en cuanto a la cimentación del terreno, se propuso como alternativa la cimentación superficial, la cual consistió en la eliminación del suelo cohesivo hasta alcanzar el estrato gravoso presente en el área de estudio cuya profundidad promedio es de 6.0 m para ambas torres. Posterior a la eliminación se procedió al reemplazo utilizando un relleno estructural el cual será conformado hasta el nivel de fondo de la platea de cimentación.

Capacidad portante

Este análisis se ha realizado utilizando formulas analíticas de la mecánica de suelos moderna para el cálculo de la capacidad portante las cuales establecieron que la platea de cimentación se cimienta sobre el relleno controlado, de tal manera que trate de representar la solución planteada.

De acuerdo con dichos cálculos, la capacidad portante de la platea de cimentación es la descrita en la siguiente tabla.

Tabla 14

Capacidad de carga admisible y geometría de la cimentación con $DF= 0.40m$

Tipo de cimentación	Ancho de cimentación B(m)	Largo de cimentación L(m)	Qadm (Kg/cm ²)	Qadm (t/m ²)
Platea de cimentación	15.00	30.00	27.57	275.70
	15.00	45.00	27.50	275.02
	15.00	60.00	27.42	274.20
	16.00	30.00	28.42	284.17
	16.00	45.00	28.39	238.85
	16.00	60.00	28.31	283.11
	17.00	30.00	29.23	292.25
	17.00	45.00	29.24	292.38
	17.00	60.00	29.17	291.74
	18.00	30.00	30.00	299.98
	18.00	45.00	30.06	300.62
	18.00	60.00	30.01	300.10
	19.00	30.00	30.73	307.35
	19.00	45.00	30.86	308.60
	19.00	60.00	30.82	308.22

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

Asentamientos

Para estimar los asentamientos producidos por las cargas proyectadas sobre el terreno debido a las cargas proyectadas de la edificación, y a la estratigrafía, se empleó un software de modelamiento numérico. Las propiedades de resistencia asignadas al modelo se obtuvieron de los resultados de laboratorio (Ensayos Triaxial UU), la interpretación de la data geofísica y se resumen en los parámetros del modelo presentados en la figura 26, para lo que se utilizó el modelo constitutivo Mohr Coulomb para la estimación de las deformaciones presentadas en el terreno.





Símbolo	Materiales	Modelo	γ (KN/m ³)	E (KN/m ²)	ν	C (KN/m ²)	ϕ (°)
	Relleno Controlado.	Mohr-Coulomb	21.0	80 000	0.33	5	36
	Mat. Fino Sup.	Mohr-Coulomb	16.0	17 000	0.38	15	25
	Grava Sup.	Mohr-Coulomb	20.5	90 000	0.33	17	39.0
	Grava Prof.	Mohr-Coulomb	22	175 000	0.30	19	39.0

Figura 26 Parámetros elásticos y de resistencia para el modelo numérico

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

En función de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, exploraciones geotécnicas (excavación de calicatas y ensayos SPT), interpretación de los valores de velocidad de ondas compresionales y de corte, valores encontrados en proyectos similares y mediante correlaciones presentes en la bibliografía técnica disponible, se determinaron los parámetros de resistencia y deformación de los suelos de los estratos que conforman el perfil estratigráfico del terreno, como se detalla a continuación.

Tabla 15

Parámetros de resistencia y deformación de los suelos

Descripción	c (kPa)	ϕ	E (kPa)	Y(**) (KN/m ³)
Relleno heterogéneo	10	30	17,000	19.00
Material fino de consistencia firme a muy firme (CL/CH/ML)	15	25	17,000	16.00
Material granular superficial de compacidad densa a muy densa (SM/GP/GW)	17	39	90,000	20.50
Material granular superficial de compacidad densa a muy densa (GP/GW)	19	39	175,000	22.00

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

3.2.3. Modelamiento numérico

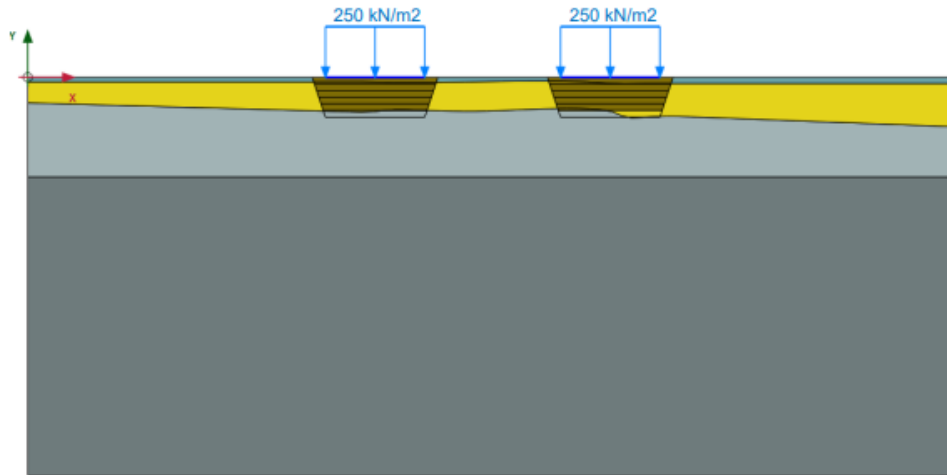
Para el modelo se empleó el perfil estratigráfico obteniéndose valores de deformación vertical máxima de 4.92 cm en el perfil C-C' para una carga estimada de 25 ton/m², cuyos resultados son menores al asentamiento máximo permisible para el tipo de cimentación propuesta según la figura 27.

Descripción	Parámetro	Magnitud	Comentarios
Valores límite para calidad de servicio	ST	25 mm	Cimentación superficial aislada
		50 mm	Losa de cimentación
(European Committee for Standardization, 1994a)	Δ ST	5 mm 10 mm	Marcos con revestimiento rígido Marcos con revestimiento flexible
		20 mm	Marcos abiertos
Máximo aceptable Movimiento de la cimentación	β ST Δ ST	1/500 50 20	Cimentación superficial aislada

Figura 27 Asentamiento máximo tolerable según European Committee for Standardization (1994)

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

Los resultados y gráficos del modelamiento obtenidos fueron los siguientes:







Símbolo	Materiales	Modelo	γ (KN/m ³)	E (KN/m ²)	ν	C (KN/m ²)	ϕ (°)
	Relleno Controlado.	Mohr-Coulomb	21.0	80 000	0.33	5	36
	Mat. Fino Sup.	Mohr-Coulomb	16.0	17 000	0.38	15	25
	Grava Sup.	Mohr-Coulomb	20.5	90 000	0.33	17	39.0
	Grava Prof.	Mohr-Coulomb	22	175 000	0.30	19	39.0

Figura 28 Modelamiento de la sección C-C'

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

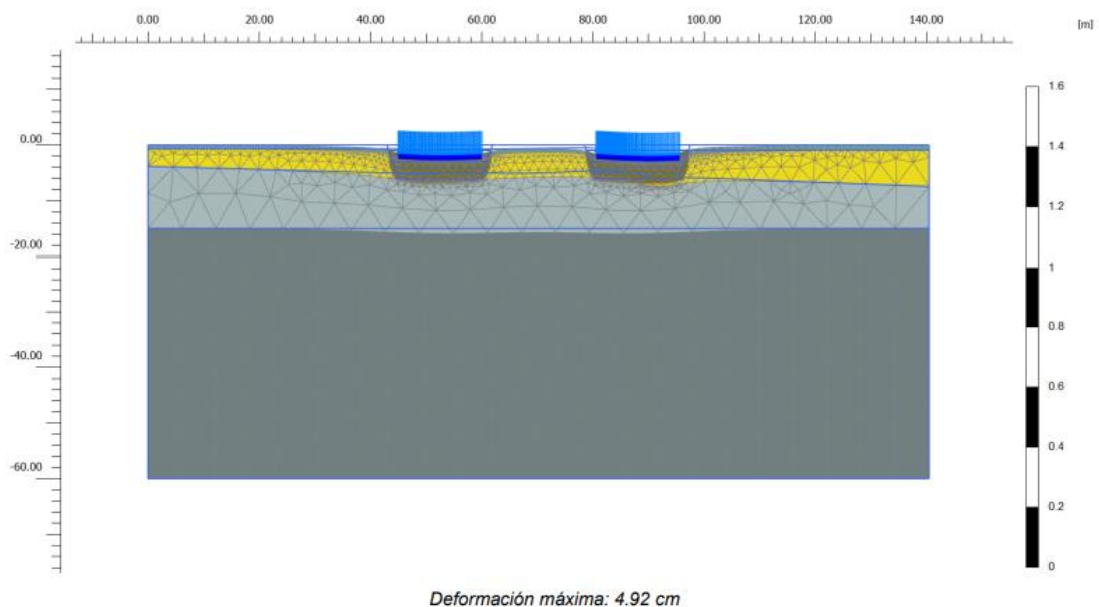
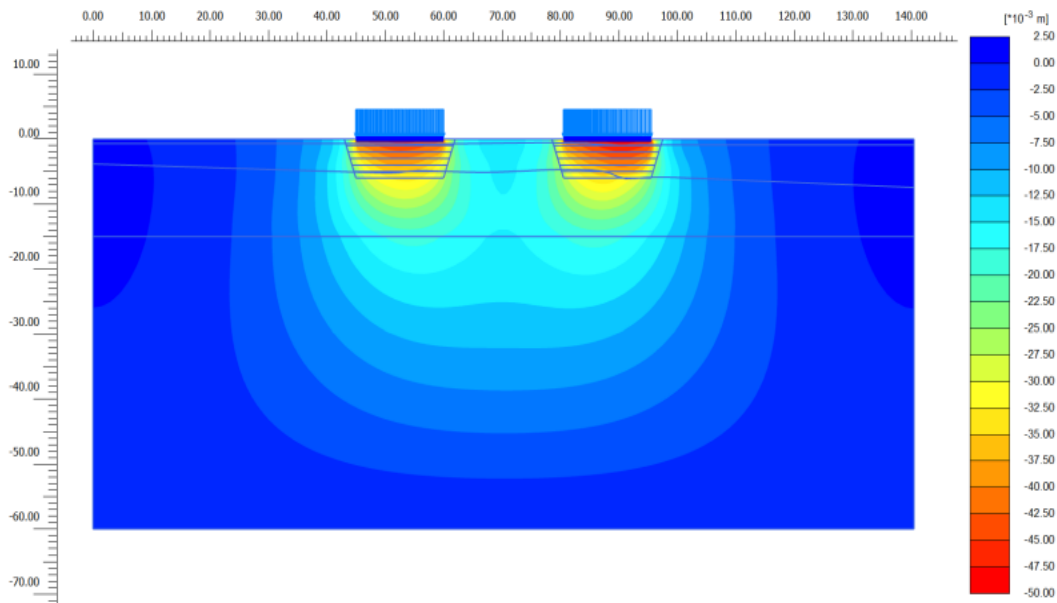


