



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA GENERAR PARÁMETROS DE DISEÑO DEL NIVEL DE DESPLANTE DE LA CIMENTACIÓN Y LA CAPACIDAD DE CARGA DEL SUELO; EL ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL SUBSUELO Y LA PROPUESTA DE DISEÑO DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO, PARA UNA EDIFICACIÓN DE DOS PLANTAS EN EL SECTOR DE SANTO DOMINGO, MANAGUA.”.

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Allan Octavio Argüello Figueroa

Br. Donald Antonio Parrales Gutiérrez

Tutor

Ing. Silvia Lindo O'connors

Asesor

Ing. Jaime Icabalceta Mayorga

Managua, Septiembre 2019

DEDICATORIA

Este trabajo, en primer lugar, se lo dedicamos a Dios, por permitirnos disfrutar de un logro más alcanzado en la vida que se nos fue otorgada.

A nuestros Padres que, sin su apoyo y guía incondicional, ningún logro conseguido hasta el momento hubiera podido ser realidad, permitiéndonos gozar de estos nuevos conocimientos que prometemos poner en práctica para el bien común de nuestra carrera, de nuestro país y de todos aquellos quienes habitamos en nuestra hermosa Nicaragua; a fin de poder honrar a nuestra familia con los conocimientos adquiridos, brindándoles el fruto de su esfuerzo y sacrificio, y poder ofrecerles un mañana mejor.

Allan Octavio Argüello Figueroa / Donald Antonio Parrales Gutiérrez

AGRADECIMIENTO

Siempre primero Dios quien, con su maravillosa gracia, amor e infinita misericordia, nos ha permitido culminar este gran logro en nuestras vidas.

A nuestros padres, por el esfuerzo brindado todos estos años de nuestra carrera, mismos que hicieron que hoy en día estemos donde, hasta antes de iniciar nuestra carrera universitaria, no sabíamos que llegaríamos.

A nuestros familiares y amigos quienes, con sus amables y sinceros deseos, cariño y amor, nos brindaron apoyo, ánimos y buenos consejos a lo largo de nuestra carrera. A nuestra tutora, Ing. Silvia Lindo O'connors, quien en esta etapa de titulación fue indispensable para conseguir este objetivo profesional.

Por último, pero nunca menos importante, nuestra infinita gratitud al Ing. Jaime Icabalceta Mayorga, que en paz descanse, por permitirnos desarrollar uno de sus proyectos y dejarnos realizar las pruebas y ensayos en su laboratorio de mecánica de suelos y materiales de construcción; asesorándonos en nuestro proceso de elaboración técnica del documento monográfico. A su vez, extendemos nuestro eterno agradecimiento al Técnico del laboratorio, Eythel Francisco Arias Goussen, quien nos acompañó incondicionalmente en todos los ensayos del laboratorio, permitiendo una mejor comprensión ante las dudas presentadas con respecto a los resultados obtenidos en las pruebas ejecutadas.

Allan Octavio Argüello Figueroa / Donald Antonio Parrales Gutiérrez

RESUMEN EJECUTIVO

Cuando se propone realizar una obra de construcción, la etapa de cimientos es una de las más críticas, debido a que cada decisión acerca del diseño tendrá consecuencias relevantes en el resto de la superestructura. Es por eso que el estudio de suelos debe brindar suficiente información que los ingenieros tomarán en cuenta para comprender el impacto que tendrá la edificación en el suelo y viceversa.

Todo empieza con una inspección inicial del terreno y sus alrededores, en busca de indicios de las características geológicas generales de la localidad. Una vez realizada la inspección y con los planos de la construcción se proceden a ubicar los sitios para exploración del subsuelo y recolección de muestras mediante una sonda, en lugares de interés, identificados como los más críticos en cuanto a diseño o por las características del sitio, a criterio personal.

Con las muestras extraídas de los diferentes estratos del subsuelo se procede a examinar y caracterizar el suelo donde se cimentará el edificio en laboratorios de ambientes controlados y con equipos para el manejo de suelos.

Una vez caracterizado el suelo y con los resultados de la prueba de penetración estándar realizada en el sondeo, es posible estimar la capacidad del suelo de soportar cargas antes de provocar un asentamiento.

Como parte complementaria del estudio de mecánica de suelos se desarrollará el cálculo de las propiedades permeables del suelo, con el fin de diseñar un sistema de drenaje pluvial que infiltre adecuadamente las escorrentías al subsuelo, apoyándonos siempre de los resultados obtenidos en la caracterización de los suelos y la estratigrafía de estos.

Culminando, se realizará una propuesta de diseño de la estructura de pavimento que se podría utilizar en este proyecto. Como parte de la mecánica de suelos, y con ayuda de sondeos manuales, se explicará e inducirá al cliente la mejor opción para su proyecto, manejando los tres factores fundamentales de toda obra: costo de la actividad, tiempo de ejecución de esta y calidad en el trabajo desempeñado.

INDICE DEL DOCUMENTO

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Localización.....	5
1.5.1. Macro localización	5
1.5.2. Micro localización	6
1.6. Marco Teórico	7
1.6.1. Suelo.....	7
1.6.2. Estudio de suelo	7
1.6.3. Parámetros de diseño del nivel de desplante la cimentación y la capacidad de carga del suelo.....	21
1.6.4. Capacidad de absorción del suelo.	27
1.6.5. Propuesta de diseño de espesores de la estructura de pavimento ...	28
CAPÍTULO II: ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO	37
2.1. Recolección de información preliminar.	37
2.2. Visitas técnicas.	37
1.3. Exploración del suelo - Prueba de penetración estándar SPT.	37
1.4. Ubicación y profundidad de los sondeos.....	38
1.5. Procedimiento de campo - Recolección de muestras	40
1.5.1. Prueba de penetración normal SPT (Standard Penetration Test, ASTM D 1586).....	40
1.5.2. Capacidad de infiltración de los suelos.....	48
1.5.3. Sondeos manuales.	50
1.6. Determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo	51
CAPÍTULO III: PARÁMETROS DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	57
3.1. Cálculo de capacidad de carga ultima del suelo	57

3.2. Mejoramiento de suelos para fundaciones.....	61
3.2.1. Alternativa N°1 - Mejoramiento físico/mecánico.....	61
3.2.2. Alternativa N°2 - Mejoramiento químico.....	62
CAPÍTULO IV: CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO.....	63
4.1. Estratigrafía del suelo.....	63
4.1.1. Propiedades físico mecánicas del suelo.....	63
4.2. Permeabilidad hidráulica de los suelos.....	64
4.2.1. Método de carga constante de LeFranc.....	64
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO DE ESPESORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	69
5.1. Estratigrafía del suelo.....	69
5.2. Propiedades físico mecánicas del suelo.....	69
5.3. Criterios de diseño según el método Murillo López de Souza.....	70
5.4. Diseño de espesores de pavimento.....	72
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78

INDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Mapa de ubicación de Managua, capital de Nicaragua	5
Ilustración 2: Mapa de ubicación de Jardines de Santo Domingo, Managua.	6
Ilustración 3: Clasificación de suelos, sistema AASHTO M-145.....	16
Ilustración 4: Sistema de Clasificación de suelos SUCS, ASTM D 2487-93	17
Ilustración 5: Tipos de cimentaciones superficiales.....	22
Ilustración 6: Tipos de zapata aislada	22
Ilustración 7: Tipos de zapata aislada	23
Ilustración 8: Mecanismos de falla generalizada de Terzaghi.	24
Ilustración 9: Parámetros de carga constante.	27
Ilustración 10: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 4 toneladas.....	34
Ilustración 11: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 5 toneladas.....	35
Ilustración 12: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 6 toneladas.....	36
Ilustración 13: Relaciones entre Número de golpes y capacidad de carga admisible para suelos finos.	60
Ilustración 14: Relaciones entre Número de golpes y capacidad de carga admisible para suelos arenosos.	60
Ilustración 15: Coeficiente de permeabilidad según el drenaje característico de los suelos	68

INDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Cálculo del contenido de humedad.....	9
Ecuación 2: Cálculo del % retenido parcial que retiene el tamiz N°4.	10
Ecuación 3: Cálculo del % retenido acumulado que retiene el tamiz N°4.	11
Ecuación 4: Cálculo del % que pasa por cada tamiz que retiene el tamiz N°4... ..	11
Ecuación 5: Cálculo del % retenido parcial que pasa el tamiz N°4.	12
Ecuación 6: Cálculo del % retenido acumulado que pasa el tamiz N°4.....	12
Ecuación 7: Cálculo del % que pasa por cada tamiz que pasa el tamiz N°4.	12
Ecuación 8: Cálculo del Índice de Plasticidad del suelo.	15
Ecuación 9: Cálculo del Peso volumétrico seco suelto del suelo.	18
Ecuación 10: Cálculo del Peso volumétrico seco suelto del suelo.	18
Ecuación 11: Cálculo del peso volumétrico húmedo del Proctor Estándar.....	19
Ecuación 12: Cálculo del peso volumétrico seco del Proctor Estándar.	19
Ecuación 13: Cálculo del peso volumétrico seco del Proctor Estándar.	20
Ecuación 14: Cálculo de carga última Terzaghi modificada.	25
Ecuación 15: Cálculo de carga última en zapatas cuadradas.	25
Ecuación 16: Cálculo carga admisible, Terzaghi y Peck	26
Ecuación 17: Coeficiente de permeabilidad.	28

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Relación IS vs CBR.....	31
Tabla 2: Densidad Media Anual de Lluvia.....	33
Tabla 3: Parámetros de determinación de profundidad de perforación en muestreo de suelos.....	40
Tabla 4: Parámetros de determinación de espaciamiento entre perforaciones en muestreos de suelos.....	40
Tabla 5: Resultados prueba de penetración estándar N°1.....	42
Tabla 6: Resultados prueba de penetración estándar N°2.....	43
Tabla 7: Resultados prueba de penetración estándar N°3.....	44
Tabla 8: Resultados prueba de penetración estándar N°4.....	45
Tabla 9: Resultados prueba de penetración estándar N°5.....	46
Tabla 10: Resultados prueba de penetración estándar N°6.....	47
Tabla 11: Resultados prueba de penetración estándar N°7.....	48
Tabla 12: Resultados prueba de penetración estándar PI-1.....	50
Tabla 13: Resultados prueba de penetración estándar PI-2.....	51
Tabla 14: Resultados sondeo manual N°1.....	52
Tabla 15: Resultados sondeo manual N°2.....	52
Tabla N°16: Resultados de ensayos de suelos - SPT 1.....	53
Tabla N°17: Resultados de ensayos de suelos - SPT 2.....	53
Tabla N°18: Resultados de ensayos de suelos - SPT 3.....	54
Tabla N°19: Resultados de ensayos de suelos - SPT 4.....	54
Tabla N°20: Resultados de ensayos de suelos - SPT 5.....	54
Tabla N°21: Resultados de ensayos de suelos - SPT 6.....	55
Tabla N°22: Resultados de ensayos de suelos - SPT 7.....	55
Tabla N°23: Resultados de ensayos de suelos - PI 1.....	56
Tabla N°24: Resultados de ensayos de suelos - PI 2.....	56
Tabla N°25: Resultados de ensayos de suelos - SM 1.....	57
Tabla N°26: Resultados de ensayos de suelos - SM 2.....	57
Tabla N°27: Factor de corrección N.....	59
Tabla N°28: Características de los suelos ubicados a 1.5m de profundidad según	

sondeos SPT.....	59
Tabla N°29: Resultados de capacidad de carga admisible.....	60
Tabla N°30: Resultados prueba de infiltración, PI -1.....	66
Tabla N°31: Coeficiente de Permeabilidad, PI – 1.....	66
Tabla N°32: Resultados prueba de infiltración, PI - 2.....	67
Tabla N°33: Coeficiente de permeabilidad, PI – 2.....	68
Tabla N°34: Resultados Coeficiente de permeabilidad, PI - 1 y PI - 2.....	68
Tabla N°35: Resultados de ensayos de suelos - Material del sitio.....	72
Tabla N°36: Resultados de ensayos de suelos - Material de banco Pista Sub Urbana.....	72
Tabla N°37: Resultados de ensayos de suelos - Material de mezcla 60% sitio / 40% banco.....	72

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción.

En el siguiente documento observará un estudio de suelos para una obra de construcción en la urbanización “Altos de Santo Domingo”, ubicada a 2.5km al Sur de la Iglesia de Santo Domingo, en la ciudad de Managua, como se detalla en la figura 1 y 2. La etapa de cimientos es una de las más críticas, así mismo el drenaje del proyecto, debido a que cada decisión acerca del diseño tendrá consecuencias relevantes en el resto de la infraestructura; de igual manera, los estudios para una adecuada estructura de pavimento, para satisfacer las necesidades del cliente. Es por eso que el estudio de mecánica de suelos debe brindar suficiente información que los ingenieros tomarán en cuenta para comprender el impacto que tendrá la edificación en el suelo y viceversa.

Derivado de las visitas a la obra y con los planos del proyecto de construcción, se ubicó los sondeos, mediante métodos a percusión (Standard Penetration Test – SPT. ASTM D 1586) y manuales, obteniendo muestras del subsuelo, en lugares de interés. Existen técnicas para ubicar los sondeos, mismas que fueron empleadas en conjunto con la experiencia del ingeniero a cargo, determinando la cantidad y ubicación exacta de estos. Es importante mencionar que, para los estudios de absorción, se empleó el método de carga constante de LeFranc (ASTM D 2434) y la propuesta de diseño de espesor de pavimento se llevó a cabo bajo el método empírico para tránsito medio - Murillo López de Souza.

Con las muestras alteradas de los diferentes estratos del subsuelo se procedió a examinar y caracterizar el suelo donde se cimentará y drenarán las aguas del edificio, así como donde transitarán los vehículos. Los análisis se realizaron basados en procedimientos estandarizados y bajo normativas establecidas para el estudio de suelos. Una vez obtenidos los resultados de los sondeos de penetración estándar y manuales, también las pruebas In Situ de infiltración, fue posible estimar el nivel de desplante de la cimentación, la capacidad de carga de

los suelos, los parámetros de diseño de la Permeabilidad de los suelos y la propuesta de diseño de los espesores de pavimento.

1.2. Antecedentes.

Es el siglo XXI y aunque la mecánica de suelos no ha tenido grandes avances en cuanto a sus principios y su metodología, desde que Terzaghi planteó sus fórmulas sobre capacidad de carga, los avances tecnológicos han modernizado los laboratorios donde se examinan las muestras de suelos. Los equipos computarizados han traído consigo resultados inmediatos y de mucha fidelidad y que permiten a los ingenieros realizar cálculos con mayor seguridad e información de la que se contaba hace 40 o 50 años.

Desde la antigüedad, el suelo ha sido utilizado por la humanidad como material de construcción, sin embargo, en términos de verdadera ingeniería, la comprensión de Ingeniería Geotécnica, como hoy es conocida, nace a comienzos del siglo XVIII, cuando la física y las matemáticas habían alcanzado un importante desarrollo y permitían conceptualizar modelos físicos.

La necesidad de analizar el comportamiento de los suelos surgió como resultado de accidentes espectaculares, causados por deslizamientos de tierra y fallas de cimentaciones. Varios problemas de ingeniería de fundaciones llevaron a los ingenieros de la época y sus sucesores a enfocarse en una base más científica para examinar el subsuelo, como el caso de la “Torre inclinada de Pisa”.

En la actualidad el rubro de la construcción está experimentando un auge en Nicaragua, debido a un adecuado momento económico del estado y a los inversionistas privados (locales y extranjeros), están desarrollando importantes proyectos en Managua y varios departamentos del país.

Según han ido evolucionando los mecanismos de construcción a nivel mundial, en Nicaragua, las diferentes empresas nacionales y extranjeras, así como las organizaciones nacionales, departamentales y municipales, se han encargado de aumentar considerablemente, la calidad y exigencias de sus obras locales. En Nicaragua, muchas empresas se dedican al negocio de ofrecer servicios

especializados de estudios geotécnicos, examinación y consultoría en el ámbito de la mecánica de suelos; mejorando de esta manera, la calidad en la ingeniería y edificaciones que actualmente forman parte del desarrollo de nuestro país.

Actualmente el sitio de estudio se encuentra en condiciones inalteradas, bastante accidentado y con mucha vegetación, tal y como lo reflejan las fotografías (ver Anexo I) y el levantamiento topográfico original (ver Anexo II). Todo esto permitirá caracterizar la estratigrafía de una zona donde las localidades ya presentan construcciones residenciales.

1.3. Justificación.

En los proyectos de construcción, se desprende la necesidad de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo que se está tratando y lo que este puede infiltrar. El conjunto de estos datos permitirá adquirir una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas y mecánicas del suelo que deban de ser consideradas en el proyecto.

Motivo de ello, el presente estudio se lleva a cabo como parte de una solicitud del cliente, por los servicios del laboratorio de suelos, beneficiando directamente al dueño del proyecto, brindando los datos para que la obra se ejecute con seguridad.

La Oficina de Proyectos de Alcaldía de Managua se encarga de regular las construcciones locales, y como requisito del permiso de construcción de la edificación, se deben presentar los planos y estudios de los diseños de todas las especialidades, incluyendo la de mecánica de suelos.

Es en el laboratorio de Mecánica de Suelos en donde se obtienen los datos definitivos para el trabajo. Al realizar las pruebas de clasificación, se identifica en forma correcta el problema que se presenta, por consiguiente, una serie de alternativas de solución para definir el comportamiento del suelo donde se pretende cimentar, los parámetros de diseño para los sistemas de infiltración

pluvial y los parámetros de diseño para estructurar un pavimento, según las necesidades a suplir en la obra una vez empiece a brindar servicio.

De igual manera, al ser un estudio con orientación monográfica, beneficia al sector estudiantil y/o profesional de la carrera de ingeniería civil y carreras afines al tema desarrollado, para que ellos conozcan de antemano, con información veraz y certificada por un laboratorio de prestigio en el país, el tipo de suelo que se encuentra en la localidad y a su vez, se utilice para futuros estudios e investigaciones de cualquier universidad y/o empresa de Nicaragua.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar un estudio de mecánica de suelos para generar los parámetros de diseño del nivel de desplante de la cimentación y la capacidad de carga del suelo; así mismo, analizar la capacidad de absorción del subsuelo y proponer un diseño del espesor de la estructura de pavimento, para una edificación de dos plantas en el sector de Santo Domingo, Managua.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar la estratigrafía del subsuelo del área del proyecto.
- Definir los parámetros básicos necesarios del subsuelo para el diseño del nivel de desplante y la capacidad de carga del suelo de las cimentaciones de la edificación.
- Determinar el coeficiente de permeabilidad, y correspondiente capacidad de infiltración, del subsuelo donde se ubica el proyecto, empleando el método de carga constante de LeFranc.
- Proponer un diseño de los espesores de la estructura de pavimento para las áreas de acceso y estacionamiento de la edificación, empleando el método Murillo López de Souza.

