



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un estudio geotécnico
para un conjunto de naves
industriales**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Brenda Mejía Cardoso

ASESOR DE INFORME

Ing. Luis Arturo Tapia Crespo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Lista de figuras.....	5
Lista de planos.....	6
Resumen.....	7
1 Introducción	8
1.1 Presentación del informe	9
1.2 Objetivos y alcances	11
1.3 Estructura del informe de trabajo.....	12
2 Trabajos de gabinete preliminares.....	15
2.1 Marco físico de referencia.....	16
2.1.1 Localización del sitio y vías de acceso	16
2.1.2 Fisiografía	17
2.1.3 Clima, precipitación y temperatura.....	18
2.1.4 Hidrología	19
2.2 Geología general y tectónica,	20
2.2.1 Estratigrafía	21
2.3 Zonificación y parámetros sísmicos.....	24
2.4 Descripción histórica del sitio.....	27
3 Descripción de los Trabajos de exploración y laboratorio	33
3.1 Exploración geológica.....	34
3.2 Exploración de mecánica de suelos.....	34
3.2.1 Pozos a cielo abierto.....	35
3.2.2 Levantamientos visuales	37
3.2.3 Sondeos geotécnicos.	38
3.3 Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos	41
3.4 Exploración geofísica	44
3.4.1 Métodos eléctricos.....	45
3.4.2 Métodos sísmicos	48
4 Resultados de la exploración en campo y pruebas de laboratorio	50
4.1 Resultados de la exploración geológica.	51
4.2 Resultados de la exploración de mecánica de suelos y pruebas de laboratorio.....	58

4.3	Resultados de la exploración geofísica.....	62
5	Análisis geotécnicos.....	65
5.1	Parámetros de diseño geotécnico.....	66
5.2	Cimentación de estructuras.	67
5.3	Ejemplo: Nave 5.....	68
5.3.1	Perfil de diseño y parámetros geotécnicos para la Nave 5	68
5.3.2	Consideraciones de cimentación para la Nave 5.....	68
5.3.3	Capacidad de carga admisible (q_{adm}), asentamientos permisibles (δ) y módulos de reacción vertical del suelo (k_s) para la Nave 5.	69
6	Conclusiones.....	72
6.2	Conclusiones del estudio.....	73
6.3	Conclusiones generales	75
	MESOGRAFÍA.....	76
	ANEXO 1- MEMORIA DE CÁLCULO	77
	ANEXO 2- PLANOS	84

Lista de figuras

- Figura 2.1. Localización general del sitio en estudio.
- Figura 2.2. Provincia fisiográfica
- Figura 2.3. Hidrografía
- Figura 2.4. Geología regional
- Figura 2.5. Zonificación sísmica
- Figura 2.6. Espectro de respuesta
- Figura 2.7. Espectro de Diseño Transparente Regional
- Figura 2.8. Fotografía aérea: 1983
- Figura 2.9. Imagen Satelital: enero 2011
- Figura 2.10. Imagen Satelital: noviembre 2011
- Figura 2.11. Imagen Satelital: a) junio de 2012, b) febrero 2016
- Figura 2.12. Imagen Satelital: mayo 2017
- Figura 2.13. Imagen Satelital: abril 2019
- Figura 3.1. Trabajos de exploración geológica.
- Figura 3.2. Ejecución de pozos a cielo abierto.
- Figura 3.3. Registro de pozos a cielo abierto y recuperación de muestras alteradas.
- Figura 3.4. Obtención de muestras cubicas.
- Figura 3.5. Registro de campo: pozo a cielo abierto
- Figura 3.6. Registro de la estratigrafía en cortes sobre el terreno.
- Figura 3.7. Maquinaria para Sondeo Mixto
- Figura 3.8. Muestra recuperada con la herramienta de tubo partido.
- Figura 3.9. Obtención de muestras en sondeo a rotación.
- Figura 3.10. Registro de campo: Sondeo Mixto
- Figura 3.11. Obtención de: A) Granulometrías por mallas, B) Límites de consistencia.
- Figura 3.12. Obtención de: a) Contenido natural de agua, B) Peso específico relativo
- Figura 3.13. Ejecución de pruebas de resistencia a: A) Compresión simple, B) Compresión triaxial
- Figura 3.14. Prueba de Saturación bajo carga
- Figura 3.16. Medida de resistividades mediante métodos eléctricos
- Figura 3.17. Ejecución de un Sondeo Eléctrico Vertical.
- Figura 3.18. Ejemplo de sección geofísica: SEV
- Figura 3.19. Ejecución de un Tendido dipolo-dipolo.
- Figura 3.20. Ejemplo de sección geofísica (TDD).
- Figura 3.21. Fundamento de la prospección sísmica
- Figura 3.22. Ejecución de un tendido de refracción sísmica.
- Figura 3.23. Sección geofísica: TRS y Curva Dromocrónica
- Figura 4.1. Vista general del terreno en estudio.
- Figura 4.2. Vista de la depresión al centro del predio.
- Figura 4.3. Acumulación de agua al centro del predio.
- Figura 4.4. Zona de rellenos al norte del predio.