Figura 29 Malla deformada sección C-C'

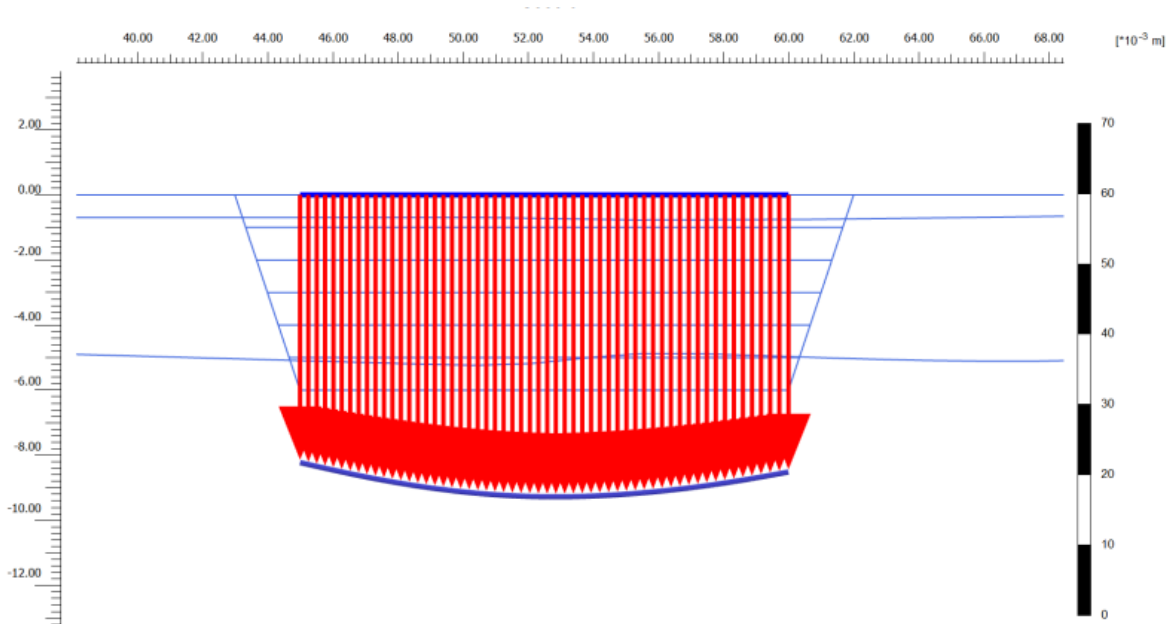
Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021



Deformación vertical máxima: 4.92 cm

Figura 30 Deformaciones verticales sección C-C´

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021



Deformación vertical mínima: 4.11 cm

Deformación vertical máxima: 4.64 cm

Figura 31 Deformaciones verticales a nivel de Losa de Cimentación – Loza Izquierda sección C-C´

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

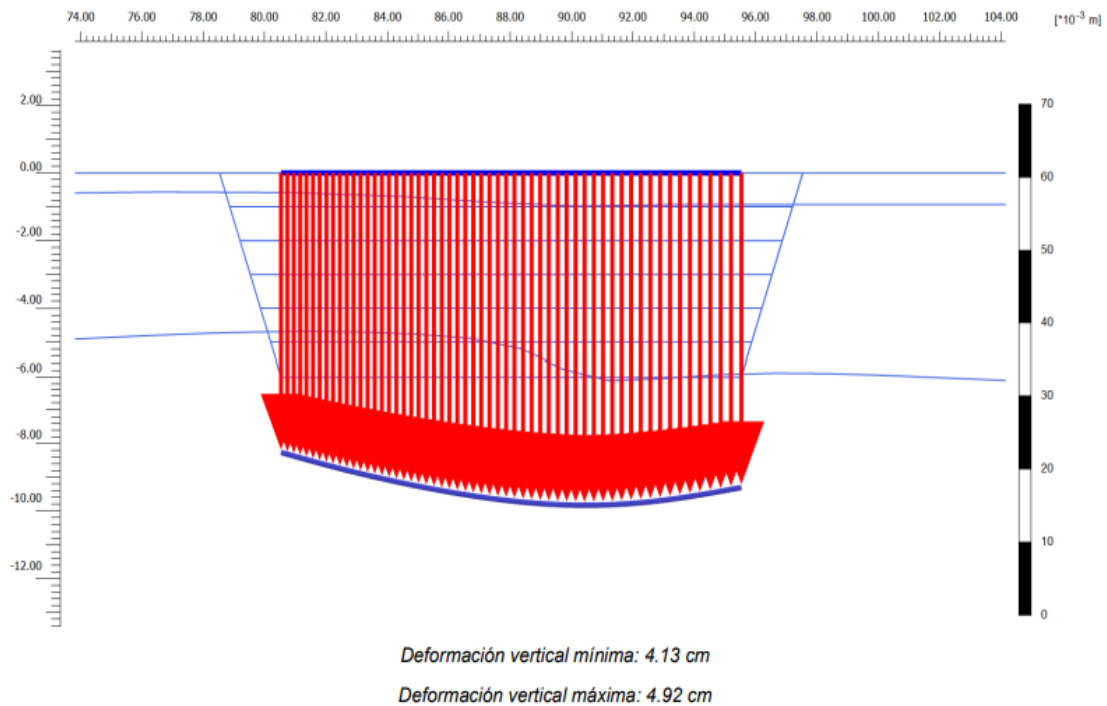


Figura 32 Deformaciones verticales a nivel de Losa de Cimentación – Loza Derecha sección C-C´

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

De acuerdo con el análisis geotécnico de la cimentación desarrollado y considerando la arquitectura del proyecto, la empresa que realizó los ensayo sugirió transmitir las cargas de la estructura al Estrato 2, dado a que posee características mecánicas más competentes respecto a los estratos superiores.

En consecuencia, para la cimentación de las torres proyectadas se consideró el emplazamiento de una platea, la cual consistió en la eliminación del suelo cohesivo hasta alcanzar el estrato gravoso cuya profundidad promedio es de 6.0m. Posterior a la eliminación se procedió al reemplazo utilizando un relleno estructural el cual se conformó hasta el nivel de fondo de la platea de cimentación, obteniéndose para un $D_f=0.40$ m el siguiente rango de capacidad portante admisible.

Tabla 16
Cálculo de los asentamientos

Zona	Tipo de cimentación	Profundidad de Desplante Df (m)	Qadm (Kg/cm ²)	Asentamiento (cm)
Torre 15	Platea de cimentación	0.40	2.50	4.92
Torre 17	Platea de cimentación	0.40	2,5	4.64

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de mecánica de suelos realizado por ZER Geosystem Perú SAC en fecha Setiembre 2021

Para el cálculo de los asentamientos producidos sobre el terreno debido a las cargas proyectadas de la edificación, y a la estratigrafía, con el software de modelamiento numérico se estimaron los asentamientos producidos por las cargas proyectadas, obteniéndose valores de deformación vertical máxima de 4.92 cm en el perfil C-C' para una carga estimada de 25 ton/m², resultados que son menores al asentamiento máximo permisible para el tipo de cimentación propuesta (5.00 cm).

3.2.4. Proceso constructivo

Previo procedimiento de relleno, se tomaron en cuentas las respectivas precauciones de seguridad a fin de prevenir accidentes propios de la naturaleza de la actividad, tales como: charla de inducción, charlas diarias y llenado de ATS con las correspondientes evaluaciones de riesgos; garantizando que el personal involucrado cumpliera con las medidas preventivas pautadas para el proyecto.

Así mismo, fue necesario garantizar la movilidad de los siguientes materiales, equipos y herramientas necesarias para el procedimiento de relleno.