1.5. Localización.

El estudio de suelos se realizó en una propiedad residencial ubicada en Santo Domingo, propiamente en la urbanización “Jardines de Santo Domingo”, localizada al Sur de Managua, en una zona que acerca al terreno hacia la parte superior de las antiguas sierras de la capital.

1.5.1. Macro localización

Ilustración 1: Mapa de ubicación de Managua, capital de Nicaragua



Fuente: Organización territorial de Nicaragua.

1.5.2. Micro localización

Ilustración 2: Mapa de ubicación de Jardines de Santo Domingo, Managua.



Fuente: Google Earth.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Suelo

Suelo, proviene del latín “solum” que significa tierra, es la capa superficial de la corteza terrestre considerada la parte biológicamente activa.

El suelo es una mezcla de partículas minerales, orgánicas, agua y aire. Es producto de la combinación de cinco factores que interactúan entre sí: el material parental, el clima, la topografía, los organismos vivos y el tiempo.

1.6.1.1. Tipos de suelo

- Suelos arenosos: No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura.
- Suelos arcillosos: Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con el humus, que es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos, pueden ser buenos para cultivar.
- Suelos limosos: Tienen gránulos de tamaño intermedio son fértiles y fáciles de trabajar. Forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos.
- Suelos gravosos: Formados por muchos minerales ya que se componen de partículas de rocas sueltas de todos los tamaños, son más resistentes y no tienen plasticidad.
- Suelos mixtos: Tiene características intermedias entre los suelos arenosos, arcillosos, limosos y gravosos mezclados.

1.6.2. Estudio de suelo

Un estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir, la composición de las capas de terreno en la profundidad. Se necesitan habitualmente para conocer el tipo de cimentación más acorde para una obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar.

1.6.2.1. Muestra de suelo

La muestra de suelo es una porción representativa del terreno que permita ser analizada en el laboratorio.

1.6.2.2. Tipos de muestras

Las muestras obtenidas en un proceso de muestreo son clasificadas en dos categorías dependiendo de la alteración que sufren al ser retiradas de su lugar original: Muestra alteradas y muestras inalteradas.

- **Muestras Alteradas:** Una muestra alterada se define como aquella donde parte de ella o toda, ha sufrido una alteración tal que ha perdido la estructura que poseía in-situ, estas muestras no representan de forma real las propiedades ingenieriles de resistencia y permeabilidad del suelo.
- **Muestras Inalteradas:** Son todas aquellas representaciones del mismo que conservan su composición mineralógica y algo de la humedad natural, pero no conserva la estructura ni demás condiciones que tenía el terreno.

1.6.2.3. Métodos de exploración

Existen diversas técnicas para realizar un sondeo, que varían en dependencia de las necesidades específicas del proyecto y de las condiciones del subsuelo, pero para este estudio se utilizaron dos: Sondeo Mecánico como método principal y sondeo manual como alternativa para proponer un diseño de pavimento.

- **Prueba de penetración normal SPT (Standard Penetration Test, ASTM D 1586)**

Su mecanismo implica un cilindro hueco (cuchara partida de Terzaghi) que penetra 45 cm (1 ½ pies) impulsado por el impacto continuo de un mazo de 140 lbs, que es dejado caer desde una altura constante. Los primeros 15cm (1/2 Pie) son utilizados para acomodar debidamente la cuchara partida en el estrato; y los 30cm (1 Pie) restantes son el número de golpes “N”, en sí, los determinantes en el ensayo, que aparte de recolectar muestras alteradas del subsuelo, también cumplen el propósito de estimar la resistencia a la penetración del suelo por el

método SPT, el cual se calcula sumando todos los golpes que se necesitaron para poder penetrar la cuchara partida en 30 cm (1 pies) del suelo en estudio.

- **Sondeo Manual**

Consiste en recoger partes, porciones o elementos representativos de un terreno, a partir de las cuales se realizará un reconocimiento geotécnico del mismo para la realización de ensayos de laboratorio.

1.6.2.4. Propiedades físico-mecánicas del suelo

1.6.2.4.1. Prueba de contenido de humedad natural (ASTM D-2266 y AASHTO T-265)

Es la cantidad de agua presente en el suelo, en relación porcentual a la masa de la muestra, al momento de efectuarse el ensayo SPT.

El ensayo se realiza tomando una muestra representativa de los estratos a evaluar, a los cual se les obtiene el peso húmedo de los mismos. Posteriormente se depositan las muestras en una tara y se dejan en el horno, a una temperatura entre 105°C y 115°C y en un tiempo de 24 horas, hasta obtener unas muestras totalmente secas. Pasadas las 24 horas, se retiran las muestras del horno, se dejan enfriar, determinándose el peso seco de cada una, relacionando su peso en su fase húmeda contra su peso en su fase sólida (seca).

Los cálculos del contenido de humedad en las muestras se llevaron a cabo mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1: Cálculo del contenido de humedad.

$$W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Donde:

W: humedad

Wh: Peso de la muestra húmeda

Ws: Peso de la muestra seca

1.6.2.4.2. Prueba de análisis granulométrico de los suelos (ASTM D-422 y AASHTO T 27-88)

Consiste en determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene.

Análisis granulométrico de material que retiene el tamiz N°4.

Se quitan los grumos que contienen las muestras alteradas de suelo y se meten al horno a secarse a una temperatura de 105°C a 115°C, por un período entre 12 y 24 horas. Pasadas las horas, se sacan las muestras y se dejan enfriar a temperatura ambiente para que estas sean trabajadas. Posteriormente se criban a través de los tamices de 3", 2 ½", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4 y fondo (lo que pasa el tamiz N°4); luego se pesan las fracciones retenidas en cada tamiz y se anotan para el registro correspondiente.

En el análisis por tamices se obtienen los resultados de pesos parciales retenidos en cada uno de ellos para luego calcular los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos y los porcentajes que pasan por cada tamiz, por medio de las siguientes expresiones:

Ecuación 2: Cálculo del % retenido parcial que retiene el tamiz N°4.

$$\% \text{ Retenido Pacial} = \frac{\text{Peso retenido parcial (gr)}}{\text{Peso total de la muestra (gr)}} \times 100$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Ecuación 3: Cálculo del % retenido acumulado que retiene el tamiz N°4.

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{\text{Anterior}} + \% \text{ Retenido Parcial}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Ecuación 4: Cálculo del % que pasa por cada tamiz que retiene el tamiz N°4.

$$\% \text{ Que pasa por el tamiz} = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{\text{(Pasa N°4)}} - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Análisis granulométrico de material que pasa el tamiz N°4 (Lavado).

Luego de cribar las muestras por cada tamiz, se toman aproximadamente 200grs (si el material era arenoso) y 150 grs (si el material era arcilloso), para de esta manera iniciar con esta etapa.

Se trasladan las muestras a sus respectivas taras, se le añade agua, dejándolas en remojo, se vacía el contenido de las taras sobre el tamiz N°200, luego se lavan los suelos hasta que todos los finos fluyan por el tamiz. Los materiales retenidos en el tamiz N°200, se colocan en sus respectivas taras, lavando el tamiz con agua. El contenido restante cada tara se seca en el horno a una temperatura de 105°C–115°C por un tiempo de 24 horas.

Con los materiales secos y libres de impurezas, se colocan el juego de tamices en orden progresivo, N°10, N°40, N°200 y al final el fondo (lo que pasa el tamiz N°200). Se agitan el juego de tamices, dependiendo de la cantidad de finos que contenga cada muestra, por un tiempo no mayor a 15 minutos. Se pesan las fracciones retenidas en cada tamiz y se anotan en el registro correspondiente.

Para el cálculo de pesos parciales retenidos, los porcentajes retenidos parciales, los porcentajes acumulativos y los porcentajes que pasan por cada tamiz, se deberá utilizar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5: Cálculo del % retenido parcial que pasa el tamiz N°4.

$$\% \text{ Retenido Pacial} = \frac{\% \text{ Retenido Parcial (Pasa N}^\circ 4)}{\text{Peso total de la muestra (gr)}} \times \text{Peso Retenido Parcial (gr)}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Ecuación 6: Cálculo del % retenido acumulado que pasa el tamiz N°4.

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido Acumulado Anterior} + \% \text{ Retenido Parcial}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Ecuación 7: Cálculo del % que pasa por cada tamiz que pasa el tamiz N°4.

$$\% \text{ Que pasa por el tamiz} = \% \text{ Retenido Acumulado (Pasa N}^\circ 200) - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

1.6.2.4.3. Prueba de límites de consistencia de Atterberg (ASTM D 4318, AASHTO T 89-90 y T 90-87)

Los límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad.

Albert Mauritz Atterberg, definió los estados en que pueden presentarse las arcillas en dependencia de su contenido de humedad: Estado sólido, semi-sólido, plástico y líquido. También definió las fronteras de cada estado: Límite Líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.), mediante los cuales se puede caracterizar el tipo de suelo que se está analizando.

- **Determinación del límite líquido (L.L.)**

Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semilíquido y plástico.

- **Determinación de límite plástico (L.P.)**

Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semisólido y plástico.

- **Determinación del Índice de Plasticidad (I.P.)**

El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico.

La prueba consiste en controlar mesuradamente la humedad de una muestra de suelo de tal manera que, mediante las características de cada límite definido por Atterberg, detallar los rangos de porcentaje de agua que marcan cada estado de consistencia.

Determinación del límite líquido (L.L.)

Los ensayos de límites de consistencia únicamente se realizan con la cantidad de suelo que pasa por el tamiz N°40, el cual inicia desarrollándose después de secadas las muestras de suelo, mismas que se criban a través del tamiz N°40 desechando lo que queda retenido.

Del material que pasa por el tamiz N°40 se toman aproximadamente unos 100 grs, se colocan en un recipiente y se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave, misma que se le va añadiendo agua durante su mezclado. Parte de la mezcla se coloca con la espátula en la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de 1 cm., en la parte de máxima profundidad.

Posterior al ensayo.

Después que el suelo se va uniéndose en la parte inferior de la ranura, se toman aproximadamente 10 gramos del suelo; se anota el peso húmedo, el número de golpes obtenidos y se determina el peso seco de las muestras. Se repiten los pasos mencionados anteriormente con el propósito de obtener puntos menores de 25 golpes y mayores de 25 golpes. De igual manera se determina el porcentaje de humedad correspondiente a cada número de golpes.

Determinación de límite plástico (L.P.)

Se utiliza aproximadamente la mitad de las muestras que se usaron en límite líquido, procurando que tengan una humedad uniforme, cercana a la humedad óptima. Se amasan y se hacen rodar con la mano sobre un vidrio, hasta formar cilindros de 3 mm de diámetro y de, aproximadamente, 15-20 cm de largo. Este procedimiento de amasado se repite tantas veces sea necesario para reducir, gradualmente, la humedad por evaporación, hasta que los cilindros se empiecen a endurecer. Una vez se logre agrietar los cilindros cuando estos se reduzcan al diámetro de 3 mm (alcance del límite plástico), inmediatamente se dividen en proporciones y se colocan los pedazos en dos taras por muestra. Posteriormente se pesan en la balanza las taras y se registra su peso en el formato de laboratorio.

Se introducen las muestras en el horno por un período aproximado de 24 horas y se determina su peso seco por cada una de ellas. Con los datos anteriores se calcula el contenido de agua en porcentaje.

Determinación del Índice de Plasticidad (I.P.)

Se determinó aplicando la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo, aplicando la siguiente expresión:

Ecuación 8: Cálculo del Índice de Plasticidad del suelo.

$$I.P = L.L - L.P$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Donde:

I.P.: Índice de Plasticidad.

L.L.: Límite Líquido.

L.P.: Límite Plástico.

1.6.2.4.4. Clasificación de suelos (ASTM D 2487-19 y AASHTO M-145)

La clasificación de los suelos AASHTO (M 145) y SUCS (ASTM D-2487-19), se elabora mediante los resultados de la determinación en laboratorio de los análisis granulométricos de las muestras, para la determinación del tamaño de sus partículas; el límite líquido, el límite plástico y su índice de plasticidad, aplicando cada resultado en las Figuras N°3 y N°4 mostradas posteriormente.

- **Sistema AASHTO (AASHTO M-145).**

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras

como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras.

De acuerdo con la actual forma de este sistema, los suelos pueden clasificarse en ocho grupos principales, A-1 al A-8, en base a su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6, A-7 son de grano fino. La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8.

Ilustración 3: Clasificación de suelos, sistema AASHTO M-145

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

*Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials
(AASHTO M 145)*

- **Sistema SUCS (ASTM D-2487-19)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)), es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este

sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras.

Al clasificar un suelo se debe proporcionar el nombre del grupo que describe generalmente al suelo, junto con el símbolo respectivo. La clasificación se basa en la designación D-2487 de la ASTM.

Ilustración 4: Sistema de Clasificación de suelos SUCS, ASTM D 2487-93

DIVISIÓN MAYOR		NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO
<p>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 (Ø 0.85 mm).</p>				GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	GRAVAS LIMPAS Poco o nada de partículas finas GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas ARENA LIMPAS Poco o nada de partículas finas ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas
<p>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 (Ø 0.85 mm).</p>		<p>GRAVA Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos</p> <p>GP Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos</p> <p>GM Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo</p> <p>GC Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla</p> <p>SW Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos</p> <p>SP Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos</p> <p>SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo</p> <p>SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla</p>	<p>ARENAS LIMPAS Poco o nada de partículas finas</p> <p>ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas</p>
<p>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</p>		<p>ML Limos inorgánicos, polvo de mica, limos arcillosos o arcillosos ligeramente plásticos</p> <p>CL Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres</p> <p>OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicos de baja plasticidad</p> <p>MH Limos orgánicos, limos micáceos o diastrómicos, más elásticos</p> <p>CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas</p> <p>OH Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad</p> <p>P Turbas y otros suelos altamente orgánicos</p>	<p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c: entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.</p> <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.</p> <p>LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.</p>
		<p>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</p>	

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM D 2487-93).

1.6.2.4.5. Peso Volumétrico de los suelos (ASTM C 29 y AASHTO T 19).

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m³. Hay dos valores para esta relación

dependiendo del sistema de acomodo que se haya dado al material inmediatamente después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno de ellos es peso volumétrico suelto y peso volumétrico compactado, el uso de uno y otro depende de las condiciones de manejo a que se estén sujetos los materiales.

- **Peso volumétrico suelto (PVSS).**

Se usa para la convención de peso a volumen, es decir, para conocer el consume de material por m³ y se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 9: Cálculo del Peso volumétrico seco suelto del suelo.

$$PVSS = \frac{\text{Peso de la muestra suelta con molde} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C 29).

- **Peso volumétrico compactado (PVSC).**

Es para el conocimiento del volumen de materiales aplicados, y que están sujetos a acomodamientos o asentamientos, provocados por el tránsito o por la acción del tiempo. El valor del peso volumétrico, para ambos casos, deberá obtenerse con agregados secos a la intemperie. Esta volumetría se desarrolla bajo la siguiente expresión:

Ecuación 10: Cálculo del Peso volumétrico seco suelto del suelo.

$$PVSC = \frac{\text{Peso de la muestra compactada con molde} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C 29).

1.6.2.4.6. Ensaye de compactación de suelos – “Método Proctor estándar” (ASTM D 698-91 y AASHTO T 99-90).

El ensaye Proctor estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.

Es el proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso volumétrico seco máximo del suelo que para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada que se conoce como humedad óptima.

Ecuación 11: Cálculo del peso volumétrico húmedo del Proctor Estándar.

$$\gamma_h = \frac{W_m}{V_c} = \frac{W_{me} - W_e}{V_c}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Ecuación 12: Cálculo del peso volumétrico seco del Proctor Estándar.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + W}$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

1.6.2.4.7. Relación de soporte de California (California Bearing Ratio) – CBR (ASTM D 1883-73 y AASHTO T 193-63).

El ensaye de valor relativo soporte, se emplea en la caracterización de la resistencia del material de cimiento de una vía o de los diferentes materiales que se emplearán en un pavimento, con vista a dimensionar los espesores de los suelos que formarán parte del mismo empleando el método de diseño de pavimentos basado en dicho ensayo.

El C.B.R. se determina como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de 19.35 cm² (3 pulg²) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg/min) y la fuerza ejercida en un material patrón para esa misma penetración.

Ecuación 13: Cálculo del peso volumétrico seco del Proctor Estándar.

$$\text{C.B.R (\%)} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

Fuente: Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón, el símbolo porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

La prueba de CBR fue desarrollada por la División de Carreteras de California para clasificar y evaluar los materiales de los cursos de base y sub-base para pavimentos. La prueba de CBR se ha utilizado para determinar las propiedades del material para el diseño del pavimento.

1.6.3. Parámetros de diseño del nivel de desplante la cimentación y la capacidad de carga del suelo.

1.6.3.1. Cimentaciones.

La cimentación es un conjunto de elementos estructurales sobre los que descansa la superestructura. Su función es distribuir las cargas al suelo de apoyo, en tal forma que no provoque hundimientos excesivos que pueden generar daños en la propia estructura o en las cercanas.

Las dos condiciones esenciales que se deben tener en cuenta al proyectar una cimentación, se reducen a que el asentamiento total de la estructura no exceda de una magnitud pequeña admisible y a que los asentamientos diferenciales entre los distintos elementos parciales de aquella tengan un mínimo valor, siendo esta última, condición más importante por los daños probables en la construcción.

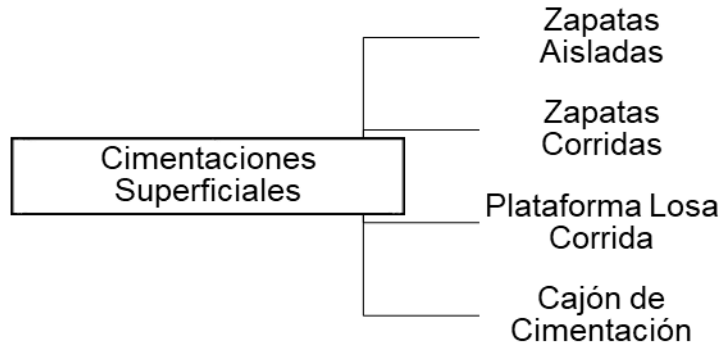
El tipo de cimentación a elegir será consecuencia de una serie de factores como son: intensidad de las cargas que llegan al suelo, profundidad del estrato de desplante y capacidad de carga de este, características de la superestructura, así como aspectos constructivos y económicos.