Figura 4.5. Depósitos de roca al sur del predio.

Figura 4.6. Cortes al terreno después de ser usado como banco de préstamo

Figura 4.7. Columna estratigráfica local

Figura 4.8. Corte sobre el terreno que exhibe la estratigrafía del sitio.

Figura 4.9. Agrietamiento sobre el terreno.

Figura 4.10. Valores de: A) Contenido natural de agua y B) Contenido de finos, graficados a profundidad.

Figura 4.11. Carta de plasticidad.

Figura 4.12. Granulometrías estratos E4 y E5a

Figura 5.1. Sección transversal de la nave en estudio.

Lista de planos

PL01- Sembrado y curvas de nivel.

PL02- Distribución de la exploración de mecánica de suelos.

PL02.1-Curvas de igual espesor de arcilla y espesor de materiales antropogénicos (ejemplo).

PL02.2-Curvas de igual profundidad de materiales tipo C: roca o brecha volcánica (ejemplo).

PL03-Distribución de la exploración geofísica.

PL03.1-Secciones geofísicas: SEV (ejemplo).

PL03.2-Secciones geofísicas: TDD (ejemplo).

PL03.3-Secciones geofísicas: TRS (ejemplo).

PL04-Sección estratigráfica de mecánica de suelos (ejemplo).

PL05-Sección constructiva (ejemplo).

RESUMEN

Este es un Informe de Trabajo Profesional cuyo objetivo fue describir el desarrollo de un *estudio geotécnico*, con énfasis en la *mecánica de suelos*, para manifestar los conocimientos adquiridos a través de la ingeniería geológica.

El estudio de geotecnia fue realizado para el *Proyecto de ampliación y modernización de la infraestructura* en un *Centro de Operaciones* de una empresa de manufactura, distribución y comercialización de herramientas y productos para la industria ferretera que se ubica al norte del Estado de México.

El *Centro de Operaciones* en cuestión es un espacio territorial donde la empresa ferretera desarrolla diversas actividades industriales por lo que dicho centro cuenta con plantas productivas, naves industriales y laboratorios de calidad, además de pasillos, caminos, vialidades y patios de maniobras.

Para el *Proyecto de Ampliación* se proyectó la construcción de *tres naves industriales, dos edificios para usos múltiples (de uno y dos niveles), una terminal de mantenimiento, un centro recreativo y un área recreativa general, además de patios de maniobras y estacionamientos* (ver plano [PLO1](#)).

Para la caracterización del terreno se realizó una recopilación y análisis de información bibliográfica y el desarrollo de tres campañas de exploración: geológica, mecánica de suelos y geofísica; el resultado de todos estos trabajos indico un terreno con origen volcánico que fue modificado posteriormente por agentes erosivos que culminaron en depósitos lacustres-aluviales, donde además no se identificó estructura geológica alguna que pusiera en riesgo el proyecto.

Para el diseño geotécnico de cimentaciones se asumieron 6 estratos naturales (**E1, E2, E3, E4, E5a y E5**) y dos tipos de depósitos antropogénicos de mala calidad (**Ec1 y Ec2**) reconocidos en la mecánica de suelos. Estos materiales también fueron registrados con la exploración geofísica, misma que a mayor profundidad identificó tres unidades más (**U3, U4 y U5**), ver [apartado 4](#).

El diseño de la cimentación se realizó de manera individual para cada estructura proyectada, conforme los estratos ya mencionados y sus respectivos espesores en cada área de desplante. La cimentación se propuso a partir de losas y zapatas corridas o aisladas, desplantadas sobre los materiales de buena calidad de los estratos **E3, E4, E5a y E5**, o el relleno controlado de buena calidad **EC**. Un ejemplo de dichos análisis puede visualizarse en el [apartado 5](#).

Finalmente se hace la indicación de que, para ligar los niveles de circulación de las vialidades, patios de maniobras, estacionamientos, paraderos y zonas de accesos, se requieren hacer cortes sobre el terreno en espesores variables, al realizar dichos cortes se estima estar retirando en su mayoría los materiales de mala calidad correspondientes con los estratos **Ec1, Ec2, E1 y E2**, ver plano [PLO5](#). Así mismo en algunas zonas se proyectó la conformación de terraplenes para alcanzar las cotas requeridas en el proyecto.