Materiales:

- Material de relleno (afirmado)
- Material asistente en obra (hormigón, arcilla, otros)
- Agua

- Alquitrán
- Plástico manga azul
- Yeso
- Ocre

Equipos y herramientas

- Excavador
- Motoniveladora
- Brazo con cuchara para minicargador
- Volquetes
- Barretas
- Escobas
- Tiralíneas
- Escuadras
- Aparato del cono de arena
- Placa metálica hueca
- Cincel
- Tamiz (3/4")
- Cucharas
- Excavadora con martillo hidráulico
- Minicargador
- Martillo demoledor
- Lampas
- Carretillas buggy
- Martillo carpintero
- Cordel
- Nivel de mano
- Arena de Ottawa
- Brochas
- Martillo
- Horno
- Deposito

De acuerdo con el ensayo IN SITU por el método del cono de arena, fue necesario considerar que el material seleccionado con el que se conformó el relleno controlado para el procedimiento de corte y relleno, cumpliera con los siguientes requisitos:

a) Más de 12% de finos: compactar a una densidad mayor o igual del 90% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141, en

todo su espesor. b) Menor o igual de 12% de finos: compactar a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado, NTP 339.141, en todo su espesor. Si la compactación se realiza con vibro-apisonador, deberá ser en capas de máximo 0.20m.

A nivel del corte final, se requirió verificar la compactación del material conformante para lo cual se realizaron ensayos del cono de arena y contenido de humedad.

Así mismo, se verificó que el afirmado estuviera la cantidad apropiada de material fino cohesivo necesario para mantener aglutinadas las partículas y que cumpliera con las siguientes especificaciones:

- Desgaste Los Ángeles: 50 % máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35 % máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4 - 9 (MTC E 111)
- CBR: 40 % mín. (MTC E 132)
- Equivalente de Arena: 20 % mín. (MTC E 114)

Por otra parte, los controles de compactación a nivel del corte final se realizaron por cada 250 m² de área limpiada, considerando también un mínimo de tres controles por área de superficie expuesta al mismo nivel. En áreas pequeñas (igual o menores a 25 m²) se realizó un ensayo como mínimo, previendo en cualquier de los casos el espesor máximo a controlar de 0.30 m.

Otro aspecto previo a la compactación necesario de considerar fue la etapa de excavación. En esta, se evaluaron las interferencias a partir de planos existentes. Así mismo mediante trazos topográficos se delimitó la excavación según ulteriores trabajos en obra. Por otra parte, se consideró que en la excavación con máquina no se realizara trabajo en paralelo con excavación o perfilado manual con una distancia

mínima de 5 metros. Aunado a ello, los vicios o redes vitales que no se identificaron en planos existentes fueron evaluados. En el procedimiento, todo el material obtenido fue acarreado de la zona del proyecto hacia un lugar de acopio. Además, fue necesario durante la excavación, revisar el nivel de fondo para asegurarse haber llegado a la cota establecida en los planos.

El procedimiento de relleno y compactación se realizó considerando las siguientes actividades:

1. Verificación del material de relleno empleado y de la maquina utilizada
2. Extendido del material con espesos de 25 a 30 cm y con la humedad establecida
3. Compactación de terreno, vigilando una distribución uniforme.
4. Realización de la prueba de densidad por cada capa compactada, determinando la densidad del suelo seco y contenido de humedad del suelo compactado. La prueba de densidad permitió conocer las características del suelo compactado a partir del ensayo realizado en campo, obteniéndose los siguientes resultados.

Como se observa hasta este punto, se describió la experiencia profesional relacionada a los procesos de mejoramiento de la capacidad portante del suelo en las etapa 5, empleando el método de pilotes con un tiempo de ejecución de xx meses, y la etapa 6, empleando el método de compactación con un tiempo de ejecución de xx meses; para la construcción de dos edificios de 20 pisos cada uno en cada etapa.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Mejora de la capacidad portante empleando el método de pilotes

Tal y como se aprecia en la tabla 17, antes de la aplicación del método de pilotes las características del suelo en estudio presentaba una máxima densidad seca de 2.031 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 11.10% y reportó un CBR al 95% de MDS de 5.7% y un CBR al 100% de MDS de 7.4%. Una vez ejecutado el método de pilotes para la mejora de la capacidad portante del suelo, se evidenció una mejora de los parámetros señalados, una máxima densidad seca de 2.307 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 5.60% y reportó un CBR al 95% de MDS de 79.8% y un CBR al 100% de MDS de 128.9%.

Tabla 17

Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de pilotes

Estado	Máxima densidad seca (g/cm ²)	Óptimo contenido de humedad (%)	CBR al 95% de M.D.S.	CBR al 100% de M.D.S.
Antes de la mejora	2.031	11.10%	5.7%	7.4%
Después de la mejora	2.307	5.60%	79.8%	128.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021

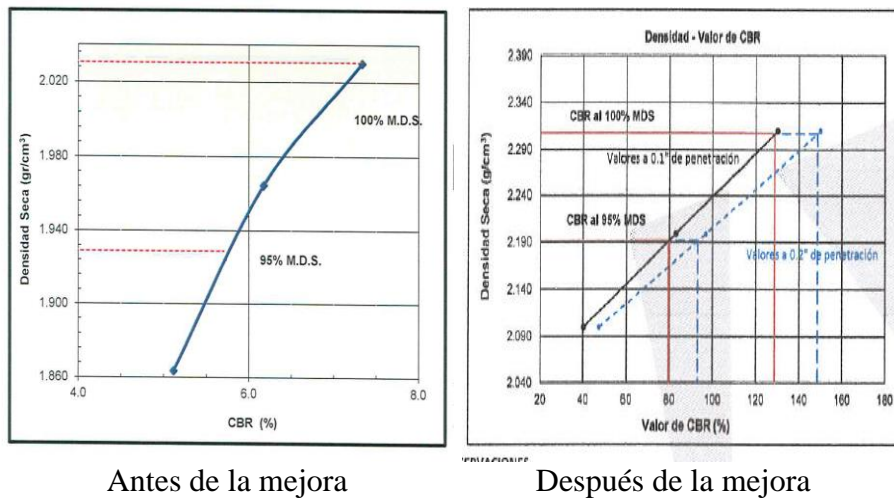


Figura 33 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de pilotes

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021

La figura 34 muestra que la máxima densidad seca del suelo estudiado, paso de 2.031 g/cm² (antes de la mejora) a 2.307 g/cm² (después de la mejora), lo que representó una mejora del 13.59%.

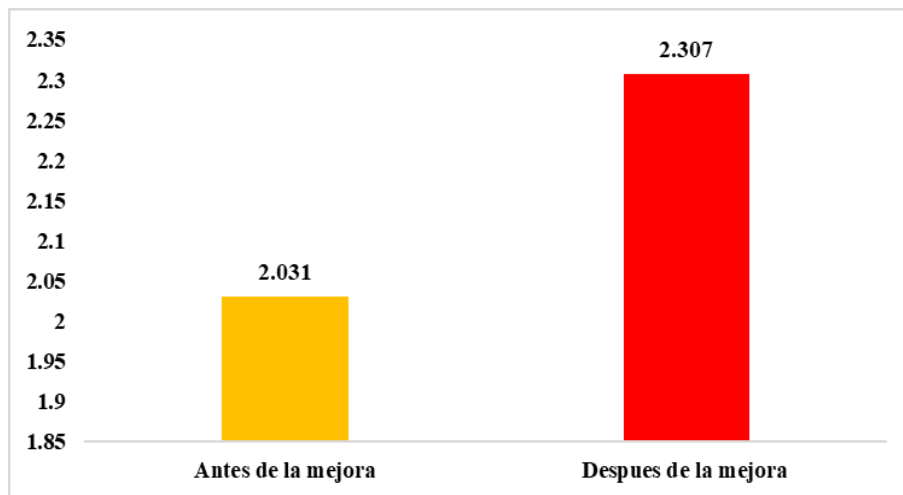


Figura 34 Gráfico comparativo M.D.S antes y después de la mejora con el método de pilotes

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021

La figura 35 muestra que el parámetro óptimo contenido de humedad paso de 11.10% (antes de la mejora) a 5.60% (después de la mejora), lo que representó una mejora del 98.21%.

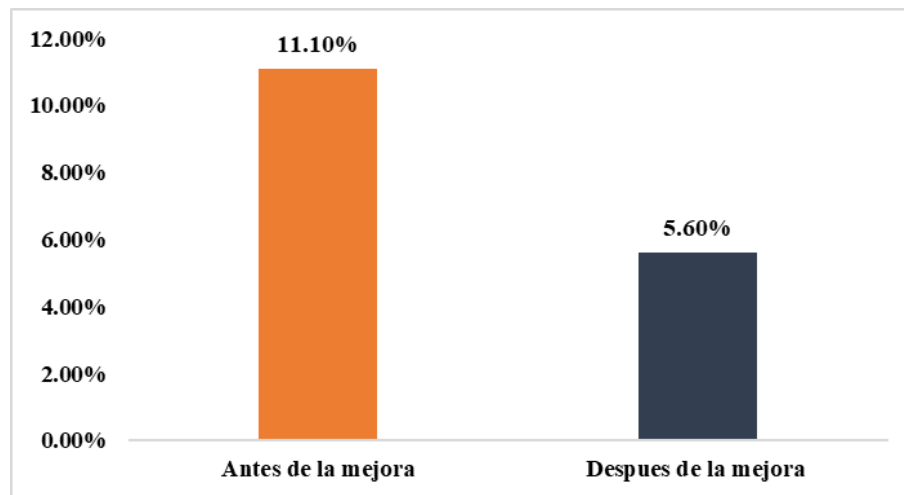


Figura 35 Gráfico comparativo OCH antes y después de la mejora con el método de pilotes

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021

La figura 36 muestra que el CBR al 95% de MDS paso de 5.7% (antes de la mejora) a 79.8% (después de la mejora), así mismo, el CBR al 100% de MDS paso de 7.4% (antes de la mejora) a 128.9% (después de la mejora); en ambos casos, se evidencia la mejora de la capacidad portante en valores significativos, lo que garantiza la construcción de la edificación proyectada.