1.6.3.1.1. Clasificación de las cimentaciones

Generalmente las cimentaciones se clasifican de acuerdo con la profundidad de desplante, quedando comprendidas en dos grandes grupos: superficiales y profundas.

La forma más común de clasificar las cimentaciones es la siguiente: Si la cimentación es directa, por ampliación de base, se clasifica como superficial y de acuerdo al tipo de elementos que la integran puede ser a base de:

Ilustración 5: Tipos de cimentaciones superficiales.

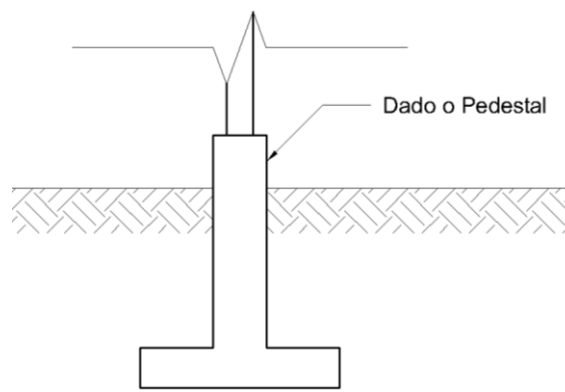


Fuente: Elaboración propia.

Zapatas Aisladas.

Cuando la separación de las columnas es adecuada y las características físicas del terreno son apropiadas, por ejemplo, suelos compactos de baja compresibilidad, se pueden resolver la cimentación sobre bases independientes unas de otras; en tal forma que cada zapata aislada tome la carga transmitida por una columna. Para este tipo de cimentación, la estructura debe contar con cierta flexibilidad en tal forma que pueda absorber pequeños hundimientos diferenciales sin daños apreciables en la construcción.

Ilustración 6: Tipos de zapata aislada

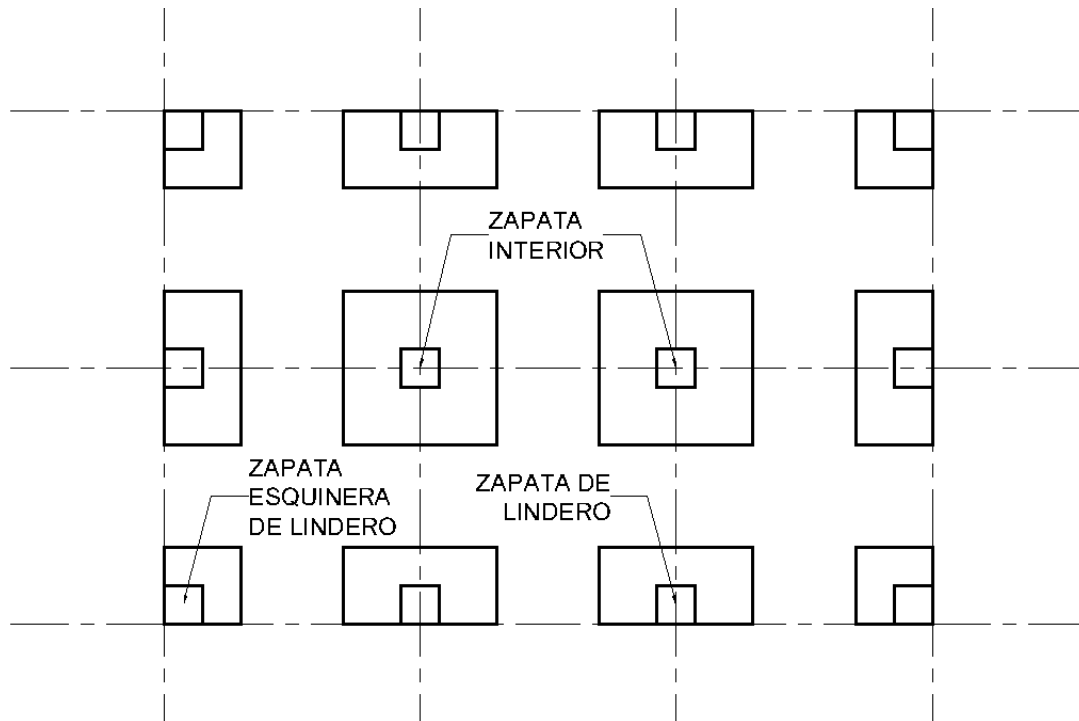


Fuente: Elaboración propia.

Zapata de Lindero.

Son zapatas donde, limitadas por su ubicación, la excentricidad conduce a una distribución excéntrica de presiones y giros en la zapata.

Ilustración 7: Tipos de zapata aislada



Fuente: Elaboración propia.

Zapatas con trabes o vigas de liga.

En zonas sísmicas, es recomendable unir las zapatas aisladas mediante trabes de liga, las que cumplirán con la siguiente función:

1. Reducir la esbeltez de la columna
2. Absorber los momentos originados por la acción de un sismo transmitidos por las columnas de cimentación.
3. Absorber asentamientos diferentes provocados por hundimientos del terreno.
4. Absorber excentricidades de cargas en zapatas de lindero.

1.6.3.2. Capacidad de carga última.

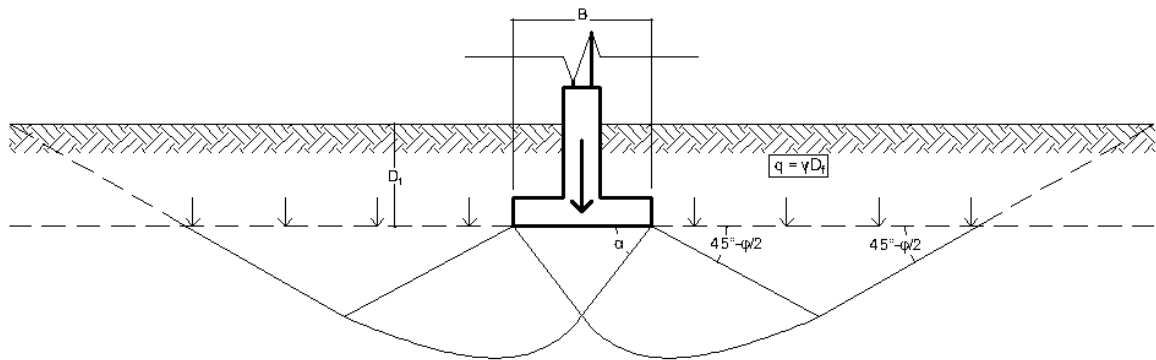
Es la carga por área unitaria de la cimentación respecto a la resistencia que ofrece el suelo al deformarse, debido a la fuerza de fricción y cohesión entre sus partículas.

1.6.3.2.1. Teoría de capacidad de carga de Terzaghi

Esta teoría cubre el caso más general de suelos con cohesión y fricción; es la teoría más usada para el cálculo de la capacidad de carga en cimientos poco profundos. Se aplica a cimentaciones en las que el ancho (B) es mayor o igual a la profundidad de desplante (Df).

Con base en los estudios de Prandtl en suelos cohesivos, Terzaghi los extendió a suelos cohesivo-friccionantes, proponiendo el mecanismo de falla mostrado en la siguiente figura:

Ilustración 8: Mecanismos de falla generalizada de Terzaghi.



Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones.

Sacramento, California: International Thomson Editores.

Despreciando el peso que se mueve como cuerpo rígido con el cimiento, verticalmente hacia abajo, y considerando el equilibrio de fuerzas verticales se tiene:

Ecuación 14: Cálculo de carga última Terzaghi modificada.

$$q_c B = 2P_p + 2C_f \text{sen } \phi$$

*Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones.
Sacramento, California: International Thomson Editores.*

Donde:

q_c : carga de falla en el cimiento

P_p : empuje pasivo

C_f : fuerza de cohesión

Para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones cuadradas, la ecuación anterior se puede modificar con la adición de los siguientes factores:

Ecuación 15: Cálculo de carga última en zapatas cuadradas.

$$q_{ult} = 1.3cN_c + \gamma_1 D_f N_q + 0.4\gamma_2 B N_\gamma$$

*Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones.
Sacramento, California: International Thomson Editores.*

Dónde:

q_{ult} = carga última

c = cohesión del suelo.

γ_1 = peso específico por encima de la zapata.

γ_2 = peso específico por debajo de la zapata.

B = ancho de la cimentación superficial cuadrada.

D_f = profundidad donde será apoyada.

N_c , N_q y N_γ = factores de capacidad de carga adimensionales que dependen del valor del ángulo de fricción " ϕ ".

Nota: Ver "Factores de capacidad de carga" en la tabla de Anexos III.

Finalmente, para el cálculo de carga última, Ralph Peck encuentra a partir de la teoría y ecuación de Terzaghi, las relaciones entre la capacidad de carga admisible del suelo Q_{adm} , en función del ancho del cimiento B , la profundidad de desplante D_f , y el número de golpes N del SPT, con lo que el número de golpes N , queda relacionado con el ángulo de resistencia al cortante del suelo, la capacidad de carga admisible del suelo, y considerando un asentamiento máximo de una pulgada, con factor de seguridad igual a 2, dada por Meyerhof; determinando la ecuación que se muestra a continuación:

Ecuación 16: Cálculo carga admisible, Terzaghi y Peck

$$Q_{adm} = \frac{N \cdot s}{8}$$

*Fuente: Ralph B. Peck, Walter E. Hanson, Thomas H. Thornburn (2004)
Ingeniería de cimentaciones. México D.F., México: LIMUSA.*

Donde:

Q_{adm} = Carga Admisible

N = Número de golpes en el ensayo SPT.

S = Asentamiento admisible de 1 pulgada

1.6.3.3. Mejoramiento de suelos.

El mejoramiento de suelos consiste en técnicas para, como su nombre lo indica, acrecentar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que requieren una exigencia mayor a la que son capaces de ofrecer.

Existen varias estrategias para mejoramiento de suelos, cada una con diferentes efectos y costos: métodos mecánicos, métodos físicos y métodos químicos.

1.6.3.3.1. Tipos de mejoramiento

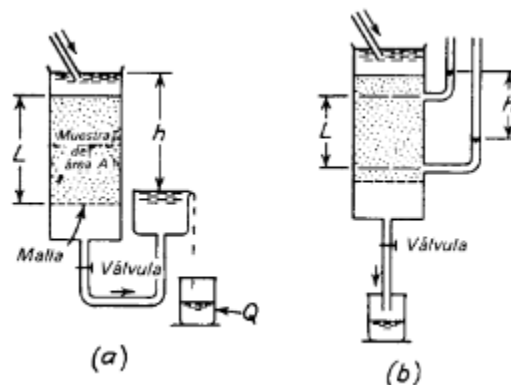
- Métodos mecánicos: Son aquellos con los que se logra mejorar considerablemente el suelo sin necesidad de incluir ningún tipo de reacción química de importancia; es decir, obtener una buena compactación y densificación del material portante.
- Métodos físicos: estos métodos persiguen la obtención de una adecuada granulometría, mediante la inclusión de material granular y cohesivo, o ambos a la vez, al suelo primitivo.
- Métodos químicos: Es la aplicación de un agente estabilizador químico, (cal, cemento, asfalto, cloruro de sodio permeabilizante, entre otros), que mejora las propiedades geotécnicas como: estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad.

1.6.4. Capacidad de absorción del suelo.

1.6.4.1. Permeabilidad hidráulica de los suelos.

La permeabilidad corresponde a la velocidad máxima con que el agua penetra el suelo y refleja propiedades físicas de este y en cierta medida ese valor indica la mayor o menor facilidad con el que el agua fluye a través del mismo, estando sujeta a un gradiente hidráulico.

Ilustración 9: Parámetros de carga constante.



Fuente: Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri (1963), Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica, 3ra edición. El ateneo editorial.

1.6.4.1.1. Método de carga constante de LeFranc.

Consiste en determinar el coeficiente de permeabilidad de los diferentes estratos de suelos, mediante una carga constante para flujo laminar de agua a través de los suelos.

El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos, específicamente ligado a la Ley de Darcy, misma que citamos en la implementación de su fórmula simplificada:

Ecuación 17: Coeficiente de permeabilidad.

$$\mathbf{K = (QL) / (ATH).}$$

Fuente: W. Lambe y R.V. Whitman - Mecánica de suelos. México, 1997

Dónde:

Q = Volumen de agua descargada en cm³

L = Longitud o espesor del estrato permeable

A = Área de contacto del agua con el suelo

T = Tiempo requerido para la descarga, en seg

H = Carga, distancia de la superficie a la profundidad media del estrato permeable, en cm

1.6.5. Propuesta de diseño de espesores de la estructura de pavimento

1.6.5.1. Pavimento

Es la estructura integral de capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas subrasante, sub base, base y carpeta, colocadas hasta coronar la rasante y destinada a permitir el tránsito vehicular. Se diseñan y construye técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

1.6.5.1.1. Clasificación de los pavimentos

- **Pavimento flexible**

Es una estructura que mantiene contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de

la fricción de las partículas y de la cohesión. Están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base.

- **Pavimento rígido**

Un pavimento rígido hace que las cargas se distribuyan uniformemente debido a la rigidez de la estructura, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Generalmente la superficie de rodamiento es de concreto-cemento.

- **Pavimento articulado**

Está compuesto de pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de sub base o directamente sobre la subrasante para prevenir su deformación.

1.6.5.2. Diseño de pavimento

El diseño de pavimentos se lleva en dos etapas:

- La definición de factores objetivos o externos: Estos aspectos no dependen directamente del método de diseño o del analista y están relacionados con las circunstancias o ambiente del proyecto. Entre ellos la caracterización de los materiales y tipo de tránsito de servicio son los más determinantes.
- La determinación de los espesores de capas.

Existen diversas metodologías para el diseño de pavimentos, entre ellos:

- Método de la AASHTO – 93.
- Método del Instituto del Asfalto.
- Método de la sociedad de Ingenieros de Japón.
- Método de Murillo López de Souza.

1.6.5.2.1. Método de Murillo López de Souza.

Es un método de diseño de pavimentos que está basado en la utilización del C.B.R. (California Bearing Ratio) y del I.G. (índice de grupo) como parámetros

definidores de la estabilidad de los suelos y de ciertos conceptos adoptados por el Ing. Williams Haynee Mills, ya previstos por O. J. Porter (creador del C.B.R.), en los Estados Unidos de Norte América, tomando en cuenta las condiciones del clima, drenaje y repetición de cargas.

- **Índice de soporte.**

El índice de soporte tiene una relación directa con el índice de grupo establecido para la clasificación AASHTO.

Tabla N°1: Relación IS vs CBR

Índice de grupo	Índice de soporte
0	20
1	18
2	15
3	13
4	12
5	10
6	9
7	8
8	7
9 - 10	6
11 - 12	5
13 - 14	4
15 - 17	3
18 - 20	2

Fuente: Juárez, Eulalio (2005). Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México D.F., México: LIMUSA.

El índice de soporte que se debe adoptar en el diseño debe de ser el valor promedio de los valores suministrados por la ecuación IS vs CBR y la Tabla N°1.

- **Criterios de diseño.**

La determinación del espesor total del pavimento es en función del índice de soporte de la sub rasante (I.S) que se determina en las condiciones de peso volumétrico máximo y humedad óptima especificadas para la sub rasante, según el Proctor estándar.

El espesor de la sub base se establece igualándolo al espesor mínimo de Base en conjunto con el Revestimiento (B+R).

Los materiales utilizados en el pavimento se dividen en tres categorías, exceptuando el revestimiento:

- **Materiales de sub rasante.**

Los que en las condiciones de compactación especificada acusan un Índice de Soporte inferior a 20.

- **Materiales de sub base.**

Los que en las condiciones de compactación especificada acusan un Índice de Soporte igual o superior a 20.

- **Materiales de base.**

Los que en las condiciones de compactación especificada acusan un Índice de Soporte igual o superior a 30, 35, 40 o 45, dependiendo del tipo de tránsito y la carga máxima de rueda adoptados en el proyecto. Los materiales de base atribuyen además un Límite Líquido no superior a 25, un Índice de Plasticidad no superior a 6 y cumplen con los requisitos de graduación que la AASHTO exige para estos materiales en su especificación M – 147.

El Índice de Soporte (I.S) que se adopta en el diseño es el promedio de los valores suministrados por la igualdad $I.S. = C.B.R.$ y la tabla N°1, mostrada anteriormente.

Para el dimensionamiento del pavimento se toma en cuenta también el tipo de tránsito, la carga máxima por rueda y la intensidad media anual de lluvia.

El tránsito se divide en tres categorías:

A. Tránsito Liviano.

Cuando el número de vehículos comerciales por día fuere igual o inferior a 250, con un máximo del 20% de camiones, con carga por rueda igual a la máxima.

B. Tránsito Mediano.

Cuando el número de vehículos comerciales por día estuviere comprendido entre 250 y 750, con un máximo del 20% de camiones con carga por rueda igual a la máxima.

C. Tránsito Pesado.

Cuando el número de vehículos comerciales excediere a los 750 o cuando hubiera más de 250 camiones por día, con carga por rueda igual a la máxima.

Se consideran 3 cargas máximas por rueda para la realidad actual en el país:

a. Carga máxima de 4 toneladas.

Para carreteras situadas en regiones donde sea remota la posibilidad de circulación de vehículos muy pesados.

b. Carga máxima de 5 toneladas.

Para carreteras donde sea ligera la circulación de vehículos muy pesados.

c. Carga máxima de 6 toneladas.

Para carreteras en regiones especiales, altamente industrializadas.

Para el dimensionamiento según los diversos tipos de tránsito y cargas máximas consideradas, se incrementa el espesor en función de la Densidad Media Anual de Lluvia (Ver mapa de DMA en Anexo X), con sus datos a continuación:

Tabla N°2: Densidad Media Anual de Lluvia.

Intensidad Media Anual de Lluvia (mm)	Incremento (%)
Zonas poco lluviosas hasta 800	0
Zonas lluviosas de 800 a 1,500	10
Zonas muy lluviosas, más de 1,500	20

Fuente: Juárez, Eulalio (2005). Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México D.F., México: LIMUSA.

Una vez conociendo el tipo de tránsito y el tipo de carga máxima para el dimensionamiento, se selecciona el I.S. según lo requerido en la obra:

Carga Máxima 4 Tonelada:

- a. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 30 (C.B.R. Mínimo de 40).
- b. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 30 (C.B.R. Mínimo de 40).
- c. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 35 (C.B.R. Mínimo de 50).