En el plano [PLO5](#) se presenta un procedimiento constructivo simplificado para una de las estructuras consideradas en el análisis.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación del informe

La “ingeniería geológica” es una disciplina derivada de la Geología, y cuyo quehacer radica en el estudio y solución de problemas ingenieriles que están relacionados con la interacción del hombre y el entorno geológico.

Esta disciplina surge como respuesta a la necesidad de conocer el terreno para el desarrollo de las actividades humanas, ya sea en el sentido de la construcción, los riesgos geológicos, el medioambiente o la gestión y explotación de recursos naturales.

Para enfrentarse al reto que supone resolver dichas necesidades, como ingenieros geólogos, se debe tener una fuerte preparación en ciencias y técnicas aplicadas, tales como geotecnia, hidráulica, topografía, cartografía, entre otras muchas ciencias y técnicas más.

Particularmente hablando de la geotecnia, se puede definir como una rama de la ingeniería geológica que se dedica al estudio del comportamiento mecánico del terreno, ya sea como material empleado en la construcción o como elemento que sustenta la cimentación de todo tipo de obras civiles.

La geotecnia tiene una historia relativamente corta respecto a otras ramas de la ingeniería geológica, sin embargo, la serie de conocimientos que alberga en sí es sumamente amplia y con alcances muy variados. La geotecnia se puede dividir en dos especialidades, la mecánica de rocas y la mecánica de suelos, esta última ha tenido mucho énfasis en los últimos tiempos puesto que ha provisto de muchísimos beneficios en la temática de la urbanización.

Con esto en mente es que presento el actual ***Informe de Trabajo Profesional***, donde busco describir el desarrollo de un estudio geotécnico, con énfasis en la mecánica de suelos, a partir de los conocimientos que fui adquiriendo a través de la ingeniería geológica.

Este estudio fue realizado para el ***Proyecto de ampliación y modernización de la infraestructura*** en un ***Centro de Operaciones*** de una empresa de manufactura, distribución y comercialización de herramientas y productos para la industria ferretera.

La denominación ***Centro de Operaciones*** se realiza debido a que es la región donde se centralizan todas las actividades productivas y de calidad de la ya mencionada empresa, para que posteriormente los productos sean distribuidos a los diferentes almacenes y tiendas en diferentes partes del país.

Antes del proyecto de ampliación, el ***Centro de Operaciones*** ya contaba con varias estructuras como: naves industriales, plantas productivas y patios de maniobras, así como edificios de oficinas, laboratorios y comedores; por lo que las nuevas construcciones debían cumplir con algunos requerimientos como la continuidad en la elevación de pisos, pendiente de rampas y caminos, esto con la finalidad de contar con una conexión eficiente entre patios, naves y edificios.

Hablando propiamente del **Proyecto de ampliación**, este consistió en tres naves industriales, dos edificios de para usos múltiples (uno y dos niveles), una terminal de mantenimiento, un centro recreativo y un área recreativa, además de patios de maniobras y estacionamientos (ver plano [PLO1](#)).

Respecto al terreno sobre el que se trabajo fue un terreno sumamente heterogéneo; originalmente se trataba de terrenos de cultivo, sin embargo, con la expansión de la urbanización también tuvo otros usos tales como banco de material o depósito de materiales a volteo.

Al momento del estudio geotécnico existían zonas con terreno natural, zonas despalmadas, zonas en corte, zonas de depósito de materiales y zonas con edificaciones anteriores al proyecto.

Conforme lo que se menciona, la razón principal de realizar el estudio geotécnico para el proyecto de ampliación fue la interpretación a detalle del terreno; punto de partida para el diseño adecuado de cimentaciones, optimización en niveles y movimiento de tierras.

Otro aspecto muy importante que quisiera destacar, es que en el presente informe se describe como un único estudio geotécnico, sin embargo, en su momento de ejecución se trató de una serie de estudios geotécnicos que se realizaron secuencialmente conforme se avanzaba en el proyecto arquitectónico, compra de terrenos, y liberación de recursos por parte de la empresa contratante. El tiempo de estudio fue largo, el área de trabajo muy extensa y se abarco diversas estructuras por lo que se tuvieron varios objetivos, así como un abanico de alcances amplio que dependió de cada construcción proyectada, sin embargo, ahora que los estudios fueron concluidos, toda la información recabada tiene la bondad de poder correlacionarse perfectamente para resumir todos los trabajos realizados como un único estudio, mismo que estaré desarrollando en los capítulos sucesivos.