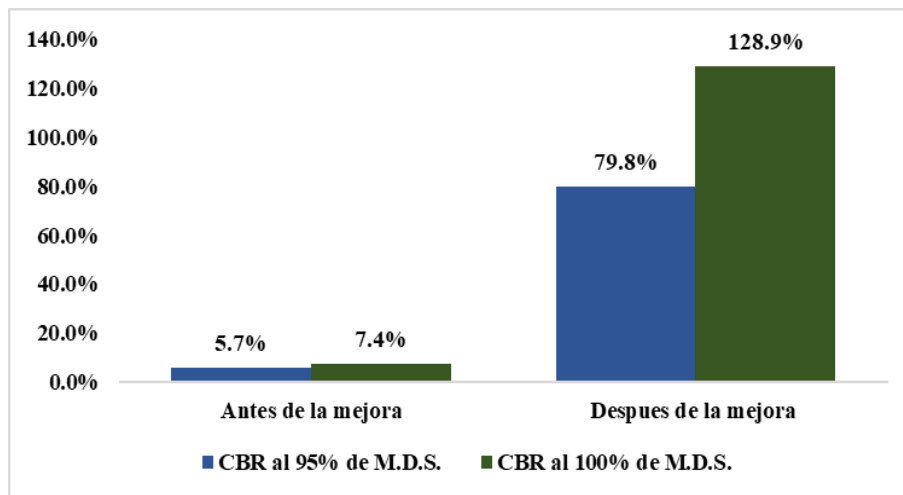


Figura 36 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. antes y después de la mejora con el método de pilotes

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021

4.2. Mejora de la capacidad portante empleando el método de compactación

Tal y como se aprecia en la tabla 18, antes de la aplicación del método de compactación las características del suelo en estudio presentaba una máxima densidad seca de 2.031 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 11.10% y reportó un CBR al 95% de MDS de 5.7% y un CBR al 100% de MDS de 7.4%. Una vez ejecutado el método de compactación para la mejora de la capacidad portante del suelo, se evidenció una mejora de los parámetros señalados, una máxima densidad seca de 2.285 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 5.70% y reportó un CBR al 95% de MDS de 65.1% y un CBR al 100% de MDS de 123.1%.

Tabla 18

Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de compactación

Estado	Máxima densidad seca (g/cm ²)	Óptimo contenido de humedad (%)	CBR al 95% de M.D.S.	CBR al 100% de M.D.S.
Antes de la mejora	2.031	11.10%	5.7%	7.4%
Después de la mejora	2.285	5.70%	65.1%	123.1%

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

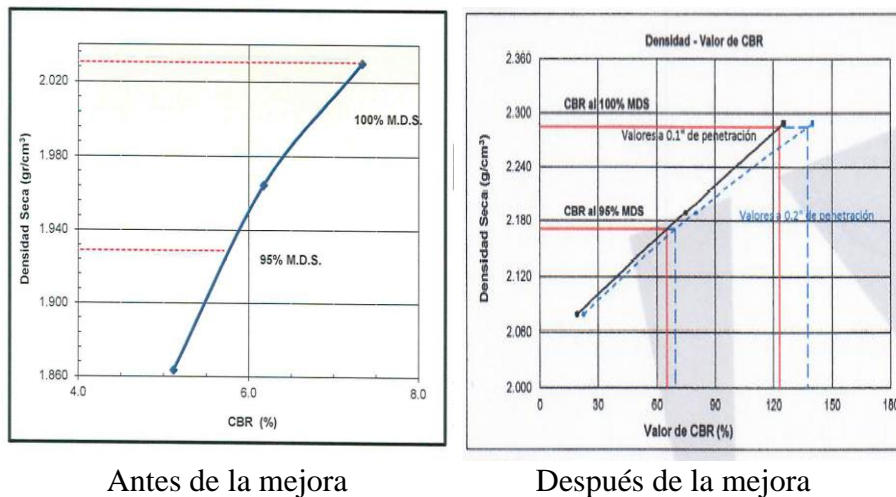


Figura 37 Análisis de capacidad portante del suelo antes y después de la mejora con el método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 38 muestra que la máxima densidad seca del suelo estudiado, paso de 2.031 g/cm² (antes de la mejora) a 2.285 g/cm² (después de la mejora), lo que representó una mejora del 12.51%.

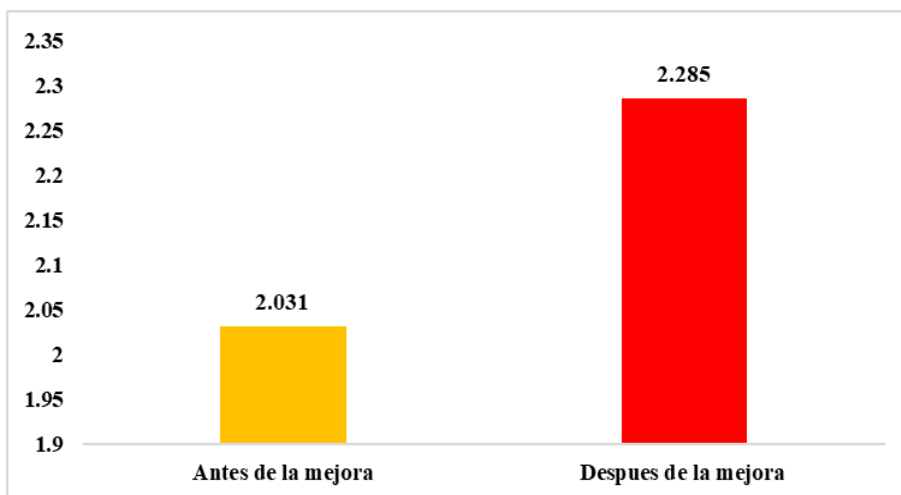


Figura 38 Gráfico comparativo M.D.S antes y después de la mejora con el método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 39 muestra que el parámetro óptimo contenido de humedad paso de 11.10% (antes de la mejora) a 5.70% (después de la mejora), lo que representó una mejora del 94.74%.

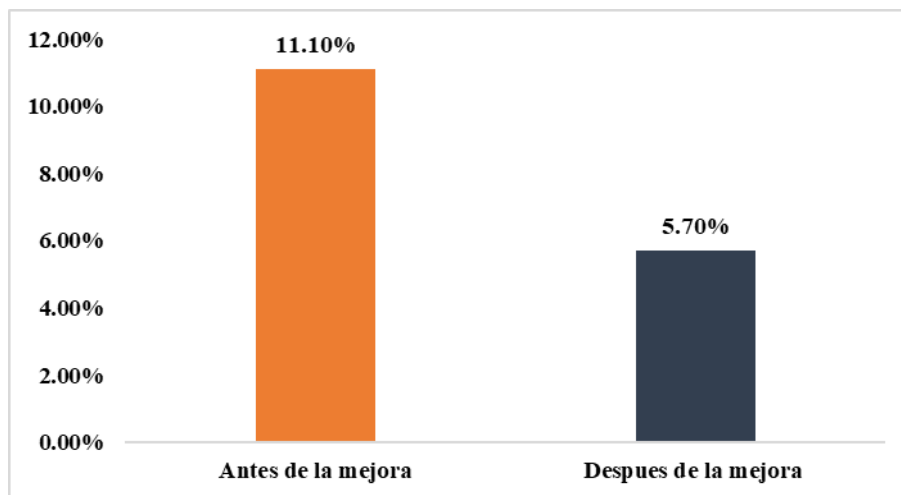


Figura 39 Gráfico comparativo OCH antes y después de la mejora con el método de pilotes

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 40 muestra que el CBR al 95% de MDS paso de 5.7% (antes de la mejora) a 65.1% (después de la mejora), así mismo, el CBR al 100% de MDS paso de 7.4% (antes de la mejora) a 123.1% (después de la mejora); en ambos casos, se evidencia la mejora de la capacidad portante en valores significativos, lo que garantiza la construcción de la edificación proyectada.

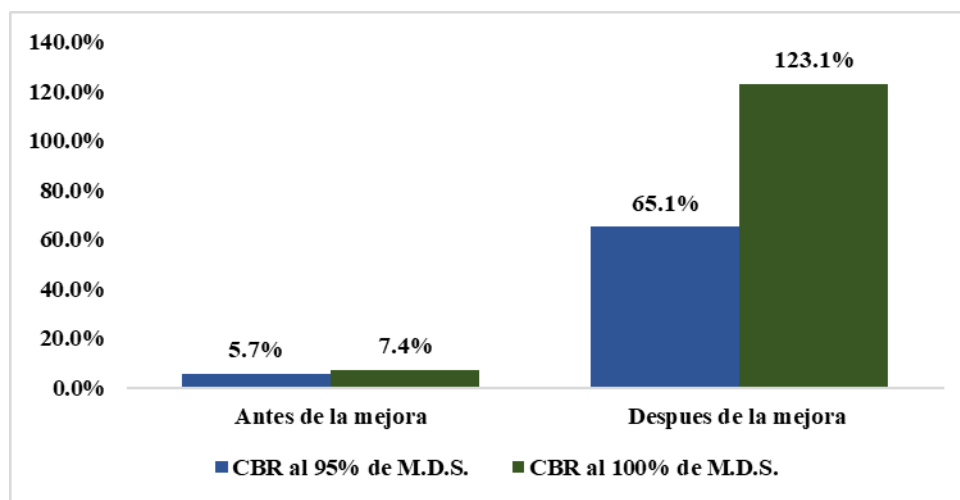


Figura 40 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. antes y después de la mejora con el método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

4.3. Comparación de métodos para la mejora de la capacidad portante

Tal y como se aprecia en la tabla 19 los parámetros estudiados en relación a la capacidad portante del suelo una vez aplicado el método de pilotes, se obtuvieron los siguientes valores máxima densidad seca de 2.307 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 5.60% y reportó un CBR al 95% de MDS de 79.8% y un CBR al 100% de MDS de 128.9%. En cuanto a el empleo del método de compactación, los valores reportados fueron máxima densidad seca de 2.285 g/cm², un óptimo contenido de humedad de 5.70% y reportó un CBR al 95% de MDS de 65.1% y un CBR al 100% de MDS de 123.1%.