Carga Máxima 5 Tonelada:

- a. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 30 (C.B.R. Mínimo de 30).
- b. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 35 (C.B.R. Mínimo de 50).
- c. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 40 (C.B.R. Mínimo de 60).

Carga Máxima 6 Tonelada:

- a. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 35 (C.B.R. Mínimo de 50).
- b. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 40 (C.B.R. Mínimo de 60).
- c. Tránsito Liviano I.S. Mínimo de 45 (C.B.R. Mínimo de 70).

Posteriormente, según las figuras N°10, N°11 y N°12 (mostradas a continuación), se selecciona el espesor de cada capa que conformaría la estructura de pavimento, apoyado con los criterios del Índice de Soporte (I.S), tipo de Tránsito e Intensidad media anual de lluvia.

Notas.

- Los espesores “A” están determinados para una Intensidad Media Anual de Lluvia hasta 800mm.
- Los espesores “B”, están determinados para una Intensidad Media Anual de Lluvia de 800mm hasta 1,500mm.
- Los espesores “C”, están determinados para una Intensidad Media Anual de Lluvia mayor a 1,500mm.

Ilustración 10: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 4 toneladas.

		Tránsito Liviano			Tránsito Medio			Tránsito Pesado		
		9,000 Lbs/Rueda < 250 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			11,000 Lbs/Rueda < 750 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			14,000 Lbs/Rueda > 750 Vehículos comerciales por día.		
I.S	I.G _e	A	B	C	A	B	C	A	B	C
2	18-20	68	75	82	75	83	91	83	91	100
3	15-17	54	59	65	60	66	72	66	73	80
4	13-14	47	52	57	52	58	64	57	63	69
5	11-12	42	46	51	46	51	56	50	55	61
6	9-10	39	43	47	43	47	52	47	52	57
7	8	35	39	43	39	43	47	43	47	52
8	7	32	35	39	36	40	44	40	44	48
9	6	30	33	36	34	37	41	38	42	46
10	5	28	31	34	32	35	39	36	40	44
11		27	30	33	30	33	36	34	37	41
12	4	26	29	32	29	32	35	32	35	39
13	3	25	28	31	27	30	33	30	33	36
14		24	26	29	26	29	32	28	31	34
15	2	23	25	28	25	28	31	27	30	33
16		22	24	26	24	26	29	26	29	32
17		21	23	25	23	25	28	25	28	31
18	1	20	22	24	22	24	26	24	26	29
19		19	21	23	21	23	25	23	25	28
20	0	18	20	22	20	22	24	22	24	26

Fuente: Juárez, Eulalio (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México D.F., México: LIMUSA.

Ilustración 11: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 5 toneladas.

		Tránsito Liviano			Tránsito Medio			Tránsito Pesado		
		9,000 Lbs/Rueda < 250 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			11,000 Lbs/Rueda < 750 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			14,000 Lbs/Rueda > 750 Vehículos comerciales por día.		
I.G	I.S	A	B	C	A	B	C	A	B	C
18										
19										
20	2	61	67	73	68	75	82	76	84	91
15										
16										
17	3	50	55	60	55	61	66	60	66	72
13										
14	4	43	47	52	47	52	57	51	56	61
11										
12	5	38	42	46	42	46	50	46	51	55
9										
10	6	35	39	42	38	42	46	41	45	49
8										
8	7	32	35	38	35	39	42	38	42	46
7	8	30	33	36	32	35	38	35	39	42
6	9	28	31	34	30	33	36	32	35	38
5	10	26	29	31	28	31	34	30	33	35
	11	25	28	30	27	30	33	29	32	35
4	12	24	26	29	26	29	31	28	31	34
3	13	23	25	28	25	28	30	27	30	32
	14	22	24	26	24	27	29	26	29	31
2	15	21	23	25	23	25	28	25	28	30
	16	20	22	24	22	24	27	24	26	29
	17	19	21	23	21	23	25	23	25	28
1	18	18	20	22	20	22	24	22	24	26
	19	18	20	22	19	21	23	21	23	25
0	20	17	19	21	18	20	22	20	22	24

Fuente: Juárez, Eulalio (2005). Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. México D.F., México: LIMUSA.

Ilustración 12: Tabla de diseño de espesores de pavimento para carga máxima por rueda de 6 toneladas.

I.S.	Tránsito Liviano			Tránsito Medio			Tránsito Pesado		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	7,000 Lbs/Rueda < 250 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			9,000 Lbs/Rueda < 750 Vehículos comerciales p/día Máximo 20% con Carga Máxima			11,000 Lbs/Rueda > 750 Vehículos comerciales por día.		
2	56	62	67	61	67	73	68	75	82
3	45	50	54	50	55	60	55	61	66
4	39	43	47	43	47	52	47	52	56
5	35	39	42	38	42	46	42	46	50
6	32	35	38	35	39	42	38	42	46
7	30	33	36	32	35	38	35	39	42
8	28	31	34	30	33	36	32	35	38
9	26	29	31	28	31	34	30	33	36
10	24	27	29	26	29	31	28	31	34
11	23	25	28	24	27	29	26	29	31
12	22	24	27	23	25	28	25	28	30
13	21	23	25	22	24	26	24	27	29
14	20	22	24	21	23	25	23	25	28
15	19	21	23	20	22	24	22	24	26
16	18	20	22	19	21	23	21	23	25
17	18	20	22	19	21	23	21	23	25
18	17	19	21	18	20	22	20	22	24
19	17	19	21	18	20	22	19	21	23
20	16	18	19	17	19	21	18	20	22

Fuente: Juárez, Eulalio (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México D.F., México: LIMUSA.

CAPÍTULO II: ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO

2.1. Recolección de información preliminar.

En esta etapa se desarrolló la obtención de información respecto al plano de conjunto, con sus curvas topográficas de nivel del terreno (ver Anexo II), y se investigó acerca de otros análisis de suelos realizados en sectores cercanos al proyecto. Todo lo mencionado anteriormente, enriqueció el análisis previo, visual y superficial de terreno, así como las características de los distintos tipos de suelos que se encontraron en los sondeos.

2.2. Visitas técnicas.

Se realizaron visitas al lote del proyecto, ubicado en la urbanización “Jardines de Santo Domingo”, en el sector de Santo Domingo, en la ciudad de Managua (Ver Anexo I). Estas visitas fueron en función de analizar visualmente el estado natural del terreno, el tipo de tratamiento hasta el momento, la topografía del terreno, posible existencia de canales pluviales, cajas de registro sanitario, pozos de visita sanitarios, de infiltración o pluviales, cajas de registro eléctricas, postes de cableado eléctrico, postes de cableado de redes y de comunicación, y la ubicación de los sondeos a percusión, sondeos manuales y pozos de infiltración que se realizaron con ayuda de los planos topográficos de curvas de nivel del terreno y de una planta arquitectónica y estructural del proyecto.

2.3. Exploración del suelo - Prueba de penetración estándar SPT.

Para conocer las propiedades ingenieriles del subsuelo es necesario explorar el suelo, recopilando la información de los distintos estratos que sustentan el diseño de terrazas, taludes y cimentaciones; además de identificar las diferentes características que lo componen en profundidad, niveles de aguas subterráneas y fallas locales, que evidencien la vulnerabilidad de la construcción, mediante una técnica conocida como sondeo, para posteriormente analizar las muestras en un laboratorio. (Ver Anexo IV).

Los Sondeos mecánicos se llevan a cabo mediante equipos que permiten alcanzar grandes profundidades, incluso más allá del nivel freático y capas rocosas. Dichos sondeos se clasifican según el método de perforación; siendo el apropiado para este estudio, el Sondeo a percusión o golpeo.

En la fase de exploración y muestreo del sitio, se realizó el ensayo que está comprendido por medio del estudio de penetración estándar, con sus siglas en inglés: S.P.T. (Standard Penetration Test). Este método proporcionó muestras alteradas del suelo analizado.

2.3.1. Ubicación y profundidad de los sondeos

La ubicación de los sondeos y la profundidad de los mismos se determinaron mediante una evaluación preliminar de la infraestructura a construirse, en el caso de este proyecto, una edificación de dos plantas con una topografía terrenal bastante accidentada. La profundidad mínima de los sondeos fue predeterminada en base a los diferentes suelos encontrados y la infraestructura a construir.

Para determinar la profundidad mínima aproximada de sondeo se hizo uso de la tabla N°3, la cual relaciona la profundidad de acuerdo al número de pisos de la edificación, el espaciamiento de los sondeos se determinó por medio de la tabla N°4 y en el apartado de “Anexo II” se logra observar el plano de ubicación final de los sondeos.

Tabla N°3: Parámetros de determinación de profundidad de perforación en muestreo de suelos.

Número de pisos	Profundidad de la perforación	
	Metros	Pies
1	3.5	11
2	6	20
3	10	33
4	16	53
5	24	79

Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones. Sacramento, California: International Thomson Editores.

Tabla N°4: Parámetros de determinación de espaciamiento entre perforaciones en muestreos de suelos.

Tipo de proyecto	Espaciamiento	
	Metros	Pies
Edificio de varios pisos	10-30	30-100
Plantas industriales de una planta	20-60	60-200
Carreteras	250-500	800-1600
Subdivisiones residenciales	250-500	800-1600
Presas y diques	40-80	130-260

Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones. Sacramento, California: International Thomson Editores.

2.3.2. Procedimiento de campo - Recolección de muestras

2.3.2.1. Prueba de penetración normal SPT (Standard Penetration Test, ASTM D 1586).

Con las directrices generales proporcionadas por las tablas N°3 y N°4, el espaciamiento se estableció entre 10-20 metros entre sondeos, según las condiciones del subsuelo y la topografía del terreno; así mismo la profundidad de los sondeos N°1 – N° 6, se designó en 4.95 metros cada uno, ya que el valor de golpes “N” fue superior a 50. Se consideró, bajo criterio de los ingenieros en campo, que las zapatas ya no transmitirían cargas a esa profundidad debido al nivel de desplante que se consideraba proponer en su momento (1.50m). El sondeo N°7 se ejecutó a la profundidad de 6 metros tal y como se indica en la tabla N°1, ya que no se había alcanzado el valor de golpes “N” de 50 o superior, para poder aplicar el mismo criterio anterior.

Nota: Ver Anexo V para ilustraciones de las cajas de recolección de muestras de campo y ver Anexo VI para las columnas stratigráficas y gráficos de penetración estándar de los sondeos N°1 al N°7.

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de campo:

Tabla N°5: Resultados prueba de penetración estándar N°1
Sondeo N°1
Profundidad: 4.95mts
Nivel TN= 428.43
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	2	5	6	11	Arena fina volcánica
0.45-0.90	4	5	8	13	Arena fina volcánica
0.90-1.35	7	4	4	8	Arena fina volcánica
1.35-1.80	5	6	11	17	Arena limosa con pómez
1.80-2.25	16	12	15	27	Arena limosa gruesa con escoria
2.25-2.70	18	15	20	35	Arena limosa gruesa con escoria
2.70-3.15	21	21	20	41	Arena limosa, cantera
3.15-3.60	19	22	21	43	Arena limosa, cantera
3.60-4.05	18	32	22	54	Arena limosa con escoria
4.05-4.50	20	24	32	56	Arena limosa con escoria
4.50-4.95	25	20	30	50	Arena limosa con escoria

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°6: Resultados prueba de penetración estándar N°2
Sondeo N°2
Profundidad: 4.95mts
Nivel TN= 427.90
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	3	3	4	7	Grava limosa con arena
0.45-0.90	8	11	10	21	Grava limosa con arena
0.90-1.35	12	17	22	39	Arena limosa - pómez
1.35-1.80	20	13	10	23	Arena limosa - pómez
1.80-2.25	9	7	5	12	Arena limosa gruesa con escoria
2.25-2.70	7	6	7	13	Arena limosa gruesa con escoria
2.70-3.15	9	7	9	16	Arena limosa gruesa con escoria
3.15-3.60	13	10	15	25	Limo arenoso con pómez
3.60-4.05	17	30	28	58	Arena limosa, cantera
4.05-4.50	24	24	28	52	Arena limosa, cantera
4.50-4.95	22	19	25	44	Arena limosa, cantera

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°7: Resultados prueba de penetración estándar N°3

Sondeo N°3

Profundidad: 4.95mts

Nivel TN= 426.91

Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	6	9	10	19	Arena limosa, cantera
0.45-0.90	8	12	14	26	Arena limosa, cantera
0.90-1.35	9	6	9	15	Arena limosa, cantera
1.35-1.80	8	10	6	16	Arena limosa con pómez
1.80-2.25	7	6	10	16	Arena limosa gruesa con escoria
2.25-2.70	12	15	15	30	Arena limosa gruesa con escoria
2.70-3.15	18	15	20	35	Arena fina volcánica
3.15-3.60	22	22	28	50	Arena fina volcánica
3.60-4.05	21	26	30	56	Arena fina volcánica
4.05-4.50	25	20	25	45	Arena fina volcánica
4.50-4.95	19	24	18	42	Arena fina volcánica

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°8: Resultados prueba de penetración estándar N°4
Sondeo N°4
Profundidad: 4.95mts
Nivel TN= 425.24
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	1	3	4	7	Arena limosa
0.45-0.90	3	3	2	5	Arena limosa - pómez
0.90-1.35	5	7	7	14	Arena limosa - pómez
1.35-1.80	9	9	8	17	Arena limosa
1.80-2.25	5	3	4	7	Arena limosa
2.25-2.70	5	9	15	24	Arena limosa
2.70-3.15	15	16	15	31	Arena limosa
3.15-3.60	15	17	16	33	Arena limosa con pómez
3.60-4.05	12	18	12	30	Arena limosa, cantera
4.05-4.50	10	15	13	28	Arena limosa, cantera
4.50-4.95	9	12	10	22	Arena limosa, cantera

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°9: Resultados prueba de penetración estándar N°5

Sondeo N°5
Profundidad: 4.95mts
Nivel TN= 426.71
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	2	2	5	7	Limo de baja plasticidad arenoso
0.45-0.90	5	4	4	8	Arena limosa
0.90-1.35	5	5	5	10	Grava limosa con arena
1.35-1.80	4	6	6	12	Grava limosa con arena
1.80-2.25	11	8	7	15	Grava limosa con arena
2.25-2.70	9	8	8	16	Grava limosa con arena
2.70-3.15	20	18	18	36	Grava limosa con arena
3.15-3.60	15	12	12	24	Grava limosa con arena
3.60-4.05	29	39	42	81	Arena limosa gruesa con escoria
4.05-4.50	38	46	51	97	Arena limosa gruesa con escoria
4.50-4.95	50	49	50	99	Arena limosa gruesa con escoria

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°10: Resultados prueba de penetración estándar N°6
Sondeo N°6
Profundidad: 4.95mts
Nivel TN= 428.23
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	1	3	5	8	Arena limosa
0.45-0.90	5	7	5	12	Arena limosa
0.90-1.35	10	10	11	21	Arena limosa gruesa con escoria
1.35-1.80	12	10	10	20	Grava limosa con arena
1.80-2.25	12	11	8	19	Grava limosa con arena
2.25-2.70	7	9	9	18	Arena limosa
2.70-3.15	12	16	21	37	Arena limosa
3.15-3.60	19	25	23	48	Arena limosa gruesa con escoria
3.60-4.05	21	24	27	51	Arena limosa gruesa con escoria
4.05-4.50	22	26	31	57	Arena limosa gruesa con escoria
4.50-4.95	28	32	37	69	Arena limosa gruesa con escoria

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°11: Resultados prueba de penetración estándar N°7
Sondeo N°7
Profundidad: 6.30mts
Nivel TN= 429.99
Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	6	8	13	21	Arena limosa
0.45-0.90	7	7	9	16	Arena limosa
0.90-1.35	6	11	8	19	Arena limosa, cantera
1.35-1.80	15	15	14	29	Arena limosa, cantera
1.80-2.25	12	8	7	15	Arena limosa con escoria
2.25-2.70	8	12	14	26	Arena limosa con escoria
2.70-3.15	16	20	28	48	Arena limosa
3.15-3.60	22	20	20	40	Arena limosa gruesa con escoria
3.60-4.05	19	15	20	35	Arena limosa gruesa con escoria
4.05-4.50	9	15	22	37	Arena limosa gruesa con escoria
4.50-4.95	22	20	18	38	Arena limosa gruesa con escoria
4.95-5.40	12	15	10	25	Arena limosa gruesa con escoria
5.40-5.85	19	22	20	42	Arena limosa gruesa con escoria
5.85-6.30	18	27	30	57	Arena limosa gruesa con escoria

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.2. Capacidad de carga de los suelos utilizando el método SPT.

El método SPT se utilizó para determinar parámetros geotécnicos “in situ”, tales como la capacidad portante del suelo, la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, el coeficiente de balasto y el ángulo de fricción interna; parámetros que son necesarios para el diseño de cimentaciones.

Mediante se realizó el sondeo, se anotaron, en la libreta de campo, profundidades, los números de valores de resistencia del suelo (valor “N”), la clasificación visual de los suelos retenidos y se tomaron muestras a cada 90cm de profundidad para su respectivo ensaye de determinación de humedad.

Con el valor de “N de campo” se pueden obtener los datos mencionados anteriormente, pero se realizó algunas correcciones que hicieron variar ligeramente el valor de “N final de campo”. Al valor nuevo se le llama “N corregido”; valor que se calculó y se utilizó para cálculo de capacidad de carga última del suelo en el Capítulo III, en el apartado de parámetros de diseño de cimentación de la edificación, en la sección de cálculo de carga ultima de los suelos.

2.3.2.3. Capacidad de infiltración de los suelos

El ensayo SPT cumplió una doble función en la capacidad de infiltración de los suelos, debido a que se desarrolló como apoyo de generación de información de los suelos para conocer propiedades físico-mecánicas de estos y resistencias de los mismos, y a su vez, subsanando la necesidad de conocer las propiedades permeables con las que cuentan cada una de las muestras encontradas en el ensayo.

Es motivo de ello que el agua entra en el suelo por los intersticios de mayor tamaño, viajando por gravedad a través de estos y pasando a los de menor tamaño por capilaridad, implicando de esta manera la entrada y el movimiento del agua en el suelo.

Nota: Anexo VI para las columnas estratigráficas y gráficos de penetración estándar de los sondeos PI-1 y PI-2.