Es así que el presente informe involucra el análisis e interpretación de las condiciones geológicas generales del terreno (de manera bibliográfica e investigación en el sitio), el análisis e interpretación de la estratigrafía local y la distribución de los materiales que se pueden identificar superficialmente en el terreno. Con todo lo anterior se definieron recomendaciones para la cimentación de estructuras y niveles de corte; así como: la capacidad de carga, los asentamientos y los módulos de reacción para el suelo respecto a la cimentación sugerida.

1.2 Objetivos y alcances

Objetivo general del informe de trabajo

El objetivo principal de este escrito es documentar la experiencia profesional que obtuve como ingeniera geóloga a cargo del desarrollo de una secuencia de trabajos de geotecnia, en la especialidad de mecánica de suelos, que fueron realizados para un conjunto de construcciones de carácter industrial, lo anterior durante mi estancia en una empresa dedicada a la geotecnia.

Objetivos del estudio de geotecnia

Particularmente para el estudio de geotecnia se pueden definir los siguientes objetivos:

- I. Interpretación la estratigrafía del área en estudio.
- II. Verificar la presencia de estructuras geológicas de importancia.
- III. Identificación de:
 - Materiales antropogénicos de mala calidad (rellenos),
 - Espesores de arcilla negra expansiva (capa más superficial),
 - Profundidad de roca o brecha volcánica (material tipo C).
- IV. Alternativas de cimentación para las estructuras proyectadas y propuesta de niveles de rasante.

Alcances

Conforme los objetivos que menciono anteriormente considero los siguientes alcances para el presente trabajo:

- 1) Descripción del sitio y análisis y depuración de la información preliminar recabada.
- 2) Descripción de todos los trabajos realizados en las campañas de exploración geológica, mecánica de suelos y geofísica.
- 3) Análisis e interpretación de la información obtenida a través de las técnicas de geología, mecánica de suelos y geofísica, que fueron aplicadas.
- 4) Modelo geotécnico de diseño.
- 5) Ejemplo de propuestas de cimentación, propuestas para niveles de rasante e identificación de materiales superficiales existentes.

1.3 Estructura del informe de trabajo

He definido el presente *informe de trabajo profesional* con seis capítulos, incluyendo el capítulo actual, desarrollándolos de la siguiente manera:

1 INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo, como ya se pudo observar, establezco los límites del informe a partir de la definición de los objetivos y los alcances para el mismo.

Así mismo presento una descripción de los antecedentes del proyecto que estoy tratando (**Proyecto de Ampliación** en un **Centro de Operaciones**), y finalmente hago la descripción de la estructura del escrito basándome en las tareas realizadas para cumplir con los objetivos y alcances planteados.

2 TRABAJOS PRELIMINARES DE GABINETE

En este apartado hago una revisión de los trabajos preliminares, que en su momento fueron punto de partida para la programación de las campañas de exploración en el sitio.

Estos trabajos consistieron en la selección, análisis y depuración de la información preliminar que era útil a los requerimientos del estudio. Las fuentes de consulta principales fueron instituciones como:

- Servicio Geológico Mexicano (SGM)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (SMIG)

La información recaba se trató de mapas temáticos, imágenes satelitales y estudios efectuados de tipo geológico, geohidrológico y geofísico. Finalmente, como productos de esta etapa se tienen:

- Marco físico de referencia,
- Geología general y tectónica,
- Zonificación sísmica y parámetros de diseño sísmico, e
- Historia de actividades en el predio (limitada por la temporalidad de las imágenes satelitales que se obtuvieron)

También es importante mencionar que el proyecto arquitectónico y proyecto topográfico con los que se trabajó fueron proporcionados por el cliente, por lo que forman parte de la información preliminar.

3 TRABAJOS DE CAMPO

En este capítulo describiré las técnicas que fueron empleadas para la exploración en campo para cada una de las disciplinas involucradas: geología, mecánica de suelos y geofísica, además de los trabajos de laboratorio incluidos como parte de la exploración de mecánica de suelos. Las técnicas por disciplina son:

Geología:

- Caminamientos y levantamientos para el reconocimiento físico del sitio de interés.

Es importante señalar que no se consideró laboratorio de geología puesto que caracterizar geológicamente a detalle las rocas identificadas no fue uno de los objetivos planteados.

Mecánica de suelos:

- Pozos a Cielo Abierto,
- Levantamientos visuales, y
- Sondeos Mixtos.