Tabla 19

Análisis de capacidad portante del suelo después de la mejora método de pilotes y método de compactación

Estado	Máxima densidad seca (g/cm ²)	Óptimo contenido de humedad (%)	CBR al 95% de M.D.S.	CBR al 100% de M.D.S.
Método de pilotes	2.307	5.60%	79.8%	128.9%
Método de compactación	2.285	5.70%	65.1%	123.1%

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021, y ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 41 muestra que la máxima densidad seca del suelo estudiado después de la mejora reportó con la aplicación del método de pilotes un valor de 2.307 g/cm² y con el método de compactación 2.285 g/cm², lo que permite demostrar que no hay una diferencia significativa entre ambos métodos en relación a este parámetro.

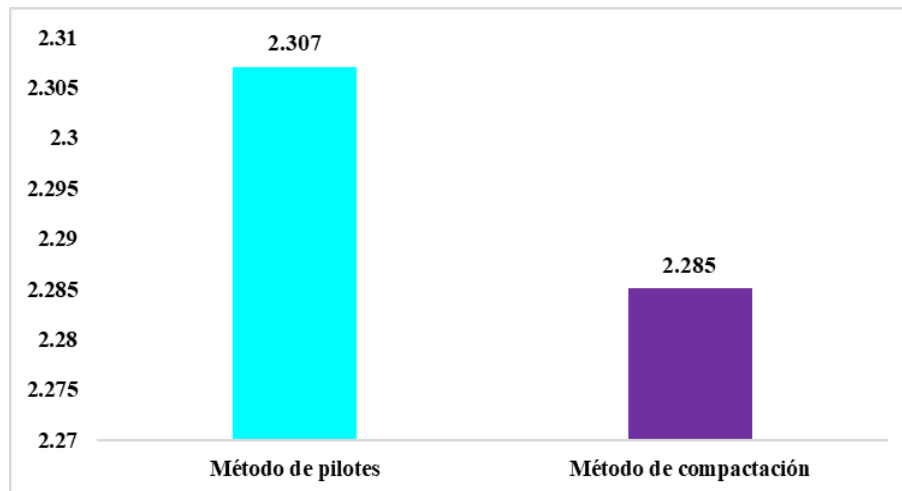


Figura 41 Gráfico comparativo M.D.S después de la mejora método de pilotes y método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021, y ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 42 muestra que el óptimo contenido de humedad del suelo estudiado después de la mejora reportó con la aplicación del método de pilotes un valor de 5.60% y con

el método de compactación 5.70%, lo que permite demostrar que no hay una diferencia significativa entre ambos métodos en relación a este parámetro.

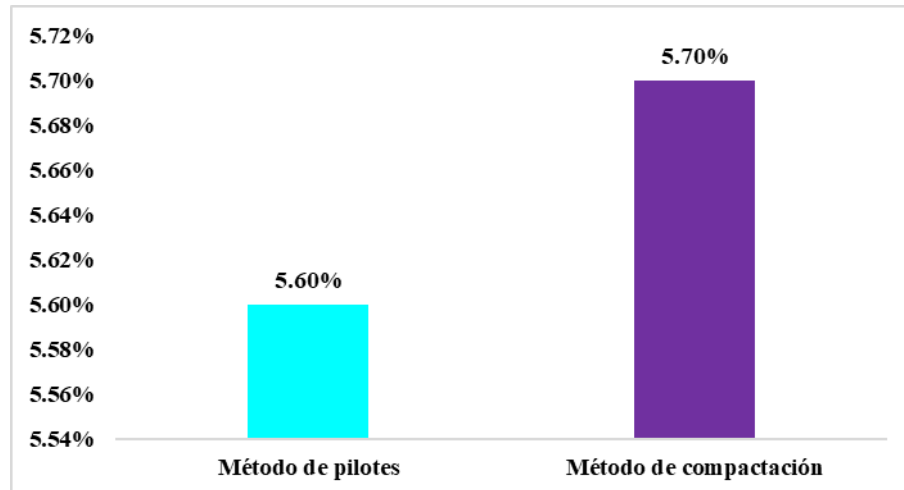


Figura 42 Gráfico comparativo OCH después de la mejora método de pilotes y método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021, y ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

La figura 43 muestra que el CBR al 95% de MDS del suelo estudiado después de la mejora reportó con la aplicación del método de pilotes un valor de 79.8% y con el método de compactación 65.1%, así mismo, el CBR al 100% de MDS del suelo estudiado después de la mejora reportó con la aplicación del método de pilotes un valor de 128.9% y con el método de compactación 123.1%; estos resultados permiten demostrar que existe una diferencia casi significativa entre ambos métodos, ya que el parámetro de mejora establecido por el investigador entre un método y otro es que sea igual o superior al 5%, en este sentido, el método de pilotes reportó una mejora del 22.58% del CBR al 95% de MDS respecto al método de compactación, sin embargo, la diferencia del CBR al 100% de la MDS reportó una mejora del 4.71% del método de pilotes respecto al método de compactación.

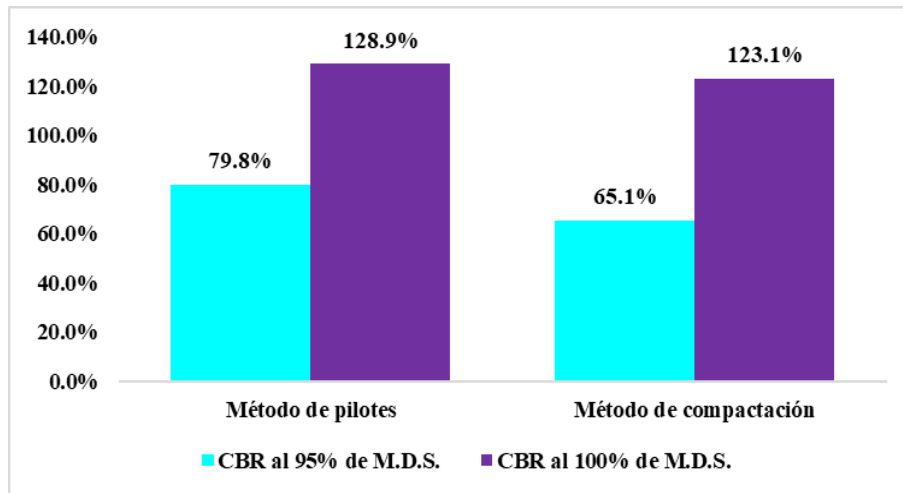


Figura 43 Gráfico comparativo CBR al 95% M.D.S y CBR al 100% M.D.S. después de la mejora método de pilotes y método de compactación

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio de ensayos de laboratorio realizados por GEOFRONTIER Perú SAC en fecha Octubre 2017 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Setiembre 2021, y ensayos de laboratorio realizados por MARJENT ENGINEERING LAB SAC en fecha Marzo 2021 y M&M Laboratorio de suelo y concreto SAC en fecha Mayo 2022

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Se concluye que una vez implementado el método de pilotes se obtuvo una mejora en la máxima densidad seca del suelo del 13.59% (tabla 17 y figura 34), así mismo se evidenció una mejora del óptimo contenido de humedad del 98.21% (tabla 17 y figura 35) y una mejora en la capacidad portante del suelo, obteniéndose un CBR al 95% 79.8% y del CBR al 100% de 128.9% (tabla 17 y figura 36), evidenciándose que este método da resultados positivos e importantes en la cimentación de las edificaciones a ser construidas en dicho suelo mejorado.
2. Se concluye que una vez implementado el método de compactación se obtuvo una mejora en la máxima densidad seca del suelo del 12.51% (tabla 18 y figura 38), así mismo se evidenció una mejora del óptimo contenido de humedad del 94.74% (tabla 18 y figura 39) y una mejora en la capacidad portante del suelo, obteniéndose un CBR al 95% 65.1% y del CBR al 100% de 123.1% (tabla 18 y figura 40) evidenciándose que este método da resultados positivos e importantes en la cimentación de las edificaciones a ser construidas en dicho suelo mejorado.
3. Se concluye que al comparar el resultado de la mejora de la máxima densidad seca del suelo al aplicar ambos métodos, no hay una diferencia significativa entre estos en relación a este parámetro ya que con el empleo del método de pilotes se reportó un valor de 2.307 g/cm² y con el método de compactación 2.285 g/cm² (tabla 19 y figura 41), así mismo, al comparar el resultado de la mejora del óptimo contenido de humedad al aplicar ambos métodos, se evidenció que no hay una diferencia significativa entre estos en relación a este parámetro ya que con el empleo del método de pilotes se reportó un valor de 5.60% y con el método de compactación 5.70% (tabla 19 y figura 42), en lo que respecta a la capacidad portante del suelo se

evidenció que existe una diferencia significativa entre ambos métodos, ya que el parámetro de mejora establecido por el investigador entre un método y otro es que sea igual o superior al 5% y tomando como referencia el margen de error del instrumento de medición empleado por el laboratorio que es de 1%, en este sentido, el método de pilotes reportó una mejora del 22.58% del CBR al 95% de MDS respecto al método de compactación, sin embargo, la diferencia del CBR al 100% de la MDS reportó una mejora del 5.78% del método de pilotes respecto al método de compactación.