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de campo:

Tabla N°12: Resultados prueba de penetración estándar PI-1

Sondeo PI - 1

Profundidad: 3.05mts / 9.6 pies

Nivel TN= 428.43

Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	5	8	10	18	Arcilla media plasticidad con arena
0.45-0.90	8	12	14	26	Arcilla media plasticidad
0.90-1.35	18	23	31	54	Grava limosa con arena
1.35-1.80	20	18	9	27	Grava limosa con arena
1.80-2.25	13	18	33	51	Limo fino con arena
2.25-2.70	46	40	45	85	Arcilla gravosa
2.70-3.15	53	60	0	60	Grava limo arenosa

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°13: Resultados prueba de penetración estándar PI-2

Sondeo PI - 2

Profundidad: 4.27mts / 13.6 pies

Nivel TN= 427.90

Nivel TT= 428.90

Profundidad (m)	Número de golpes cada 15cm			Valor (N)	Clasificación de campo
	15cm	30cm	45cm		
0.00-0.45	8	19	23	42	Arcilla media plasticidad con arena
0.45-0.90	17	11	8	19	Arcilla media plasticidad
0.90-1.35	8	8	7	15	Arcilla gravosa
1.35-1.80	10	11	9	20	Arcilla gravosa
1.80-2.25	11	11	32	43	Arcilla gravosa
2.25-2.70	44	46	29	75	Grava limo arenosa
2.70-3.15	49	48	41	89	Grava limo arenosa
3.15-3.60	29	25	45	70	Arcilla media plasticidad
3.60-4.05	46	48	53	101	Limo fino con arena
4.05-4.50	56			0	Limo fino con arena

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.4. Sondeos manuales.

El proceso de extracción de muestras representativas de los estratos encontrados se llevó a cabo realizando una calicata de 0.80m de largo, 0.80m de ancho y 1.50m de profundidad, en la cual se utilizó una pala y de manera manual se retiró del perfil de suelo una porción de suelo del sitio, introduciéndose en una bolsa de plástico de 5 lbs para ser enviada al laboratorio para sus respectivos ensayos.

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de campo:

Tabla N°14: Resultados sondeo manual N°1

Sondeo SM - 1

Profundidad: 1.50 mts

Nivel TN= 428.55

Nivel TT= 427.05

Profundidad (m)	Clasificación de campo
0.00-0.75	Arena limosa color café
0.75-1.50	Arena limosa color gris

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°15: Resultados sondeo manual N°2

Sondeo SM - 2

Profundidad: 1.50 mts

Nivel TN= 429.24

Nivel TT= 427.74

Profundidad (m)	Clasificación de campo
0.00-1.00	Arcilla limosa color café oscuro
1.00-1.50	Arcilla arenosa color café

Fuente: Elaboración propia.

2.3.3. Determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo

Las pruebas de laboratorio desempeñadas para lograr determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos fueron:

- Prueba de contenido de humedad, realizada siguiendo las normativas ASTM D-2266 y AASHTO T-265.
- Prueba de análisis granulométrico de los suelos, ejecutada según indica la norma ASTM D-422.
- Prueba de límites de consistencia de Atterberg, desempeñada bajo criterios de la norma ASTM D 4318.
- Clasificación de suelos, elaborada por medio de las normas AASHTO (M 145) y SUCS (ASTM D-2487-19).

Una vez mencionada las pruebas realizadas y las designaciones de normas utilizadas en el desempeño de ellas como tal, se procedió a calcular, obteniéndose los siguientes resultados:

REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, SONDEO SPT 1 al SPT 7.

Tabla N°16: Resultados de ensayos de suelos - SPT 1

SONDEO N°1 - SPT 1													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-1-35	100	100	100	98	93	51	14	N.P.	N.P.	11.80%	SM	A-2-4 (0)
2	1.35-1.80	100	100	100	96	92	64	44	38	3	22.30%	SM	A-4 (0)
3	1.80-2.70	100	96	94	90	74	38	16	N.P.	N.P.	3.00%	SM	A-1-b (0)
4	2.70-3.60	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	11.10%	SM	A-1-b (0)
5	3.60-4.95	100	96	94	90	74	38	16	N.P.	N.P.	2.30%	SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°17: Resultados de ensayos de suelos - SPT 2

SONDEO N°2 - SPT 2													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-0.90	100	100	93	68	60	48	38	44	13	16.60%	GM	A-7-5 (1)
2	0.90-1.80	100	100	84	68	57	41	30	N.P.	N.P.	15.20%	SM	A-2-4 (0)
3	1.80-3.15	100	96	94	90	74	38	16	N.P.	N.P.	2.60%	SM	A-1-b (0)
4	3.15-3.60	100	100	100	96	92	64	44	38	3	16.10%	ML	A-4 (0)
5	3.60-4.95	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	8.20%	SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°18: Resultados de ensayos de suelos - SPT 3

SONDEO N°3 - SPT 3													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-1.35	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	7.40%	SM	A-1-b (0)
2	1.35-1.80	100	100	100	96	92	31	11	38	3	12.00%	SM	A-4 (0)
3	1.80-2.70	100	96	94	90	74	38	16	N.P.	N.P.	12.90%	SM	A-1-b (0)
4	2.70-4.95	100	100	100	98	93	51	14	N.P.	N.P.	20.30%	SM	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°19: Resultados de ensayos de suelos - SPT 4

SONDEO N°4 - SPT 4													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-0.45	100	100	98	85	74	55	38	39	12	28.20%	SM	A-4 (0)
2	0.45-0.60	100	100	84	68	57	41	30	N.P.	N.P.	9.40%	SM	A-2-4 (0)
3	0.60-0.90	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	22.20%	SM	A-1-b (0)
4	0.90-3.15	100	100	100	98	93	51	14	N.P.	N.P.	19.80%	SM	A-2-4 (0)
5	3.15-3.60	100	100	100	96	92	64	44	38	3	7.90%	SM	A-4 (0)
6	3.60-4.95	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	7.40%	SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°20: Resultados de ensayos de suelos - SPT 5

SONDEO N°5 - SPT 5													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-0.45	100	100	99	93	85	68	53	37	5	18.30%	ML	A-4 (1)
2	0.45-0.90	100	100	98	85	74	55	38	39	12	17.10%	SM	A-4 (0)
3	0.90-3.60	100	100	93	68	60	48	38	44	13	14.60%	GM	A-7-5 (1)
4	3.60-4.95	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	22.40%	SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°21: Resultados de ensayos de suelos - SPT 6

SONDEO N°6 - SPT 6

N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz								L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	SUCS				HRB	
		1	0.00-0.45	100	100	98	85	74	55				38	39	12	46.30%	SM	A-4 (0)
2	0.45-0.90	100	100	84	68	57	41	30	N.P.	N.P.	48.80%	SM	A-2-4 (0)	
3	0.90-1.35	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	26.80%	SM	A-1-b (0)	
4	1.35-2.25	100	100	93	68	60	48	38	44	13	30.90%	GM	A-7-5 (1)	
5	2.25-3.15	100	100	84	68	57	41	30	N.P.	N.P.	35.40%	SM	A-2-4 (0)	
6	3.15-4.95	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	22.40%	SM	A-1-b (0)	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°22: Resultados de ensayos de suelos - SPT 7

SONDEO N°7 - SPT 7

N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz								L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	SUCS				HRB	
		1	0.00-0.90	100	100	84	68	57	41				30	N.P.	N.P.	31.20%	SM	A-2-4 (0)
2	0.90-1.80	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	21.10%	SM	A-1-b (0)	
3	1.80-2.70	100	96	94	90	74	38	16	N.P.	N.P.	6.20%	SM	A-1-b (0)	
4	2.70-3.15	100	100	100	96	92	64	44	38	3	11.60%	SM	A-4 (0)	
5	3.15-6.30	100	95	82	65	53	39	22	N.P.	N.P.	11.00%	SM	A-1-b (0)	

Fuente: Elaboración propia.

REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, PRUEBA DE INFILTRACIÓN PI-1 y PI-2.

Tabla N°23: Resultados de ensayos de suelos - PI 1

SONDEO PI - 1													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-0.45	100	100	100	100	99	93	83	49	25	21.10%	CL	A-7-6 (22)
2	0.45-0.90	100	100	100	100	99	98	97	40	18	19.70%	CL	A-6 (19)
3	0.90-1.80	100	100	87	66	63	59	44	N.P	N.P	14.70%	GM	A-4 (0)
4	1.80-2.25	100	100	100	100	98	94	84	N.P	N.P		ML	A-4 (0)
5	2.25-2.70	100	100	98	71	70	68	62	25	9		CL	A-4 (3)
6	2.70-3.00	100	100	87	66	63	59	44	N.P	N.P		GM	A-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°24: Resultados de ensayos de suelos - PI 2

SONDEO PI - 2													
N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz							L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación	
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				SUCS	HRB
1	0.00-0.45	100	100	100	100	99	93	83	49	25		CL	A-7-6 (22)
2	0.45-0.90	100	100	100	100	99	98	97	40	18	14.90%	CL	A-6 (19)
3	0.90-2.25	100	100	98	71	70	68	62	25	9	17.30%	CL	A-4 (3)
4	2.25-3.15	100	100	80	60	55	47	35	N.P	N.P	7.20%	GM	A-2-4 (0)
5	3.15-3.60	100	100	100	100	99	97	92	N.P	N.P	21.50%	CL	A-6 (19)
6	3.60-4.20	100	100	100	100	98	94	84	N.P	N.P		ML	A-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS, SONDEOS MANUALES SM-1 y SM-2.

Tabla N°25: Resultados de ensayos de suelos - SM 1

SONDEO MANUAL SM - 1

N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz						L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación		
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40				N°200	SUCS	HRB
1	0.00-0.75	100	100	84	68	57	41	30	37	7	31.20%	SM	A-2-4 (0)
2	0.75-1.50	100	95	82	65	53	39	22	25	4	21.10%	SM	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°26: Resultados de ensayos de suelos - SM 2

SONDEO MANUAL SM - 2

N° Muestra	Profundidad	% que pasa por tamiz						L.L. (%)	I.P. (%)	Humedad (%)	Clasificación		
		1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40				N°200	SUCS	HRB
1	0.00-1.00	100	100	100	100	99	93	83	49	25	14.90%	CL	A-7-6 (19)
2	1.00-1.50	100	100	98	71	70	68	62	25	9	17.30%	CL	A-4 (3)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: PARÁMETROS DE DISEÑO DE CIMENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

3.1. Cálculo de capacidad de carga última del suelo

Antes de la implementación de la fórmula para el cálculo de carga admisible, se corrigió los números de golpes “N” en los SPT al nivel de desplante deseado, o bien llámese 1.5m de desplante, ya que existen múltiples factores como una inadecuada limpieza de la perforación, energía aplicada variable o pérdida de presión por un extremo rozamiento en la caída, que podrían ocasionar una “mala práctica” del sondeo al momento del desarrollo del mismo. Motivo de esto, el procedimiento a desarrollar a continuación, es para apropiarse a la resistencia del suelo con la energía aplicada al momento del sondeo.

El desplante seleccionado en 1.5m se implementó bajo el concepto de cimentación superficial de Terzaghi, en el cual nos indica que la profundidad de la zapata debe de ser igual o menor al ancho mínimo de zapata (1.2m). Dicho lo anterior, se decidió, basados en los datos recolectados en la prueba de penetración estándar, desplantar los cimientos en 1.5m (0.30m más), dado que el comportamiento del “N” obtenido de la Prueba de Penetración Estándar, muestra un incremento de la capacidad de carga a esa profundidad.

La corrección de número de golpes “N” consistió en multiplicar el valor “N” obtenido en el campo con un factor del 70% (0.7); porcentaje obtenido para profundidades menores de 3m en sondeos a percusión (ver tabla N°27 a continuación). No fue el caso de los sondeos, pero sí de la profundidad de desplante de la cimentación.

Tabla N°27: Factor de corrección N

Longitud del varillaje	Factor de Corrección g
>10 m	1
6 a 10 m	0.95
4 a 6 m	0.85
3 a 4 m	0.75
0 a 3m	0.7

Fuente: *Foundation Analysis and Design, 5th Edition. Joseph E. Bowles.*

Para el desarrollo de la corrección del número de golpes, se retomó a las tablas N°5 a la N°11, seleccionando los números de golpes “N” a la profundidad a analizar (1.5m), mismos que serían corregidos con su respectivo porcentaje, mostrando los resultados a continuación en la tabla N°28. Seguidamente, siempre ubicados en el desplante de las zapatas, se extrajo de las tablas N°16 a la N°22, la clasificación SUCS y HRB de los suelos encontrados a 1.5m de profundidad; realizando la siguiente tabla resumen de recolección de datos:

Tabla N°28: Características de los suelos ubicados a 1.5m de profundidad según sondeos SPT

N° Sondeo	Valor (N)	Factor de Corrección	N Corregido (Nc)	Clasificación de los suelos		
				S.U.C.S.	H.R.B.	
N°1	17	0.7	12	SM	Arena limosa con pómez	A-4 (0)
N°2	23	0.7	16	SM	Arena limosa - pómez	A-2-4 (0)
N°3	16	0.7	11	SM	Arena limosa con pómez	A-4 (0)
N°4	17	0.7	12	SM	Arena limosa	A-2-4 (0)
N°5	12	0.7	8	GM	Grava limosa con arena	A-7-5 (1)
N°6	20	0.7	14	GM	Grava limosa con arena	A-7-5 (1)
N°7	29	0.7	20	SM	Arena limosa, cantera	A-1-b (0)

Fuente: *Elaboración propia.*

Debido a las características físicas mecánicas de los suelos, tales como granulometría, plasticidad y clasificación, son similares, se procedió a agrupar las muestras de suelo de los sondeos N°1 - N°3, N°2 – N°4, N°5 – N°6 y N°7 (es único) obteniendo de esta manera: 2 suelos A-4, 2 suelos A-2-4, 2 suelos A-7-5 y 1 suelo A-1-b.

Una vez corregido el número de golpes “N” y agrupados los suelos, se procedió a realizar el cálculo de capacidad de carga admisible en los estratos seleccionados.

Al obtener 4 grupos de suelos, se realizó 4 cálculos de capacidad de carga admisible, de tal manera que se procedió a seleccionar el valor “N” corregido más bajo de cada grupo, garantizando de esta manera la cobertura de cálculo de las demás muestras.

Aplicando la ecuación N°16, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N°29: Resultados de capacidad de carga admisible

Suelo	Nc	S	Constante	Q adm (Kg/Cm2)
A-4	11	1	8	1.38
A-2-4	12	1	8	1.50
A-7-5	8	1	8	1.00
A-1-b	20	1	8	2.50

Fuente: Elaboración propia.

Apoyados en la teoría de relaciones entre número de golpes y capacidad de carga admisible para suelos finos y suelos arenosos de Terzaghi y Peck, reflejada en las ilustraciones N°13 y N°14, podemos deducir que los estratos naturales de los suelos clasificados como A-4, A-1-b y A-2-4, están medianamente compactos o densos, y los estratos de suelos A-7-5 tienen una compactación floja o suelta.

Ilustración 13: Relaciones entre Número de golpes y capacidad de carga admisible para suelos finos.

N	En arcillas		ϕ Ángulo de fricción interna	E kg/cm ²
	q_u , kg/cm ²	Descripción		
< 2	< 0.25	Muy blanda	0°	3
2 — 4	0.25 — 0.50	Blanda	0 — 2	30
4 — 8	0.50 — 1.00	Media	2 — 4	45 — 90
8 — 15	1.00 — 2.00	Compacta	4 — 6	90 — 200
15 — 30	2.00 — 4.00	Muy compacta	6 — 12	> 200
> 30	> 4.00	Dura	> 14	

Fuente: Terzaghi, K.; Peck, R.B.; Mesri, G. (1996).- Soil Mechanics in Engineering Practice.-3rd. Edition- John Wiley and Sons.

Ilustración 14: Relaciones entre Número de golpes y capacidad de carga admisible para suelos arenosos.

N_{cor}	En arenas		ϕ Ángulo de fricción interna	E kg/cm ²
	Descripción	Compacidad relativa		
0 — 4	Muy floja	0 — 15 %	28°	100
5 — 10	Floja	16 — 35 %	28 — 30	100 — 250
11 — 30	Media	36 — 65 %	30 — 36	250 — 500
31 — 50	Densa	66 — 85 %	36 — 41	500 — 1000
> 50	Muy densa	86 — 100 %	> 41	> 1000

Fuente: Terzaghi, K.; Peck, R.B.; Mesri, G. (1996).- Soil Mechanics in Engineering Practice.-3rd. Edition- John Wiley and Sons.

Una vez determinada la compacidad relativa de los suelos naturales, se decidió realizar un mejoramiento de suelo debido a la presencia de suelos finos limosos y arcillosos. El mejoramiento tendría como objetivo disminuir la humedad natural e inducida en el terreno, previendo de esta manera que los suelos se tornen muy inestables ante un aumento de plasticidad o una posible saturación en los estratos superiores, medios e inferiores de la cimentación. De esta manera se evitarían futuros desplazamientos o hundimientos en las zapatas.

El mejoramiento a realizar cumpliría un doble objetivo en función de los suelos, ya que adicionalmente garantizaría una mayor resistencia en los estratos inferiores de la cimentación, debido a que actualmente tienen una compactación natural relativa medianamente densa y floja. Dicho mejoramiento aumentaría su compactación relativa entre densa y muy densa.

Para este mejoramiento se contemplan dos alternativas; un mejoramiento físico/mecánico y un mejoramiento químico.

3.2. Mejoramiento de suelos para fundaciones.

3.2.1. Alternativa N°1 - Mejoramiento físico/mecánico.

Retirar una capa de 30cm del material del sitio por debajo del nivel de desplante de las zapatas (1.50m) y agregar material del banco Pista Suburbana en mezcla con proporción 60/40 (60% material del sitio y 40% material de banco). Una vez obtenido el material de mezcla, colocar y compactar a un mínimo de 95% Proctor estándar.

Nota: Si se aplicara esta alternativa de mejoramiento, se debe de utilizar el mismo diseño de mezcla presentado en el Anexo VII. A su vez, realizar una reproducción de la mezcla y de los ensayos de Granulometría, límites, peso volumétrico seco máximo y CBR, por un laboratorio certificado, para la correcta implementación del material y debido control de calidad en el proyecto.

3.2.2. Alternativa N°2 - Mejoramiento químico.

Retirar una capa de 30cm del material del sitio por debajo del nivel de desplante de las zapatas, acompañar con cemento en proporción 1/10 (1 bolsa de cemento por cada 10 pie cúbico de material del sitio) y agregar agua hasta obtener una mezcla de lodo-cemento con un revenimiento de 5" +/- 1".