Laboratorio de mecánica de suelos:

- Granulometría por mallas,
- Obtención de finos por lavado,
- Límites de consistencia o Límites de Atterberg,
- Contenido Natural de agua,
- Peso específico relativo de los sólidos,
- Resistencia a la compresión simple,
- Resistencia a la compresión triaxial no consolidada - no drenada, UU,
- Consolidación unidimensional,
- Expansión libre,
- Saturación bajo carga,

Geofísica:

- Sondeos Eléctricos Verticales (SEV),
- Tendidos Eléctricos Dipolo-Dipolo (TDD), y
- Tendidos de Refracción Sísmica (TRS).

4 RESULTADOS

Esta parte del informe la dediqué a describir los resultados, el proceso de análisis, interpretación y, sobre todo, correlación de la información recabada en gabinete y campo, en cada una de las disciplinas implicadas. Como productos finales muestro:

- Unidades geológicas identificadas,
- Unidades de mecánica de suelos identificadas, y
- Unidades geofísicas identificadas.

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

En este capítulo indico la correlación final de unidades, las condiciones generales para la cimentación e incluyo un ejemplo del diseño de cimentación para una de las estructuras proyectadas junto con los cálculos de capacidad de carga y asentamientos correspondientes. Finalmente, los productos obtenidos en esta etapa son:

- Perfil estratigráfico del sitio y parámetros de diseño geotécnico,
- Ejemplo de niveles y cimentación de estructuras,
- Ejemplo de los cálculos de: capacidad de carga del suelo de cimentación, asentamientos permisibles y módulos de reacción vertical del suelo.

6 CONCLUSIONES

Finalmente, en este capítulo expongo las conclusiones alcanzadas respecto a los trabajos realizados y resultados obtenidos. Esto tanto a nivel de proyecto como de manera general a nivel de experiencia de trabajo profesional.

2 TRABAJOS DE GABINETE PRELIMINARES

2.1 Marco físico de referencia

2.1.1 Localización del sitio y vías de acceso

El sitio de estudio se ubica al norte del estado de México, dentro del territorio que comprende el municipio de Jilotepec, entre los poblados de Jilotepec de Molina Enríquez (cabecera municipal) y San Francisco Soyaniquilpan, *Figura 2.1*.

En general es una región rica tanto en recursos naturales como en recursos culturales, puesto que tiene una historia que se remonta a varios miles de años. Tiene, además, una economía en crecimiento debido al asentamiento de varias empresas maquiladoras que han aumentado de manera considerable el tamaño del *parque industrial* de la región.

El sitio de estudio se localiza precisamente al interior de dicho *parque industrial*, a un poco más de 2.0 km de distancia en línea recta de la cabecera municipal.

El acceso es bastante sencillo puesto que convergen dos de las principales vías terrestres del centro del país, se tiene por un lado la Autopista México-Querétaro, vialidad que corre desde la ciudad de México y conecta hacia el norte del país; y por otra parte la Autopista Arco Norte, que va desde Atlacomulco, Estado de México, y pasa por los estados de Tlaxcala e Hidalgo, para finalmente concluir en Puebla.