4. Finalmente se evidenció que ambos métodos proporcionan una mejora a la capacidad portante del suelo en estudio, pues el método de pilotes CBR al 100% de 128.9% y el método de compactación un CBR al 100% de 123.1%, sin embargo, se evidenció que el método de pilotes da un mejor resultado que el método de compactación, ya que el margen de diferencia manejado en la investigación es que sea igual o superior al 5% y el margen de error del instrumento de medición empleado por el laboratorio que es de 1%, se obtuvo una diferencia del 5.78%.

5.2. Recomendaciones

1. Se sugiere no escatimar costos para realizar estudios de suelos completo debiéndose realizar como mínimo 15 muestras tal y como lo señala la literatura científica, ya que dichos análisis permiten conocer los parámetros geotécnicos necesarios que permite diseñar el proyecto adecuado, a fin de garantizar la seguridad de las construcciones, lo cual incluye el análisis y selección de alternativa para mejoramiento la capacidad portante del suelo; lo cual busca prevenir grandes pérdidas humanas y económicas.
2. Al momento de plantear el uso de ambas metodologías de mejora de la capacidad portante del suelo, se deberá realizar un análisis comparativo, a fin de evaluar la

alternativa de mejoramiento de suelos más equilibradas y ventajosas en función de criterios técnico y económicos y, finalmente compararlas con soluciones tradicionales de cimentación profunda.

3. Se sugiere que, en los análisis de alternativas de mejoras de capacidad portante del suelo, se indague sobre los posibles estados de carga a los que pueda estar expuesta la estructura durante su vida útil; así como también conocer si previamente en el emplazamiento del proyecto se han realizado movimientos de tierra, excavaciones o se construyeron estructuras, y si se da este último caso, conocer cómo estaban fundadas. En el caso de Perú, específicamente, es necesario considerar las características sismológicas para el diseño de las estructuras.
4. Finalmente, se recomienda que, en el análisis de mejoramiento de suelos se incluya un estudio extendido al conjunto de toda la estructura, para conocer el aporte de las técnicas objeto de estudio al diseño de la estructura, lo que permitirá conocer si estas contribuyen al mejoramiento del desempeño de elementos importantes como zapatos, muros y fundiciones.

REFERENCIAS

- Adauto, M., & Ling Cheong, J. (2018). Estudio geotécnico para el diseño de la cimentación de un reservorio de cabecera de 20.000 m³ en el sector 330 Villa María del Triunfo— Lima [Tesis de Pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/4812>
- Aragundi, D., Milagro, L., Delgado, R., & Monserrate, C. (2020). Estudio para determinar la capacidad portante del suelo como parámetro geotécnico, aplicando el ensayo de cono dinámico de penetración (DCP), en los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas. 4(2), 38–46. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i2.2193>
- Arias, L., & Villa, J. (2019). Evaluación de suelos con presencia de nivel freático para cimentaciones superficiales de viviendas unifamiliares en el Centro Poblado de Leticia de la ciudad de Pisco en el 2019 [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3534/Leifhan%20Arias_Jeyko%20Villa_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bautista, D., & Mayorga, E. (2018). Análisis del mejoramiento de suelos empelando el método de columnas de grava [Tesis de Pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana]. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5190/digital_36374.pdf?sequence=1
- Braja, D. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica (4ta ed.). Thomson Editores.
- Braja, D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7maed.). Cengage Learning,

- Calderón, D. (2018). Cimentaciones superficiales capacidad de carga y asentamientos.
<http://www.lem.uni.edu.pe/cecfic/archivos/CAPACIDAD%20DE%20CARGA.pdf>
- Castillo, M. (2017). Estudio de zonificación en base a la determinación de la capacidad portante del suelo en las cimentaciones de las viviendas del casco urbano de la parroquia la matriz del cantón Patate provincia de Tungurahua [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/25755>
- Cerna, J. (2020). Potencial de expansión y capacidad portante del suelo de la carretera del Colcap en la subrasante al adicionar ceniza de cascara de arroz, Colcap, Cáceres del Perú, Ancash-2020 [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
file:///C:/Users/Edwin%20Jose%20Verde/Downloads/Cerna_VJG-SD.pdf
- Construmatica. (2021, junio 7). Rellenos y compactaciones.
<https://www.construmatica.com/blog/rellenos-y-compactaciones/>
- Cotrina, I. (2021). Mejoramiento de la capacidad portante en términos de CBR para suelos estabilizados con cemento en una dosificación de 2% en la Av. Oquendo, Callao, 2019 [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27350>
- Espinoza, C., & Torres, C. (2019). [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma].
https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2928/CIV_T030_46118416-T%20%20%20TORRES%20DELGADO%20CHRISTIAN%20MARTIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garza, L. (2003). Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10. Universidad Nacional de Colombia.
- González, Y., Patiño, J., Álvarez, M., Ortega, D., & Echeverri, Ó. (2018). Cambio en las propiedades geotécnicas de un suelo sometido a ignición en laboratorio. Revista

- Ingenierías Universidad de Medellín, 17(32), 85–107.
<https://doi.org/10.22395/rium.v17n32a5>
- Herrera, J. (2010). Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación de una vivienda unifamiliar.
- INGEMMET. (2021). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
<https://www.gob.pe/ingemmet>
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de suelos. Tomo I (3ra ed.). Limusa.
- León, J. (2018). Mejoramiento de suelos con material de préstamo para reducir la cimentación de viviendas en el Condominio Alcalá de Henares Chíncha – Ica, 2018 [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45488>
- Marín, D., & Becerra, A. (2021). Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia—RIUCaC: Página de inicio [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/>
- Medina, J. (2002). *Análisis comparativo de las teorías de capacidad portante por corte de cimentaciones superficiales*. UNI.
- Nij, J. (2009). Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2015-02-25_11-16-54115908.pdf
- Obando, T. (2009). La ingeniería geológica, el camino para quienes inician una vida profesional aportando soluciones compatibles a las necesidades constructivas y ambientales globales. Geología, Peligros Naturales y Geotecnología.
- Rosetti, R., & Begliardo, H. (2005). Generalidades sobre compactación de suelos. Universidad Tecnológica Nacional.

https://www.academia.edu/8854245/GENERALIDADES_SOBRE_COMPACTACION_DE_SUELOS_I_COMPACTACION_DE_SUELOS_UNIVERSIDAD_TECNOLOGICA_NACIONAL

Terzaghi, K. (1943) *Theoretical soil mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.

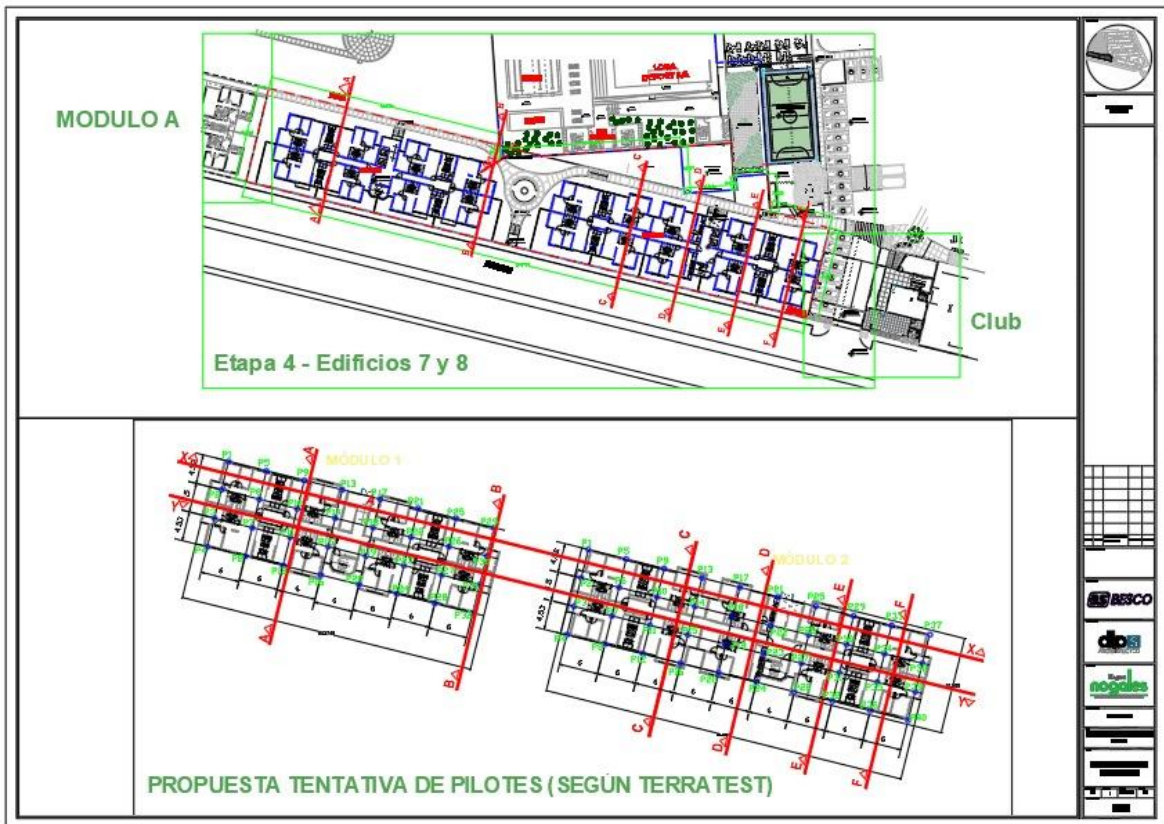
Yepes, V. (2019). Concepto de pilote y clasificaciones.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/17/concepto-de-pilote-y-clasificaciones/>