Una vez obtenida la mezcla, colocar en sustitución del material del sitio, dejarla fraguar por un mínimo de 3 días y proceder con el armado de las fundaciones. La mezcla de lodo-cemento deberá de tener una resistencia a la compresión de 34 kg/cm² a la edad de 28 días.

Nota: Si se aplicara esta alternativa de mejoramiento, se debe de utilizar la misma proporción reflejada en el Anexo VIII. A su vez, realizar una reproducción de la mezcla de lodo-cemento, curando los especímenes según indica la ASTM y se deben de realizar los ensayos a la compresión de los cilindros por un laboratorio certificado, garantizando el control de calidad de la obra.

CAPÍTULO IV: CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO.

4.1. Estratigrafía del suelo.

La fase de exploración y muestreo para la determinación de las propiedades ingenieriles del subsuelo, se llevó a cabo por medio del ensayo que está comprendido como el estudio de penetración estándar S.P.T. (Standard Penetration Test), proporcionando muestras alteradas del suelo analizado.

La ubicación de los dos sondeos realizados (PI-1 y PI-2), y la profundidad de estos, se determinaron bajo los mismos parámetros establecidos en los sondeos a percusión, realizados para el cálculo de capacidad de carga última del suelo. Para la profundidad mínima aproximada de sondeo, se utilizó la tabla N°3, la cual relaciona la profundidad, de acuerdo al número de pisos de la edificación. Se procuró que la ubicación de estos sondeos (PI-1 y PI-2) fuera en áreas verdes o zonas de buena alternativa para la construcción de los pozos o zanjas de infiltración, definiendo un sondeo en la zona donde se proyecta construir las vialidades, con el fin de captar las aguas pluviales de calles y parqueos; el otro, en el área del terreno de menor elevación, para poder coleccionar las aguas pluviales de los techos y patios de la edificación. La ubicación de los sondeos PI-1 y PI-2 se logra observar en el mapa de ubicación de sondeos, en el Anexo II.

4.1.1. Propiedades físico mecánicas del suelo

Todos los resultados de las pruebas de laboratorio están ubicadas en el capítulo II de Estratigrafía del suelo, en el apartado 1.6, Determinación de las pruebas físico-mecánicas de los suelos. Dichos ensayos fueron realizados bajo los mismos parámetros y las mismas normativas que los ensayos ejecutados en el capítulo de capacidad de carga última de los suelos, ya que ambos sondeos PI – 1 y PI – 2 funcionan para conocer la estratigrafía del suelo del proyecto como complemento a los demás sondeos ejecutados (7 sondeos).

4.2. Permeabilidad hidráulica de los suelos.

4.2.1. Método de carga constante de LeFranc.

Para este ensayo se realizó dos perforaciones por medios mecánicos, en este caso el sitio propuesto corresponde a los sondeos de penetración PI - 1 y PI - 2, en el cual se procedió al ensayo de Permeabilidad programado.

Primeramente, se cargó de agua el agujero de los sondeos, garantizando que estos se encontraran totalmente saturados, presentando un flujo laminar constante en la superficie, midiendo el caudal utilizado para esta operación.

Seguidamente, siempre manteniendo el flujo laminar, se midió el caudal de agua en forma descendente en intervalos de tiempo mínimos de 1 minuto, una vez establecido un consumo constante. Durante esta etapa se realizó registro de cada una de las lecturas, por lo menos durante un tiempo sostenido mínimo de 30 minutos o mayor, en caso de tener lecturas con variaciones considerables.

Nota: Ver ilustraciones del método aplicado en Anexo IX.

Prueba de Infiltración N°1 / PI - 1.

La prueba de infiltración PI - 1 se saturó por un tiempo de 60 minutos, con suministro de agua constante, hasta que se estableció un flujo laminar uniforme. Posteriormente se tomó durante otros 60 minutos, auxiliado con un cronómetro, dos sets de 10 lecturas cada uno, el primero en conteo de lecturas cada minuto y el segundo en conteo de lecturas cada 5 minutos.

Tabla N°30: Resultados prueba de infiltración, PI -1

PRUEBA DE INFILTRACIÓN - No.1								
PI - 1 Hora de Inicio: 2:15 PM Hora de Finalización: 3:15 PM				Profundidad: 4.27 m Consumo Promedio: 0.51 lts/min				
SET 1 (Conteo cada 1 Minuto)				SET 2 (Conteo cada 5 Minutos)				
Conteo N°	Hora Inicio	Hora Fin	Cons. (lts/min)	Conteo N°	Hora Inicio	Hora Fin	Cons. (lts/5 min)	Cons. (lts/min)
1	2:15	2:16	0.75	1	2:25	2:30	2.00	0.40
2	2:16	2:17	0.75	2	2:30	2:35	1.75	0.35
3	2:17	2:18	0.75	3	2:35	2:40	1.75	0.35
4	2:18	2:19	0.75	4	2:40	2:45	1.75	0.35
5	2:19	2:20	0.75	5	2:45	2:50	1.75	0.35
6	2:20	2:21	0.75	6	2:50	2:55	1.50	0.30
7	2:21	2:22	0.50	7	2:55	3:00	1.50	0.30
8	2:22	2:23	0.50	8	3:00	3:05	1.75	0.35
9	2:23	2:24	0.75	9	3:05	3:10	1.25	0.25
10	2:24	2:25	0.75	10	3:10	3:15	1.25	0.25
Promedio lts/min:			0.70	Promedio lts/min:			0.33	

Fuente: Elaboración propia.

La perforación de la prueba de infiltración PI – 1, tiene 6.0 cm de diámetro, 427 cm de profundidad, y un consumo promedio de 0.51 lt/min. Este consumo se produce en un área de contacto del agua con el suelo de 8,077.05 cm². Para un metro cuadrado de superficie, el consumo será de 0.635 lt/min/m².

Según los datos obtenidos en el proceso de prueba y aplicando la ecuación N°7, se obtiene un Coeficiente de Permeabilidad de:

Tabla N°31: Coeficiente de Permeabilidad, PI - 1

Q cm ³	512.50
L cm	427
A cm	8,077.05
T seg	60
H cm	213.5
K cm/seg	2.12 E-03

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Infiltración N°2 / PI – 2.

La prueba de infiltración PI – 2 se saturó por un tiempo de 60 minutos, con suministro de agua constante, hasta que se estableció un flujo laminar uniforme. Posteriormente se tomó durante 10 minutos, auxiliado con un cronómetro, un solo set de 10 lecturas en conteos por minuto. No se realizó un segundo Set debido a que el consumo del primer Set fue uniforme, dando por finalizada la prueba.

Tabla N°32: Resultados prueba de infiltración, PI - 2

PRUEBA DE INFILTRACIÓN - No.2								
PI - 2 Hora de Inicio: 4:25 PM Hora de Finalización: 4:35 PM				Profundidad: 3.05 m Consumo Promedio: 0.75 lts/min				
SET 1 (Conteo cada 1 Minuto)				SET 2 (Conteo cada 5 Minutos)				
Conteo N°	Hora Inicio	Hora Fin	Cons. (lts/min)	Conteo N°	Hora Inicio	Hora Fin	Cons. (lts/5 min)	Cons. (lts/min)
1	4:25	4:26	0.75	NO SE REALIZÓ CONTEOS DE 5 MINUTOS, POR TENER UN CONSUMO UNIFORME EN EL PRIMER SET.				
2	4:26	4:27	0.75					
3	4:27	4:28	0.75					
4	4:28	4:29	0.75					
5	4:29	4:30	0.75					
6	4:30	4:31	0.75					
7	4:31	4:32	0.75					
8	4:32	4:33	0.75					
9	4:33	4:34	0.75					
10	4:34	4:35	0.75					
Promedio lts/min:			0.75	Promedio lts/min:				

Fuente: Elaboración propia.

La perforación de la prueba de infiltración PI - 2, tiene 6.0 cm de diámetro, 305 cm de profundidad, y un consumo promedio de 0.75 lt/min. Este consumo se produce por tanto en un área de contacto del agua con el suelo de 5,777.40 cm². Para un metro cuadrado de superficie, el consumo será de 1.298 lt/min/m².

Tabla N°33: Coeficiente de permeabilidad, PI - 2

Q cm ³	750.00
L cm	305
A cm	5,777.40
T seg	60
H cm	152.5
K cm/seg	4.33E-03

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las pruebas de infiltración del suelo, son los siguientes:

Tabla N°34: Resultados Coeficiente de permeabilidad, PI - 1 y PI - 2.

Prueba No.	Sondeo No.	Consumo (Q)		Coeficiente de Permeabilidad K (cm/seg)
		lt/min/m ²	lt/día/m ²	
1	8	0.635	913.7	2.12 x 10⁻³
2	9	1.298	1,869.4	4.33 x 10⁻³

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los criterios dados por Casagrande y Fadum en 1,940 y expresados por Karl Terzaghi en su libro "Soil Mechanics in Engineering Practice", reflejados en la ilustración N°15 mostrada a continuación, el valor de K obtenido indica lo siguiente:

Ilustración 15: Coeficiente de permeabilidad según el drenaje característico de los suelos

Coefficient of Permeability k (m/s)												
	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Drainage	Good					Poor			Practically Impervious			
Soil types	Clean gravel	Clean sands, clean sand and gravel mixtures			Very fine sands, organic and inorganic silts, mixtures of sand silt and clay, glacial till, stratified clay deposits, etc.			"Impervious" soils, e.g., homogeneous clays below zone of weathering				
			"Impervious" soils modified by effects of vegetation and weathering									

Fuente: Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri (1963), Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica, 3ra edición. El ateneo editorial.

En el Sitio de los Sondeos PI – 1 y PI - 2, existe un “buen drenaje”, debido a que en estos sectores subyacen estratos limos arenosos y gravo limo-arenosos (A-4 y A-2-4) a diferentes niveles, los cuales permiten la percolación de las aguas superficiales, tanto vertical como lateralmente.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO DE ESPESORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

5.1. Estratigrafía del suelo

La fase de exploración y muestreo para la determinación de las propiedades ingenieriles del subsuelo, se llevó a cabo por medio de sondeos manuales, proporcionando muestras alteradas del suelo analizado.

La ubicación de los dos sondeos realizados se desempeñó en las áreas donde se construirá la vialidad del proyecto; en el acceso principal y en la rotonda de circulación interna.

La profundidad de los sondeos se estableció según el método de diseño de espesores a utilizarse y el tipo de tránsito en la vialidad, los cuales fueron propuestos para tránsito liviano y cargas menores a 5 toneladas de manera diaria, datos que obedecen a la información suministrada por el cliente, ya que es una edificación residencial personal. Por lo tanto, la profundidad solicitada en los sondeos manuales fue de 1.5m.

5.2. Propiedades físico mecánicas del suelo

Todos los resultados de las pruebas de laboratorio están ubicadas en el capítulo II de Estratigrafía del suelo, en el apartado 1.6, Determinación de las pruebas físico-mecánicas del suelo. Dichos ensayos fueron realizados bajo los mismos parámetros y las mismas normativas que los ensayos ejecutados en el capítulo de capacidad de carga última de los suelos y capacidad de infiltración de los suelos, ya que todos los sondeos funcionan para conocer la estratigrafía del suelo del proyecto.

5.3. Criterios de diseño según el método Murillo López de Souza

Para el diseño de espesores de pavimento se necesitan datos adicionales a los utilizados en capítulos anteriores, como lo son los pesos volumétricos de los suelos, el CBR, los datos del material de banco utilizado en la mezcla y las características de la mezcla como tal. De igual manera se necesita conocer el tipo de tránsito y la carga por rueda en la vialidad, datos que fueron supuestos para tránsito liviano y cargas menores a 5 toneladas de manera diaria; a su vez la precipitación media anual de donde se ejecutará la obra, misma que, apoyados con el plano de precipitación media anual de INETER ubicado en el Anexo X, se determinó en un rango de 800mm-1500mm.

A continuación, se presentan los resultados de dichos ensayos de laboratorio, los cuales son necesarios para el desarrollo del diseño de pavimento a proponerse.

Tabla N°35: Resultados de ensayos de suelos - Material del sitio

MATERIAL DEL SITIO															
PVSS (Kg/m ³)	PVSC (Kg/m ³)	PVS Max (Kg/m ³)	Humedad Optima (%)	CBR (95%)	% que pasa por tamiz						Clasificación				
					1"	3/4"	N°4	N°10	N°40	N°200	L.L. (%)	I.P. (%)	SUCS	HRB	
1,150	1,280	1,327	22.70%	13.70%	100	100	84	68	57	41	30	37	7	SM	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°36: Resultados de ensayos de suelos - Material de banco Pista Sub Urbana

MATERIAL DE BANCO																		
PVSS (Kg/m ³)	PVSC (Kg/m ³)	PVS Max (Kg/m ³)	Humedad Optima (%)	CBR (95%)	% que pasa por tamiz						Clasificación							
					2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	L.L. (%)	I.P. (%)	SUCS	HRB
1,100	1,208	1,317	12.70%	5.40%	100	98	87	77	69	63	60	55	33	6	N.P.	N.P.	SP-SC	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°37: Resultados de ensayos de suelos - Material de mezcla 60% sitio / 40% banco

MATERIAL DE MEZCLA 60/40																		
PVSS (Kg/m ³)	PVSC (Kg/m ³)	PVS Max (Kg/m ³)	Humedad Optima (%)	CBR (95%)	% que pasa por tamiz						Clasificación							
					2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	L.L. (%)	I.P. (%)	SUCS	HRB
1,605	1,772	1,860	13.70%	33.10%	100	94	84	72	67	62	57	33	13	3	25	4	SP	A-1-b (0)

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Diseño de espesores de pavimento

Primero se procedió a escoger los materiales a utilizarse como sub rasante y sub base, seleccionándose el material del sitio más apropiado encontrado en los sondeos manuales y el material de mezcla propuesto, respectivamente. De igual manera, se determina el tipo de tránsito, la carga máxima por rueda y la intensidad media anual de lluvia; datos necesarios para el previo análisis y cálculo a elaborar:

Material del sitio	Material de mezcla (60/40)
A-2-4 (0) 0.00m – 0.75m	A-1-b (0)
C.B.R.: 13.7%	C.B.R.: 33.1%

Tipo de Tránsito: Liviano.

Carga Máxima por Rueda: 5 toneladas.

Intensidad Media Anual de Lluvia: 800 – 1500 mm

Posteriormente, la determinación del espesor de las capas es en función del índice de soporte de los materiales, mismo que se calcula a continuación:

Suelo del Sitio.

I.G = 0; entonces I.S = 20

$$I.S = (20 + 14) / 2$$

C.B.R = 13.7%; entonces I.S = 14

$$I.S = 17 \text{ Sub Rasante}$$

Material aceptado para sub rasante según el método Murillo López de Souza.

Banco.

I.G = 0; entonces I.S = 20

$$I.S = (33 + 20) / 2$$

C.B.R = 33.1%; entonces I.S = 33

$$I.S = 27 \text{ Sub Base}$$

Material aceptado para sub base según el método Murillo López de Souza.

Para el dimensionamiento del pavimento se toma en cuenta también el tipo de tránsito, la carga máxima por rueda y la intensidad media anual de lluvia, datos definidos previamente. Según los diversos tipos de tránsito y cargas máximas consideradas, se incrementa el espesor en función de la Densidad Media Anual de Lluvia, siendo para este proyecto, el 10%, procediendo de la siguiente manera:

Dimensionamiento del pavimento.

$$H17 = 21 \text{ cm}$$

$$H20 = 19 \text{ cm (B + R)}$$

$$\text{Capa Sub Base} = 21 \text{ cm} - 19 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$$

$$H17 + \frac{10}{100}H17 = 21 \text{ cm} + 2.1 \text{ cm} = 23.1 \text{ cm} \approx 23 \text{ cm.}$$

$$H20 = 19 \text{ cm} + 1.9 \text{ cm} = 20.9 \text{ cm} \approx 21 \text{ cm.}$$

$$\text{Capa Sub Base} = 23 \text{ cm} - 21 \text{ cm} = 2 \text{ cm}$$

Una vez obtenidos los espesores de la sub rasante y la sub base, se procede a calcular el espesor de la capa base, misma que irá en dependencia del tipo de rodamiento a utilizar en la obra; es por ellos que se proponen 3 tipos de pavimentos distintos según la capa de rodamiento a construir.

El procedimiento continúa realizando una resta entre el espesor total del pavimento, menos la capa de sub base, menos el espesor del rodamiento a seleccionar, tal y como se detalla a continuación:

Revestimiento adoquín – Superficie semi rígida.

Adoquín = 10 cm

Arena = 5 cm (Este espesor se refleja en la estructura, pero no se toma en cuenta en el espesor del pavimento como tal, ya que no presenta un aporte estructural)

Capa Base = 13 cm (*ver nota 2 al final al término de este procedimiento*).

Total de espesor = 23 cm

Revestimiento asfalto – Superficie flexible.

Asfalto = 5 cm

Capa Base = 18 cm (*ver nota 2 al final al término de este procedimiento*).

Total de espesor = 23 cm

Revestimiento concreto hidráulico – Superficie rígida.

Concreto = 10 cm

Capa Base = 13 cm (*ver nota 2 al final al término de este procedimiento*).

Total de espesor = 23 cm

Nota 1: Todos los procedimientos de cálculo se realizaron bajo el procedimiento establecido en el método Murillo López de Souza, teóricamente explícito en el marco teórico de este documento, donde se encuentran las tablas y factores según lo indica el procedimiento.

Nota 2: Debido a que los espesores obtenidos en los cálculos para sub base y base son 2cm y 11cm respectivamente, se deberá unificar ambas capas en una sola, ya que son espesores muy pequeños y que no permitirán una adherencia y/o escarificación adecuada entre ellas. Al momento de unificar una sola capa base, se deberá trabajar con material mejorado, con un C.B.R de 80% o mayor.

CONCLUSIONES

I. Estratigrafía de los suelos.

- En los estratos superficiales (menos de 1 metro de profundidad), predominan los suelos arcillosos, con una capacidad de carga admisible media y compacta, según los valores “N”, mismos que oscilan entre los 5 y 15 golpes por pie.
- En los estratos intermedios (entre 1 y 3 metros de profundidad), prevalecen los suelos areno limosos con escoria gruesa, con una capacidad de carga admisible media, según los valores “N”, mismos que varían 15 y 43 golpes por pie.
- En los estratos profundos (entre 3 y 6 metros de profundidad), existen suelos areno limosos y unos pocos gravo areno limosos, con una capacidad de carga admisible media y densa, según los valores “N”, mismos que varían 43 y 99 golpes por pie.
- Se realizaron sondeos hasta una profundidad máxima de 6 metros sin alcanzar saturación por nivel freático.