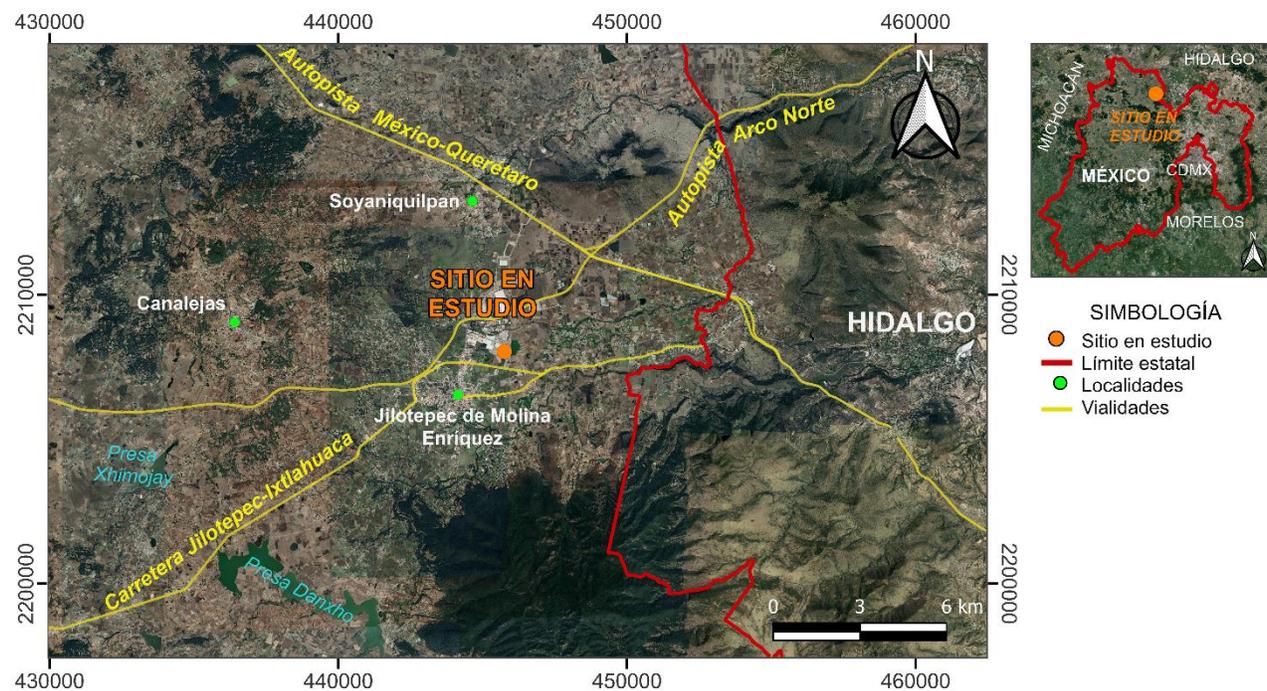


Figura 2.1. Localización general del sitio en estudio.

2.1.2 Fisiografía

Para comenzar con la recolección de información es importante establecer la fisiografía, elemento de investigación preliminar significativa que provee, a grandes rasgos, los indicios sobre el tipo de terreno en el que nos encontramos, las condiciones que le dieron origen, así como las condiciones que se estén presentando o pueden estar presentándose más adelante.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la fisiografía es “la visión general de las formas del relieve”, reconocidas a través del estudio de la topografía, geología, hidrología y edafología. Este estudio da como resultado la agrupación en unidades más o menos homogéneas cuyo origen geológico y morfología son distintivos, estas unidades se denominan Provincias Fisiográficas, quienes a su vez pueden ser particularizadas en unidades inferiores llamadas subprovincias.

Nuestro país está dividido en 15 provincias fisiográficas, divididas a su vez en 115 subprovincias, el sitio en estudio se ubica en territorio de la provincia llamada **Eje Neovolcánico**, dentro de la subprovincia **Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo** (Figura 2.2).