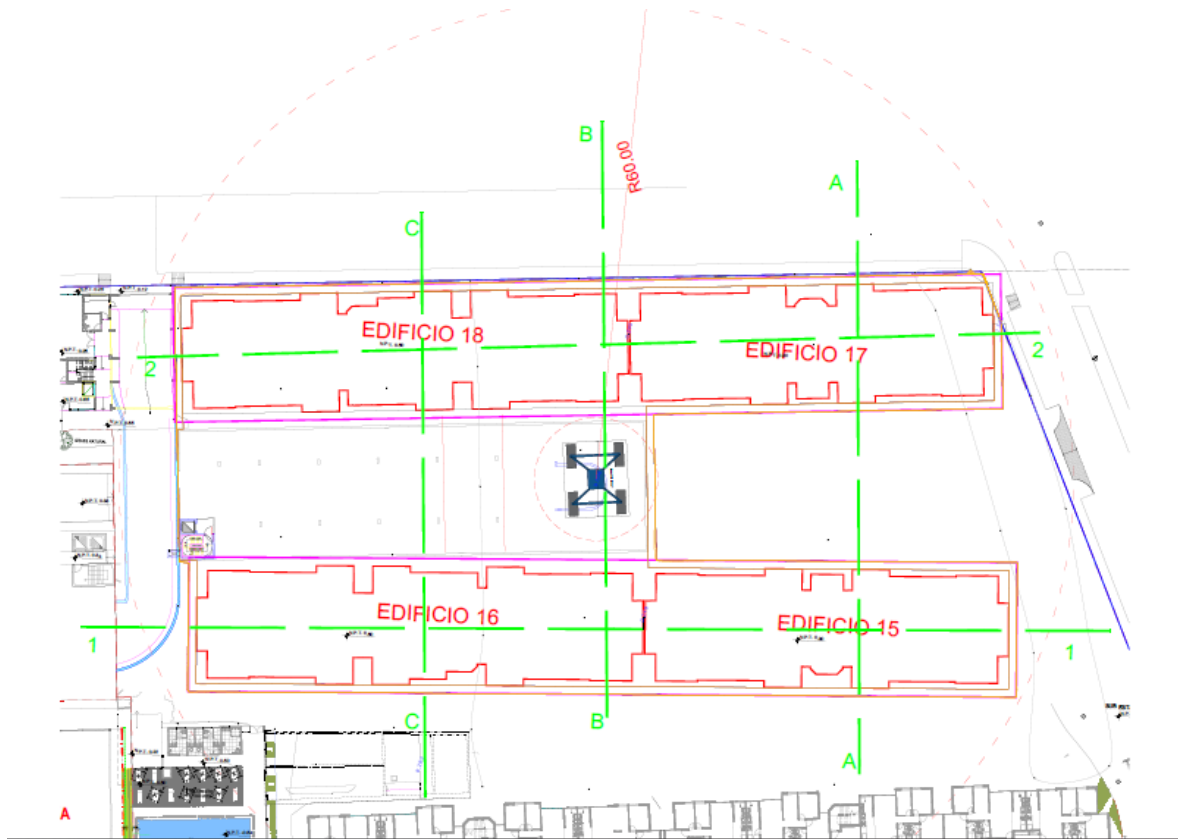
ANEXOS

Anexo 1 Plano de trabajo método de pilotes	98
Anexo 2 Plano de trabajos método de compactación	99
Anexo 3 CBR método de pilotes	100
Anexo 4 CBR método de compactación	101
Anexo 5 Panel fotográfico método de pilotes	102
Anexo 6 Panel fotográfico método de compactación.....	103

Anexo 1: Plano de trabajo método de pilotes




Anexo 2: Plano de trabajo método de compactación



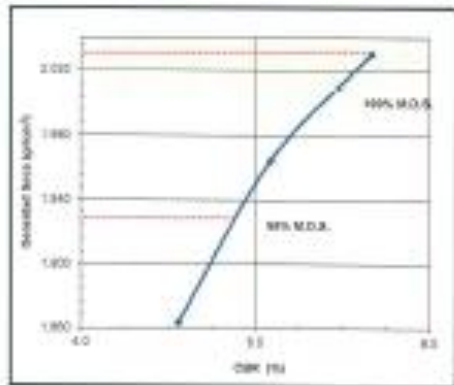
Anexo 3: CBR método de pilotes

CBR Inicial

	REGISTRO	Código : PLA17-028-01
	INFORME DE RESULTADO DEL ENSAYO	Revisión : 4
		Fecha : 27/10/2017
		Página : 2 de 2

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
NTP 539.145 / ASTM D-1583**

Nº De Informe :	L8317-181-128	Fecha de Recupado :	28.11.17
Solicitante :	ZOR Generators Perú SAC	Fecha de Ejecución :	23.12.17
Proyecto :	Estado de Avances de Bases con Pilotes de Cementación para el Definitivo de la Construcción de Viviendas Multifamiliares en el Proyecto Nogales (Etapas 5 y 6)	Fecha de Emisión :	07.12.17
Ubicación :	El Agustino	Clasificación SUCS :	CL
Sondeo :	C-3	Clasificación AASHTO :	A-4(5)
Muestreo :	SI-01		
Profundidad (m) :	1.2		

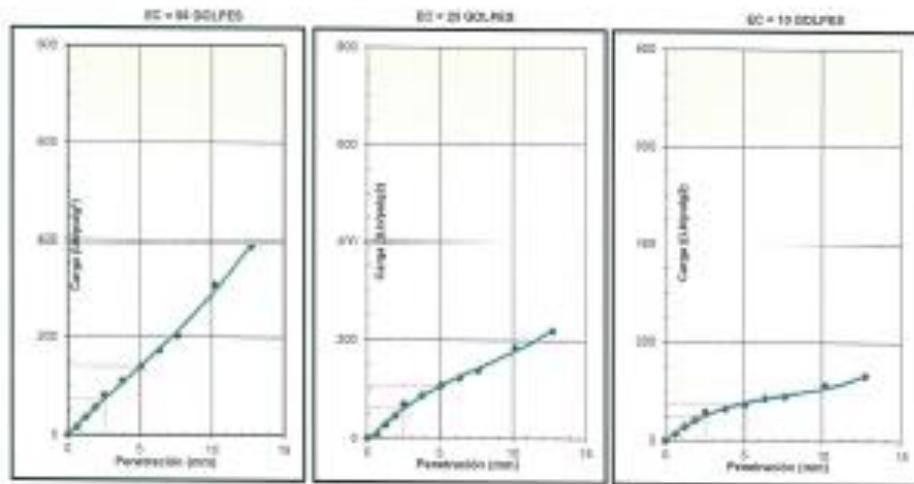


METODO DE COMPACTACION :	A
MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) :	2.221
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) :	11.1
MMS MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) :	1.829

CBR al 100% de M.D.S. (%) :	8.7	7.4
CBR al 95% de M.D.S. (%) :	8.7	8.7

RESULTADOS:
 Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 7.4 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 8.7 (%)

OBSERVACIONES:



Observaciones: -

Elaborado por	Revisado y Aprobado por
Téc. Julio Chávez	Dr. Ing. Zenón Aguilar B. CIP: 049584 Gerente General

CBR Posterior



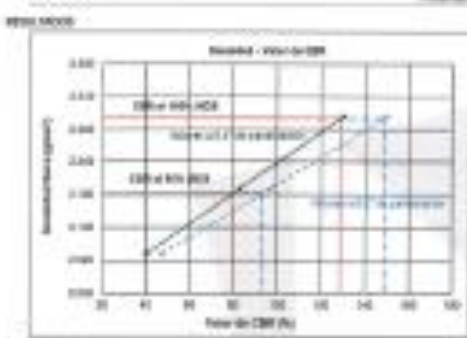
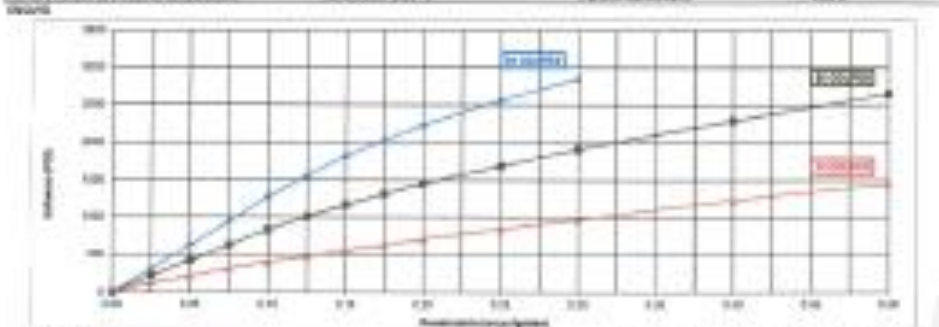
Identificación:	CE20-180-61-CBR
Fecha de Emisión:	24/11/2022