II. Parámetros de diseño del nivel de desplante y la capacidad de carga del suelo en las cimentaciones.

Desplante:

Según los resultados de las pruebas físico-mecánicas de los suelos, las zapatas aisladas deberán desplantarse a 1.5m de profundidad.

Capacidad de carga de los suelos.

- Los sondeos 1 y 3 a una profundidad de 1.50 metros presentan suelos del tipo limo arenosos con pómez, con una capacidad de carga estimada en 1.38 kg/cm².
- En el sitio de los sondeos 2 y 4 se evidenció la presencia de un estrato de Arena Limosa - Pómez a la profundidad de desplante con capacidad de soporte de 1.50 kg/cm².

- Sondeos 5 y 6 presentan suelos clasificados como Arcilla Limosa, con capacidad de soportar cargas de 1.00 Kg/cm².
- El sondeo 7 tiene los mejores resultados de capacidad de carga, con 2.50 Kg/cm² en un suelo del tipo Arena Limosa, cantera.

III. Coeficiente de permeabilidad.

Los valores del coeficiente de permeabilidad "K" son de 2.12×10^{-3} cm/seg y 4.33×10^{-3} cm/seg, considerándose como un "buen drenaje".

IV. Propuesta de diseño de espesor de pavimento según el método Murillo López de Souza.

El resultado del espesor de la estructura de pavimento es de 23 cm. Las distintas configuraciones dependerán de la capa de rodamiento a elegir:

Revestimiento adoquín.

Adoquín = 10 cm, Arena* = 5 cm y Capa Base = 13 cm. Total de espesor = 23 cm.

Arena: No se toma en cuenta en el espesor de la estructura de pavimento debido a que no aporta ninguna función estructural en el diseño.*

Revestimiento asfalto.

Asfalto = 5 cm y Capa Base = 18 cm. Total de espesor = 23 cm

Revestimiento concreto hidráulico

Concreto = 10 cm y Capa Base = 13 cm. Total de espesor = 23 cm.

RECOMENDACIONES

- Para la cimentación de la edificación, se debe de utilizar cimentación superficial de contacto directo, desplantada a 1.5m medidos desde el nivel de terraza terminado hasta la parte inferior del cimiento.
- Antes de iniciar la construcción de las zapatas, se recomienda realizar cualquiera de las dos alternativas de mejoramiento de suelo descritas en este documento.
- En el mejoramiento de suelo, se recomienda utilizar materiales con una capacidad de carga última no menor de 3.88 kg/cm².
- Al diseñador hidrosanitario recomendamos considerar los factores de Coeficiente de permeabilidad obtenidos, para definir el sistema de drenaje más adecuado.
- Al diseñador vial recomendamos emplear una de las tres propuestas de estructuras de pavimento determinadas a través del trabajo desarrollado.
- La capa sub rasante se deberá escarificar y compactar nuevamente con un peso volumétrico seco máximo, Proctor estándar, no menor al 95%.
- Debido a que los espesores obtenidos en los cálculos para sub base y base son 2 cm y 11 cm respectivamente, se recomienda unificar ambas capas en una sola, ya que son espesores muy pequeños y que no permitirán una adherencia y/o escarificación adecuada entre ellas.
- Para la capa base, se requiere trabajar con material mejorado o su equivalente, con un C.B.R de 80% o mayor.
- Realizar a los materiales a utilizarse, según la carpeta de rodamiento a implementarse en el proyecto, las pruebas de control de calidad de resistencia y desgaste, según las normativas internacionales AASHTO, ASTM y la normativa nacional Nic 2000.

BIBLIOGRAFÍA

Badillo Juárez, Rodríguez Rico. (2005). Mecánica de suelos 1: Fundamentos de la mecánica de suelos, tomo 1, 2da. Edición (LIMUSA).

Blanco Marvin, Matus Lazo Iván. (2012). Guía de laboratorio de mecánica de suelos 1 (Universidad Nacional de Ingeniería UNI).

Das, Braja M. (2001). Principios de ingeniería de cimentaciones, 4ta. Edición (International Thompson Editores).

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, D-558: Métodos de prueba estándar para la humedad-densidad (peso unitario). Relaciones de mezclas de tierra-cemento.

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, D-422: Método de prueba estándar para el análisis de tamaño de partícula de Suelos.

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, D-4318: Métodos de prueba estándar para el límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos.

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, D-698 Métodos de prueba estándar para Laboratorio características de compactación de suelo mediante Esfuerzo Estándar (12 400 pie-lbf / pie³ (600 kN-m / m³)).

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, D-1557 Métodos de prueba estándar para las características Laboratorio compactación del suelo Usando Esfuerzo Modificado (56.000 pie-lbf / ft³ (2.700 kN-m / m³)).

Normativa ASTM, American Society for Testing and Materials, Método de prueba para la prueba de penetración estándar (SPT) y Muestreo de Suelos con barreno de media caña.

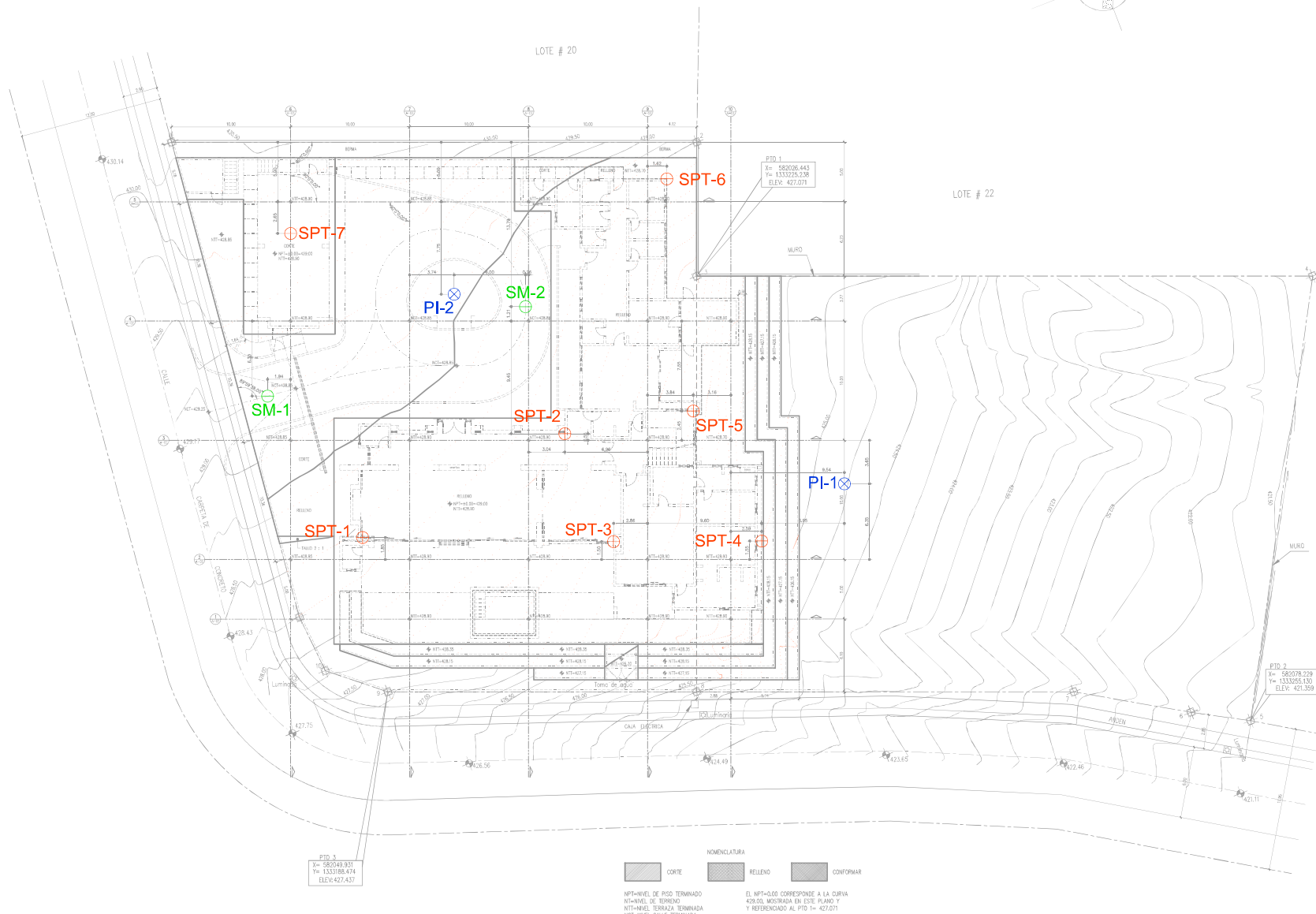
ANEXOS

- I. Ilustraciones de visitas técnicas y exploración del terreno.**
- II. Planta ubicación de los sondeos y curvas de nivel del terreno.**
- III. Tabla de factores de capacidad de carga de los suelos.**
- IV. Ilustraciones de la exploración del suelo – Método de penetración estándar SPT.**
- V. Ilustraciones de las cajas de recolección de muestras de campo.**
- VI. Columnas estratigráficas y gráficos de penetración estándar por sondeos.**
 - VI.1. Sondeo SPT - 1
 - VI.2. Sondeo SPT - 2
 - VI.3. Sondeo SPT - 3
 - VI.4. Sondeo SPT - 4
 - VI.5. Sondeo SPT - 5
 - VI.6. Sondeo SPT - 6
 - VI.7. Sondeo SPT - 7
 - VI.8. Sondeo SPT para prueba de infiltración PI - 1
 - VI.9. Sondeo SPT para prueba de infiltración PI - 2
- VII. Análisis de suelo de material de banco, pista sub urbana y material de mezcla 60/40.**
- VIII. Resultados de ensayos a la compresión de cilindros de lodo-cemento con proporción 1:10.**
- IX. Ilustraciones de la prueba de permeabilidad de los suelos – Método de carga constante de LeFranc.**
- X. Mapa de precipitación media anual de Nicaragua – INETER.**

ANEXO I: Visitas técnicas y exploración del terreno.



ANEXO II: Ubicación de los sondeos y mapa de terrazas.



PTD 3
X= 582049.001
Y= 1333186.474
ELEV: 427.437

PTD 1
X= 582026.443
Y= 1333225.708
ELEV: 427.071

PTD 2
X= 582078.229
Y= 1333245.130
ELEV: 427.350

NOMENCLATURA

	CORTE		RELLENO		CONFORMAR
--	-------	--	---------	--	-----------

El NPT=0.00 CORRESPONDE A LA CURVA 429.00, MOSTRADA EN ESTE PLANO Y REFERENCIADO AL PTD 1= 427.071

<p>Este plano es propiedad intelectual del Arquitecto Alejandro Cardenal Analaia, no permite su copia o liberación sin permiso. Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción sin el consentimiento escrito del autor.</p>	
NOTAS:	
REVISIONES:	
COPIAS:	
PROYECTO: CUADRA SECANE	PROPIETARIO: RESIDENCIA: GRAL. JOAQUIN CUADRA Y SRA.
No. 2 / 2 / 18 / 2018 Versión: 2018-05-03 Autor: JAC	Fecha: 2018-05-03 Autor: JAC
PROYECTO: 10 JULIO ARDENAL ASOCIADOS U.C. # 6183	
ARQUITECTOS INGENIEROS CONSULTORES	
DISEÑO: ARO. ALEJANDRO CARDENAL ANALAIA	
DISEÑO Y COORDINACIÓN: *	
INGENIERIA:	
REVISÓ: *	
CONTENIDO: PLANTA DE TERRAZAS	
PROYECTO N.º *	ESCALA: 1:125
FECHA: 2018, DEL 2017	DIBUJA: LMB

Anexo III: Factores de capacidad de carga.

ϕ	N_c	N_q	N_γ	Φ	N_c	N_q	N_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	6.00	1.10	0.01	27	16.30	6.54	2.88
2	6.30	1.22	0.04	28	17.13	7.07	3.29
3	6.62	1.35	0.06	29	18.03	7.66	3.76
4	6.97	1.90	0.10	30	18.99	8.31	4.39
5	7.34	1.64	0.14	31	20.03	9.03	4.83
6	7.73	1.81	0.20	32	21.16	9.82	5.51
7	8.15	2.00	0.27	33	22.39	10.69	6.32
8	8.60	2.21	0.35	34	23.72	11.67	7.22
9	9.09	2.44	0.44	35	25.18	12.75	8.35
10	9.61	2.69	0.56	36	26.77	13.97	9.41
11	10.16	2.98	0.69	37	28.51	15.32	10.90
12	10.76	3.29	0.85	38	30.43	16.85	12.75
13	11.41	3.63	1.04	39	32.53	18.56	14.71
14	12.11	4.02	1.26	40	34.87	20.50	17.22
15	12.86	4.45	1.52	41	37.45	22.70	19.75
16	13.68	4.92	1.82	42	40.33	25.21	22.50
17	14.60	5.45	2.18	43	43.54	28.06	26.25
18	15.12	6.04	2.59	44	47.13	31.34	30.40
19	16.56	6.70	3.07	45	51.17	35.11	36.00
20	17.69	7.44	3.64	46	55.73	39.48	41.70
21	18.92	8.26	4.31	47	60.91	44.45	49.30
22	20.27	9.19	5.09	48	66.80	50.46	59.25
23	21.75	10.23	6.00	49	73.55	57.41	71.45
24	23.36	11.40	7.08	50	81.31	65.60	85.75
25	25.13	12.72	8.34				

*Fuente: Das, Braja M. (1999) Principios de ingeniería de cimentaciones.
Sacramento, California: International Thomson Editores.*

ANEXO IV: Toma de muestras – “Método de penetración estándar” S.P.T.



ANEXO V: Recolección de muestras de campo.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION**

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 1

Elevación del Sondeo : 428.43

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)									
												0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
SM	427.08	0.15	1.35	Arena fina volcánica		NP	NP	11.8	2	4											
		5								1											
		6							11												
		4							8	2											
		5																			
		8							13	3											
		7							14												
		4								4											
4	8																				
ML	427.98	1.50	0.45	Arena limosa con pómez		38	3	22.3	5	10	5										
		6																			
		11							17	6											
SM	427.53	1.95	0.90	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	3	16	32											
		12								7											
		15							27												
		18							36	8											
		15																			
		20							35	9											
SM	427.53	2.85	0.90	Arena limosa, cantera		NP	NP	11.1	21	42											
		21								10											
		20							41												
		19							38	11											
		22																			
		21							43	12											
SM	427.08	3.75	1.35	Arena limosa con escoria		NP	NP	2.3	18	36											
		32								13											
		22							54												
		20							40	14											
		24																			
		32							56	15											
		25							50												
		20								16											
30	50																				

FIN DEL SONDEO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION**

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 2

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)	
GM	428.00	0.15	0.90	Grava limosa con arena		44	13	16.6	3	6		0	0
		0.30							3	1			
		0.45							4	7			
		0.60							8	16	2		
		0.75							11				
0.90	10	21	3										
SM	427.10	1.05	0.90	Arena limosa - pómez		NP	NP	15.2	12	24		0	0
		1.20							17				
		1.35							22	39	4		
		1.50							20	40	5		
		1.65							13				
1.80	10	23	6										
SM	426.20	1.95	1.35	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	2.6	9	18		0	0
		2.10							7				
		2.25							5	12	7		
		2.40							7	14	8		
		2.55							6				
		2.70							7	13	9		
		2.85							9	18			
		3.00							7				
3.15	9	16	10										
ML	426.20	3.30	0.45	Limo arenoso con pómez		38	3	16.1	13	26	11	0	0
		3.45							10				
		3.60							15	25	12		
SM	424.85	3.75	1.35	Arena limosa, cantera		NP	NP	8.2	17	34		0	0
		3.90							30				
		4.05							28	58	13		
		4.20							24	48	14		
		4.35							24				
		4.50							28	52	15		
		4.65							22	44			
		4.80							19				
4.95	25	44	16										

FIN DEL SONDEO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 3

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)		
												0	100	
SM	427.55	0.15	1.35	Arena limosa, cantera		NP	NP	7.4	6	12		0	100	
		0.30							9		1			
		0.45							10	19				
		0.60							8	16	2			
		0.75							12	26	3			
		0.90							14	18				
		1.05							9	6	4			
		1.20							6	9	15			
SM	427.10	1.50	0.45	Arena limosa con pómez		38	3	12	8	16	5	0	100	
		1.65							10	16	6			
		1.80							6	7	14			
SM	426.20	1.95	0.90	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	12.9	7	14		0	100	
		2.10							6	10	16			7
		2.25							12	24	8			
		2.40							15	15	30			9
		2.55							18	15	36			
		2.70							15	20	35			10
SM	423.95	2.85	2.25	Arena fina volcánica		NP	NP	20.3	22	44	11	0	100	
		3.00							22	28	50			12
		3.15							21	42				
		3.30							26		13			
		3.45							30	56				
		3.60							25	50	14			
		3.75							20					
		3.90							25	45	15			
		4.05							19	38				
		4.20							24		16			
		4.35							18	42				
		4.50												
		4.65												
		4.80												
4.95														

FIN DEL SONDEO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 4

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100												
SM	428.45	0.15	0.45	Arena limosa		39	12		1	2		
		0.30								1		
		0.45								7		
SM	428.30	0.60	0.15	Arena limosa - pómez		NP	NP		3	6	2	
SM	428.00	0.75	0.30	Arena limosa - pómez		NP	NP	28.2	3			
		0.90							2	5	3	
SM	425.75	1.05	2.25	Arena limosa		NP	NP		5	10		
		1.20							7		4	
		1.35							7	14		
		1.50							9	18	5	
		1.65							9			
		1.80							8	17	6	
		1.95							5	10		
		2.10							3		7	
		2.25							4	7		
		2.40							5	10	8	
		2.55							9			
		2.70							15	24	9	
		2.85							15	30		
3.00	16		10									
3.15	15	31										
SM	425.30	3.30	0.45	Arena limosa con pómez		38	3	19.8	15	30	11	
		3.45							17			
		3.60							16	33	12	
SM	423.95	3.75	1.35	Arena limosa, cantera		NP	NP	7.9	12	24		
		3.90							18		13	
		4.05							12	30		
		4.20							10	20	14	
		4.35							15			
		4.50							13	28	15	
		4.65							9	18		
4.80	12		16									
	10	22										