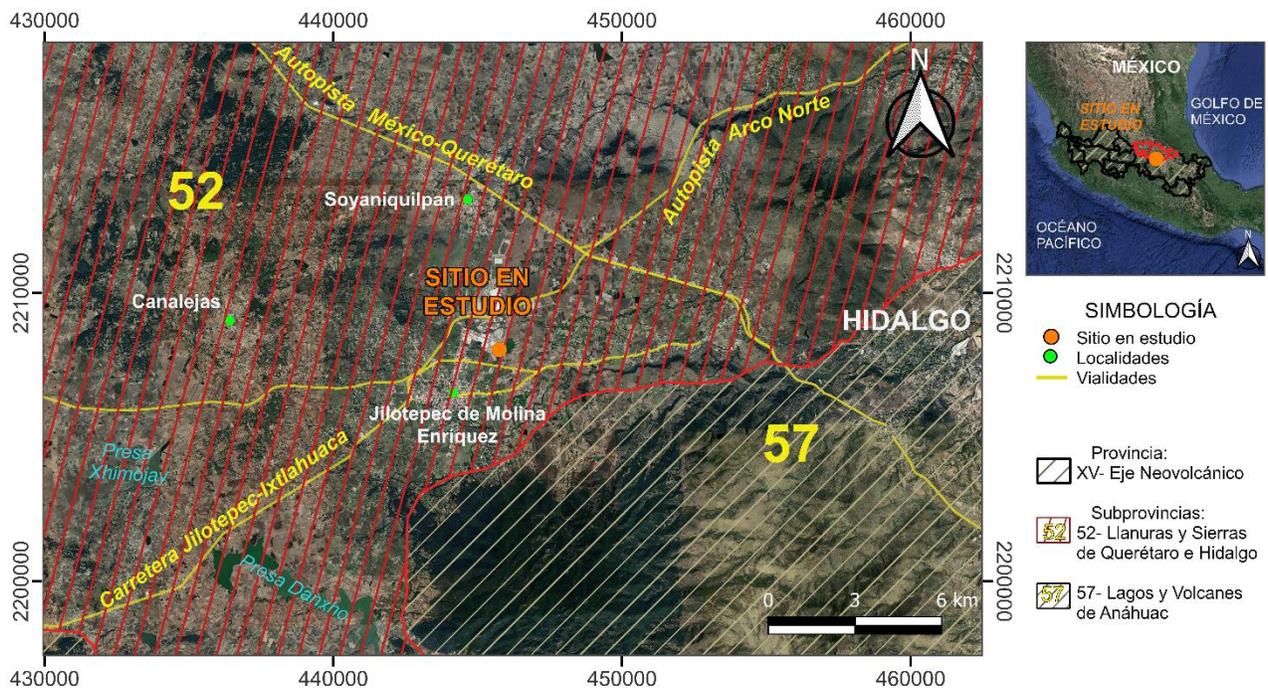


Figura 2.2. Provincia fisiográfica

El **Eje Neovolcánico** se constituye de una amplia variedad de rocas volcánicas emitidas durante una intensa y extensa actividad volcánica en la forma de arco volcánico cuyo origen se considera resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos bajo la Placa Norteamericana, a lo largo de la trinchera Mesoamericana (Demant, 1978).

Esta intensa y extensa actividad volcánica derivó en el desarrollo de grandes estratovolcanes, campos volcánicos de conos cineríticos, calderas de colapso y explosión y amplias coladas lávicas, así como depósitos de arenas y cenizas, que conforman la característica geomorfología del **Eje Neovolcánico** con sierras escarpadas, peñas, lomeríos, mesetas y, entre estas, cuencas abiertas y cerradas donde corren largos ríos o se han formado lagos de múltiples tamaños.

El **Eje Neovolcánico** abarca parte de los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, México, Hidalgo, Colima, Puebla y Veracruz, así como todo el estado de Tlaxcala y la Ciudad de México; particularmente la **Subprovincia Llanuras y Sierra de Querétaro e Hidalgo** solo comprende el sur de los estados de Querétaro y de Hidalgo, y la porción norte del estado de México, así como una pequeña parte de Guanajuato.

Esta subprovincia se distingue por dos sectores, por un lado, se identifica un corredor con orientación este-oeste, que mantiene elevaciones alrededor de los 2000m.s.n.m., presenta un piso de aluviones antiguos y que es cercado por lomeríos, sierras y mesetas conformadas por andesitas, basaltos, tobas y brechas, que corresponden al otro sector de la subprovincia y que se elevan al menos 100m por encima del ya mencionado corredor. La zona de estudio se ubica en el sector elevado de la provincia, en una zona de lomerío con amplios valles.

2.1.3 Clima, precipitación y temperatura.

El clima, de manera general, se considera como una descripción estadística de las condiciones meteorológicas más frecuentes de una región en un periodo de tiempo¹. Según la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García para las condiciones de la República Mexicana, los climas en el municipio de Jilotepec son: templado subhúmedo de mayor humedad, templado subhúmedo de humedad media, semifrío subhúmedo, y templado subhúmedo de menor humedad, todos con régimen de lluvias en verano. Particularmente el área de estudio es comprendida dentro del clima templado subhúmedo de mayor humedad.

Así mismo, el territorio municipal lo cruzan dos isotermas que delimitan zonas con temperaturas medias anuales entre los 10 y 16 °C y la precipitación media anual en la región varía de 600 mm a 1000 mm.

Otros periodos climáticos de relevancia son la sequía intraestival o canícula, que se presenta en el mes de agosto; así como las heladas después del equinoccio de otoño y cuyos efectos se resienten en la mayor parte del municipio, su frecuencia es mayor durante los meses de diciembre, enero y febrero; no obstante, al sur del territorio las heladas pueden presentarse desde principios de septiembre hasta marzo².

¹ OMM (2013). Tiempo. Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/themes/weather/index_es.html

² Ayuntamiento constitucional de Jilotepec (2019). Atlas de Riesgo Municipio de Jilotepec

2.1.4 Hidrología

La hidrología esta encargada de estudiar las condiciones en las que se encuentra el agua, tanto en superficie como en el subsuelo, además de su dinámica y usos.

Nuestro país cuenta con una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, donde destacan 51 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie nacional³. Los límites naturales de las grandes cuencas definen territorios en los que fue dividido el país para el estudio de los recursos hídricos, estos territorios se denominan *regiones hidrológicas*, son en total 37 regiones y el sitio en estudio se encuentra ubicado dentro de la Región Hidrológica (RH) 26 denominada Pánuco, en la cuenca el Río Moctezuma, con subcuenca en el río Rosas.