DETALLE DEL SOLICITANTE	DETALLE DEL CLIENTE	DETALLE DEL LABORATORIO
Nombre: MOPCOA	Dir.: JSA	Identificación: 01.0
Subdirector: Ing. Luis Marco Cordero	Gerente: Juan	Industria: -
Proyecto: HOGAR 01	Procedencia: Olaya	Región: -
Proyecto: HOGAR 01	Actividad/Objetivo: 14/10/2022	Tipología: -
Ubicación: SANTA ANITA - LIMA	Presentación: Suelo	Estado: -
	Medida a probar: 100x100x100 mm	Atención/Responsable: Aguirre Motta Victor Hugo
		Administración: M&M
		Fecha de Emisión: 24/11/2022

CBR DE LABORATORIO

Fecha de Emisión:	24/11/2022	Fecha de Emisión:	24/11/2022	Fecha de Emisión:	24/11/2022
-------------------	------------	-------------------	------------	-------------------	------------

Norma y método de ensayo de laboratorio:	ASTM D1557 - 2017	Fracción de humedad:	20.9%
--	-------------------	----------------------	-------



Estado	60 días	90 días	120 días
Resistencia específica (kg/cm²)	1.80	2.10	2.20
Resistencia puntal (kg/cm²)	5.0	5.8	6.0
Resistencia de tracción (kg/cm²)	5.0	7.1	8.0
Resistencia de compresión (kg/cm²)	5.0	30.0	32.0
CBR a 100 días	20.0	25.0	30.0
CBR a 120 días	20.0	28.0	30.0

Valor de CBR a 120 días de exposición:	
CBR a 100 días	20.0
CBR a 120 días	25.0

Observaciones:
La muestra compactada a 95 golpes se presentó adyacente a la muestra de control, lo que se debe a la menor capacidad del perfil de carga.

Nota:
La muestra de suelo es identificada y entregada por el solicitante.

Elaborado por:

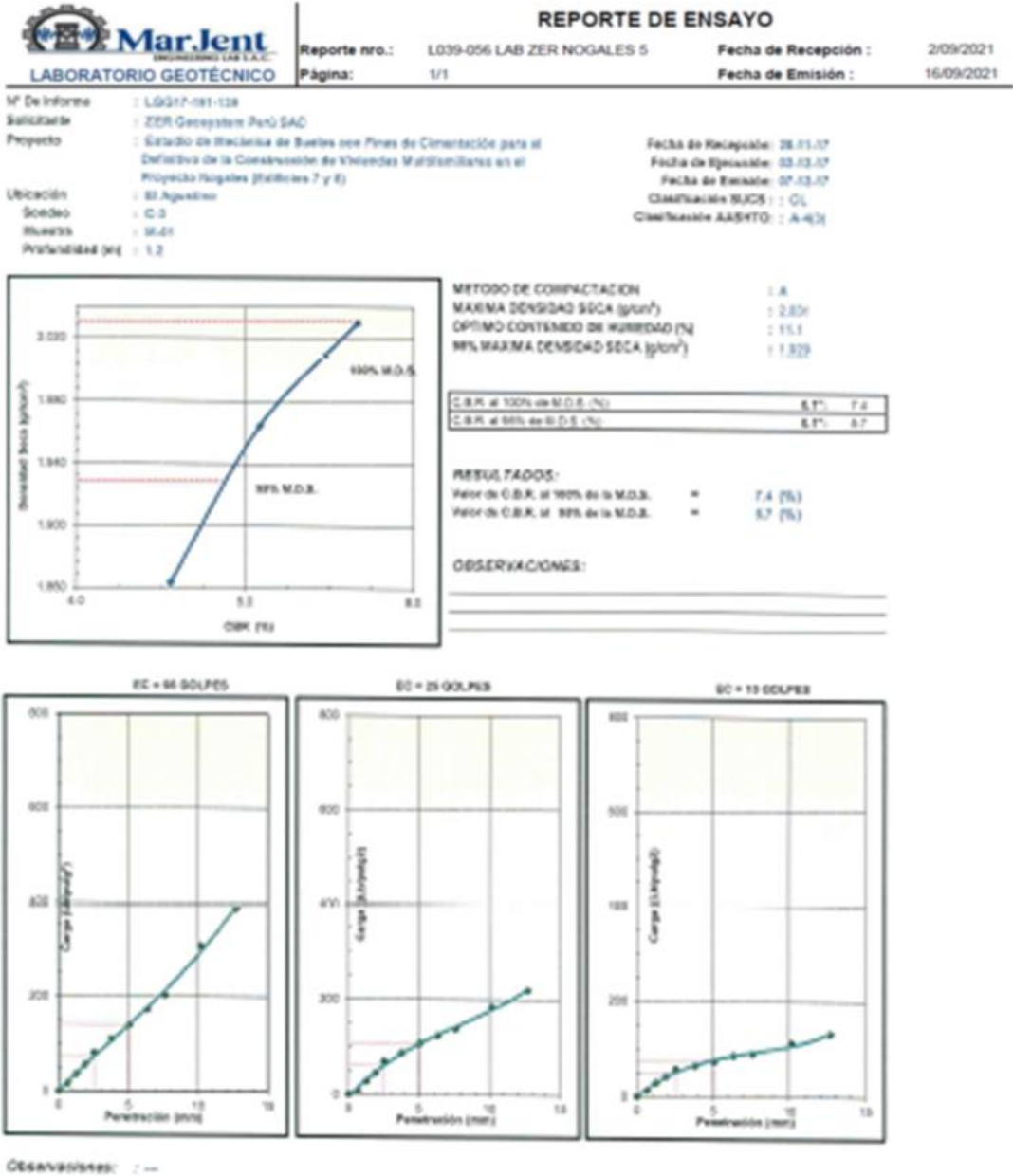
M&M LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO S.A.S.
JURE CAJAL SURQUERO CEBELOS
JEFE TÉCNICO DE LABORATORIO

Aprobado por:

JUAN CARLOS RAMÍREZ CORDERO
INGENIERO CIVIL
Reg. C.T.P. N° 4896

Anexo 4: CBR método de compactación

CBR Inicial



Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Tic. Celina Amaringo	Ing. Abel Reyes D. Jefe de Laboratorio	Dr. Ing. Zenón Aguilar B. CIP 040564

Los resultados solo aplican a las muestras ensayadas. Este reporte no puede ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de MarJent Engineering Lab S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Solicitante está de acuerdo en limitar la responsabilidad de MarJent Engineering Lab S.A.C. de cualquier reclamo por el uso de estos datos. Este informe no es válido sin la firma de los responsables del laboratorio.

MARJENT ENGINEERING LAB S.A.C.
 Av. Tomas Valle N° 1175 San Martín de Porres - Lima
 TELF (011) 642-1650 Teléfono: 967653727 E-Mail: comercial@marjent.pe

CBR Posterior



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO S.A.C.

IMPRESA CON CERTIFICACIÓN
ISO 9001 

IMPRESA N°: 0622-248-01-CBR
Fecha de Emisión: 3/09/2022

DATOS DEL CLIENTE	DATOS DE LA MUESTRA	DATOS DEL MATERIAL
Nombre: SUELOS S.A. Domicilio: Ing. Luis Paredón Huérfano Provincia: AREQUIPA Ubicación: SANTA ANITA - LIMA	Tipo: MAB Material: JARDI Procedimiento: CBR Fecha de recepción: 06/04/2022 Presentación: Sps Muestra recibida: 377.4 kg	Identificación: M-2 Análisis: - Programa: - Coordenadas: - Escala: - Observación del laboratorio: Ingresos 02m Resolución: 001 Fecha de Emisión: 03/09/2022

CBR DE LABORATORIO

Fecha de Emisión: 06/04/2022	Reg. de Emisión: 0 Emisión	Norma utilizada: ASTM D1557-13
OTROS DATOS		
Procedimiento de prueba de laboratorio: ASTM D1557-13 Método B	Problema referenciado: M-17	



Indicador	30 Golpes	20 Golpes	10 Golpes
Comodidad (kg/cm²)	3.389	3.130	2.878
Incremento porcentual	5.8	8.8	8.8
Incremento Mod. kg	4.6	7.1	8.1
Incremento porcentual	8.3	11.1	8.1
Incremento de penetración	125.1	115.8	128.8
Incremento de penetración	140.0	80.1	110.0

Alteza (mm) hasta penetración:	1.340
Grados de penetración de penetración corregido (°):	3.7°

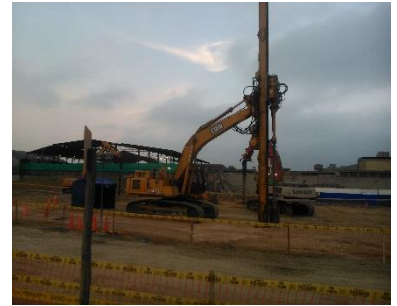
Valor de CBR a 0.1" de penetración	
CBR a 30% agua	125.1
CBR a 19% agua	85.1

Valor de CBR a 0.3" de penetración	
CBR a 30% agua	110.0
CBR a 19% agua	80.1

Observaciones:
Las muestras compactadas a 50 golpes se penetró este hasta 0.4" debido a que se alcanzó la máxima capacidad del anillo de carga.

NOTA:
LIMITECIMA ha sido diseñado y emitido por el sistema.
Revisado por: 
Aprobado por: 
GILMAR NATIVIDAD CAMACHO HUARAYA
INGENIERO CIVIL
Reg. C.I.P. N° 49903

Anexo 5: panel fotográfico método de pilotes



Anexo 6: panel fotográfico método de compactación