FIN DEL SONDEO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION**

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 5

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)	
												0	100
ML	428.45	0.15	0.45	Limo de baja plasticidad arenoso		37	5		2	4		0	100
		2								1			
		5							7				
SM	428.00	0.60	0.45	Arena limosa		39	12	18.3	5	10	2		
		4											
		4							8	3			
GM	425.30	1.05	2.70	Grava limosa con arena		44	13	17.1	5	10			
		1.20							5		4		
		1.35							5	10			
		1.50							4	8	5		
		1.65							6				
		1.80							6	12	6		
		1.95							11	22			
		2.10							8		7		
		2.25							7	15			
		2.40							9	18	8		
		2.55							8				
		2.70							8	16	9		
		2.85							20	40			
		3.00							18		10		
		3.15							18	36			
		3.30							15	30	11		
3.45	12												
3.60	12	24	12										
SM	423.95	3.75	1.35	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	16.1	29	58			
		3.90							39		13		
		4.05							42	81			
		4.20							38	76	14		
		4.35							46				
		4.50							51	97	15		
		4.65							50	100			
4.80	49		16										
4.95	50	99											

FIN DEL SONDEO



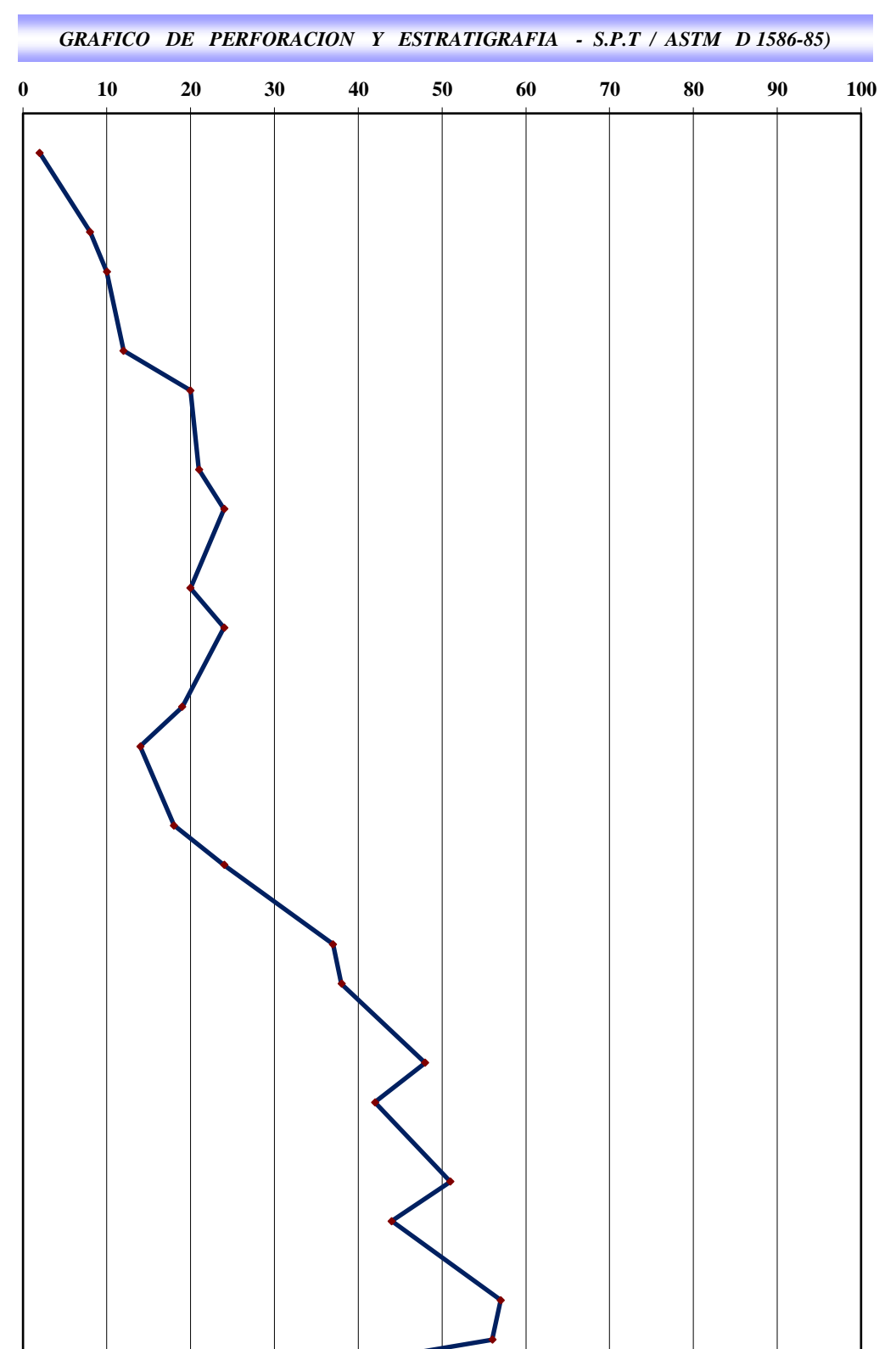
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 6

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)
SM	428.45	0.15	0.45	Arena limosa		39	12		1	2	
		0.30							3		1
		0.45							5	8	
SM	428.00	0.60	0.45	Arena limosa		NP	NP	46.3	5	10	2
		0.75							7		
		0.90							5	12	3
SM	427.55	1.05	0.45	Arena limosa con escoria		NP	NP		10	20	
		1.20							10		4
		1.35							11	21	
GM	426.65	1.50	0.90	Grava limosa con arena		44	13	48.8	12	24	5
		1.65							10		
		1.80							10	20	6
		1.95							12	24	
		2.10							11		7
		2.25							8	19	
SM	425.75	2.40	0.90	Arena limosa		NP	NP	26.8	7	14	8
		2.55							9		
		2.70							9	18	9
		2.85							12	24	
		3.00							16		10
		3.15							21	37	
SM	423.95	3.30	1.80	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	30.9	19	38	11
		3.45							25		
		3.60							23	48	12
		3.75							21	42	
		3.90							24		13
		4.05							27	51	
		4.20							22	44	14
		4.35							26		
		4.50							31	57	15
		4.65							28	56	
		4.80							32		16
4.95	37	69									



FIN DEL SONDEO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

SONDEO: SPT - 7

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (W %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)	GRAFICO DE PERFORACION Y ESTRATIGRAFIA - S.P.T / ASTM D 1586-85)	
												0	100
SM	428.00	0.15	0.90	Arena limosa		NP	NP	31.2	6	12			
		8								1			
		13							21				
		7							14	2			
		7											
		9							16	3			
SM	427.10	1.05	0.90	Arena limosa, cantera		NP	NP	21.1	6	12			
		11								4			
		8							19				
		15							30	5			
		15											
		14							29	6			
SM	426.20	1.95	0.90	Arena limosa con escoria		NP	NP	6.2	12	24			
		8								7			
		7							15				
		8							16	8			
		12											
		14							26	9			
SM	425.75	2.85	0.45	Arena limosa		38	3		16	32			
		20								10			
		28							48				
SM	422.60	3.30	3.15	Arena limosa gruesa con escoria		NP	NP	11.6	22	44	11		
		20											
		20							40	12			
		19							38				
		15								13			
		20							35				
		9							18	14			
		15											
		22							37	15			
		22							44				
		20								16			
		18							38				
		12							24	17			
		15											
		10							25	18			
		19							38				
		22								19			
		20							42				
18	36	20											
27													
30	57	21											

FIN DEL SONDEO



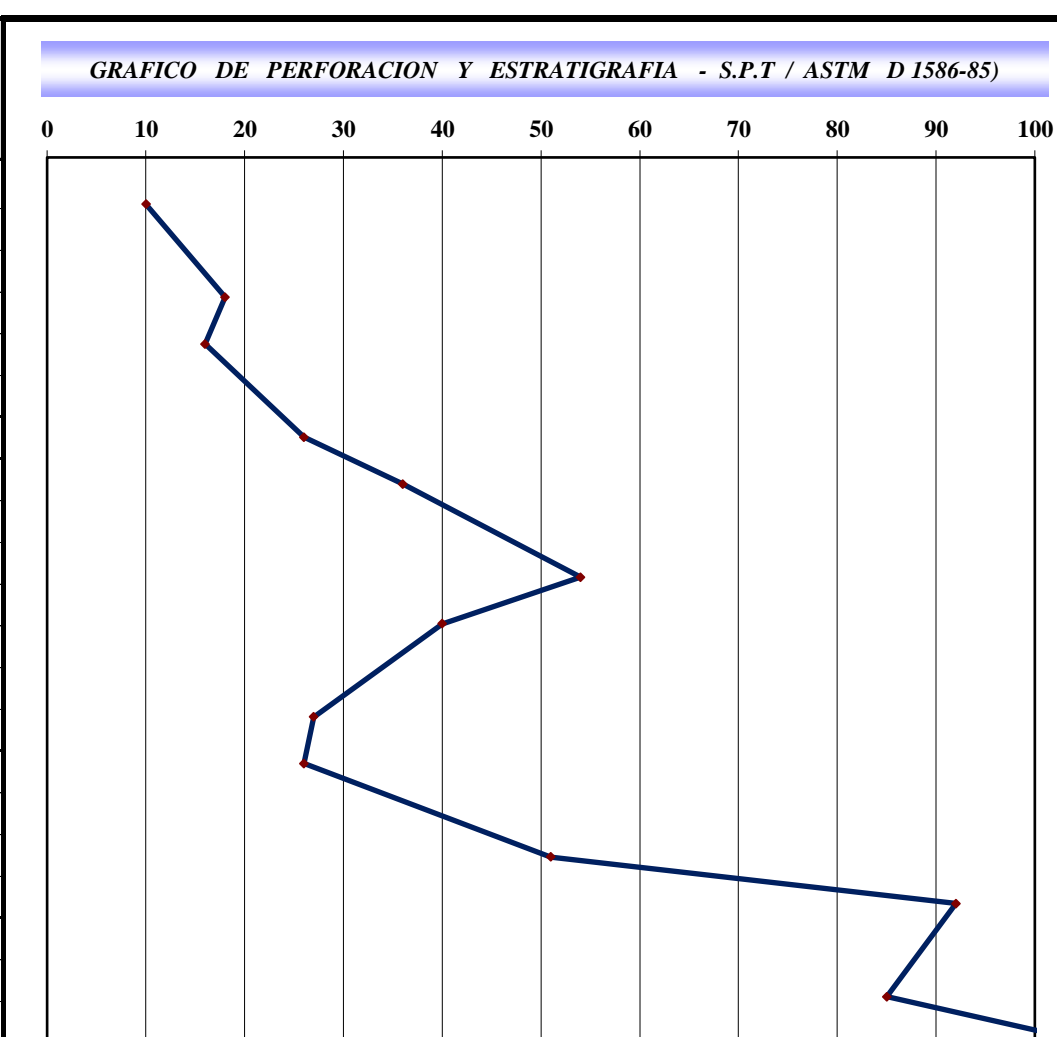
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION**

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PRUEBA DE INFILTRACIÓN: PI - 1

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)
CL	428.45	0.15	0.45	Arcilla media plastiidad con arena		49	25	21.1	5	10	
		8								1	
		10							18		
CL	428.00	0.60	0.45	Arcilla media plasticidad		40	18	19.7	8	16	2
		12									
		14							26	3	
GM	427.10	1.05	0.90	Grava limosa con arena		NP	NP	14.7	18	36	
		1.20									
		1.35								4	
		1.50								54	
		1.65							20	40	5
		1.80							18		
ML	426.65	1.95	0.45	Limo fino con arena		NP	NP		9	27	6
		2.10									
		2.25							13	26	7
CL	426.20	2.40	0.45	Arcilla gravosa		25	9		18		
		2.55								8	
		2.70							33	51	
GM	425.75	2.85	0.45	Grava limo arenosa		NP	NP		46	92	8
		3.00							40		
		3.15							45	85	9
									53	106	
									60		10
									0	60	



FIN DEL SONDEO



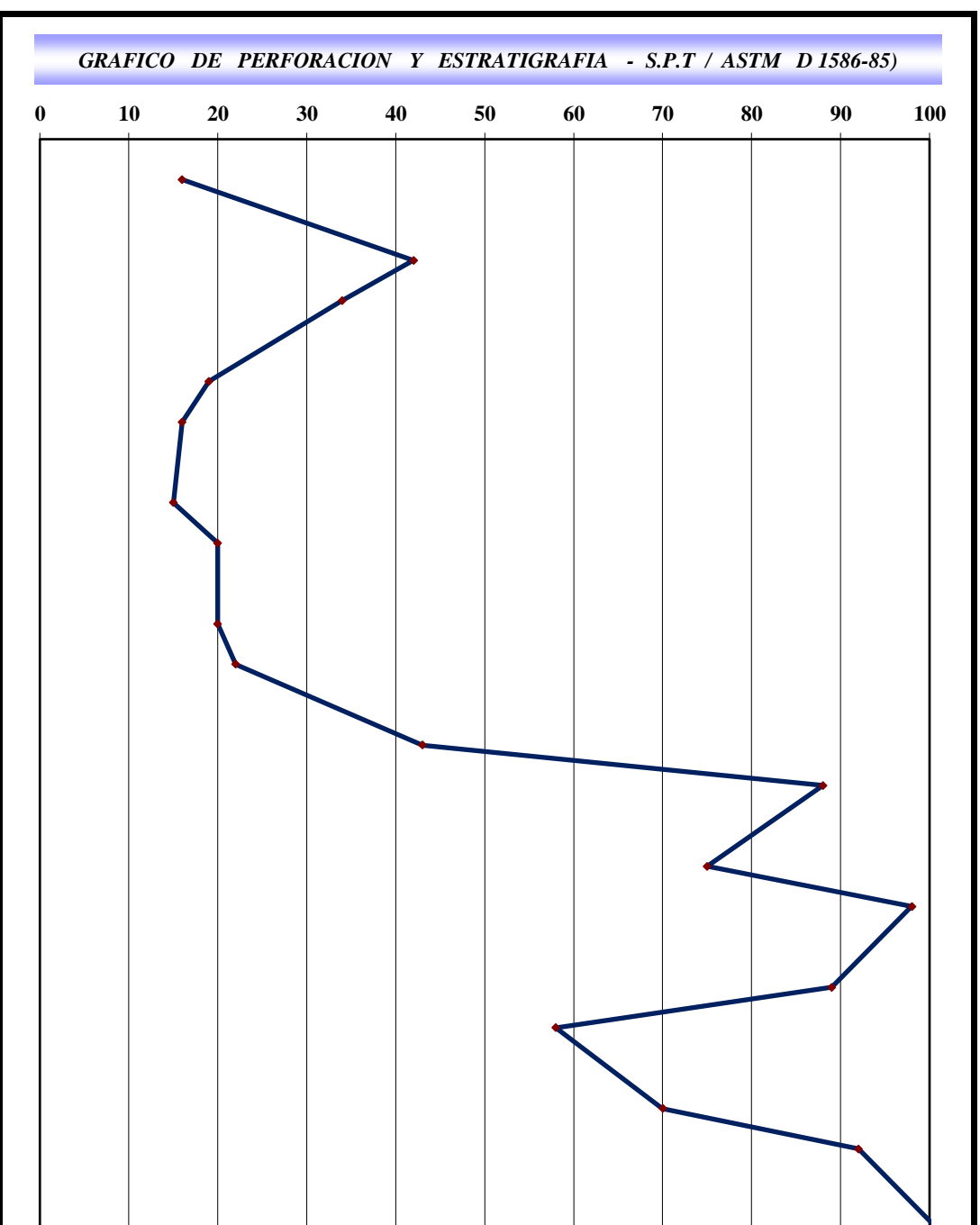
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION**

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y GRÁFICO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR

PRUEBA DE INFILTRACIÓN: PI - 2

Elevación del Sondeo : 428.9

CLASIFICACION S.U.C.S	Elevación (msnm)*	Profundidad (m)	Espesor del Estrato (m)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL ENCONTRADO	SIMBOLOGIA	LIMITE LIQUIDO %	INDICE PLASTICO %	HUMEDAD NATURAL (w %)	N° DE GOLPES	GOLPES POR PIE	PROF. (PIE)
CL	428.45	0.15	0.45	Arcilla media plasticidad con arena		49	25		8	16	
		19								1	
		23							42		
CL	428.00	0.60	0.45	Arcilla media plasticidad		40	18	46.3	17	34	2
		11									
		8							19	3	
CL	426.65	1.05	1.35	Arcilla gravosa		25	9	48.8	8	16	
		1.20							8		4
		1.35							7	15	
		1.50							10	20	5
		1.65							11		
		1.80							9	20	6
		1.95							11	22	
		2.10							11		7
		2.25							32	43	
		2.40							44	88	8
GM	425.75	2.55	0.90	Grava limo arenosa		NP	NP	26.8	46		
		2.70							29	75	9
		2.85							49	98	
		3.00							48		10
		3.15							41	89	
CL	425.30	3.30	0.45	Arcilla media plasticidad		NP	NP	30.9	29	58	11
		3.45							25		
		3.60							45	70	12
ML	425.30	3.75	0.60	Limo fino con arena		NP	NP		46	92	
		3.90							48		13
		4.05							53	101	
		4.20							56	112	14



FIN DEL SONDEO

Anexo VII: Análisis de suelo de material de banco, pista sub urbana y material de mezcla 60/40.

MATERIAL DE BANCO

PVSS (Kg/m3)	PVSC (Kg/m3)	PVS Max (Kg/m3)	Humedad Optima (%)	CBR (95%)	% que pasa por tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	HRB
1,100	1,208	1,317	12.70%	5.40%	100	98	87	77	69	63	60	55	33	6	N.P.	N.P.	SP-SC	A-1-b (0)

MATERIAL DE MEZCLA 60/40

PVSS (Kg/m3)	PVSC (Kg/m3)	PVS Max (Kg/m3)	Humedad Optima (%)	CBR (95%)	% que pasa por tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación	
					2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	HRB
1,605	1,772	1,860	13.70%	33.10%	100	94	84	72	67	62	57	33	13	3	25	4	SP	A-1-b (0)

Anexo VIII: Resultados de ensayos a la compresión de cilindros de lodo-cemento con proporción 1:10.

LODOCEMENTO 1:10

N° Cilindro	Revenimiento (Pulg)	Fecha de fabricación	Fecha de rotura	Edad en días	Esfuerzo a la compresión	
					Kg/cm2	PSI
1	4 1/4"	22/11/2017	29/11/17	7	18.3	260.2
2			06/12/17	14	27.6	392.5
3			20/12/17	28	36.5	519.0

Anexo IX: Prueba de permeabilidad de los suelos – Método de carga constante de LeFranc.



Anexo X: Mapa de precipitación media anual de Nicaragua – INETER.