El flujo hidrográfico en la zona drena desde la posición suroeste, particularmente en el sitio de estudio las corrientes de agua que históricamente estuvieron presentes tenían la misma dirección drenando hacia el río Colorado, mismo que más adelante conecta con el río Rosas que finalmente descarga en la cuenca del río Tula.

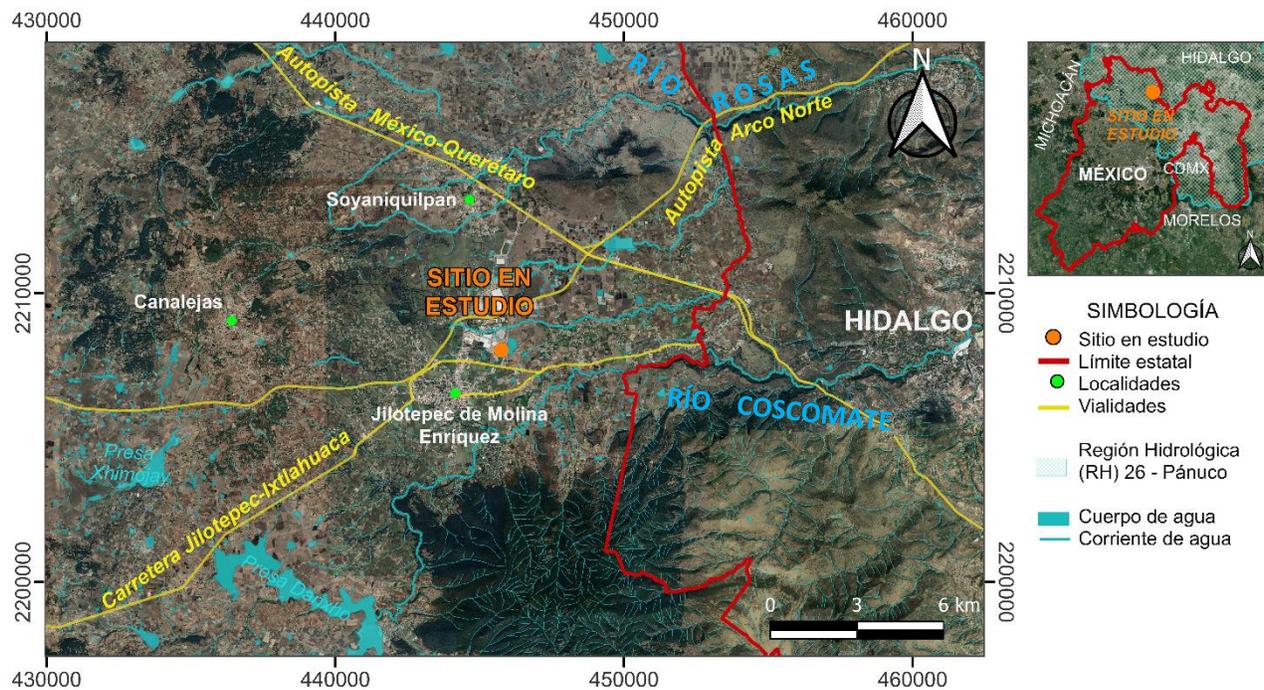


Figura 2.3. Hidrografía

³ Situación de los Recursos Hídricos. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>.

2.2 Geología general y tectónica,

Como ya se puede ir previendo a partir de la información presentada en párrafos anteriores, la geología del sitio está compuesta esencialmente de materiales volcánicos y sedimentarios. En este sector del Eje Neovolcánico la acción de los procesos volcánicos, tectónicos y erosivos dieron origen a rocas andesíticas, basálticas, piroclásticas, lahares y materiales volcanosedimentarios, lacustres y aluviales (*Figura 2.6*).

Su evolución geológica se puede sintetizar en cuatro episodios destacables; el primero es la instauración de un arco volcánico de composición intermedia en el *Mioceno Medio y Tardío*; un episodio máfico del *Mioceno Tardío*; en el mismo *Mioceno* un aumento en la silicificación de su vulcanismo evolucionado a bimodal hasta principios del *Plioceno*; por último, la reinstauración de un arco de composición variable a finales del Plioceno (Gómez Tuena et al., 2005).

Particularmente la zona en estudio se ubica dentro del denominado *Campo Volcánico de Jilotepec* (Suarez, 2006), este campo volcánico tiene una extensión aproximada de 2,700 km², y es conformado por conos cineríticos, un volcán escudo y algunos domos aislados cuya composición es variada entre basáltica-andesítica y en menor medida riolítica- andesítica.

Se considera que este campo volcánico se emplazó en algún momento del cuarto pulso del Eje Neovolcánico⁴ aunque no se le puede asignar una edad específica.

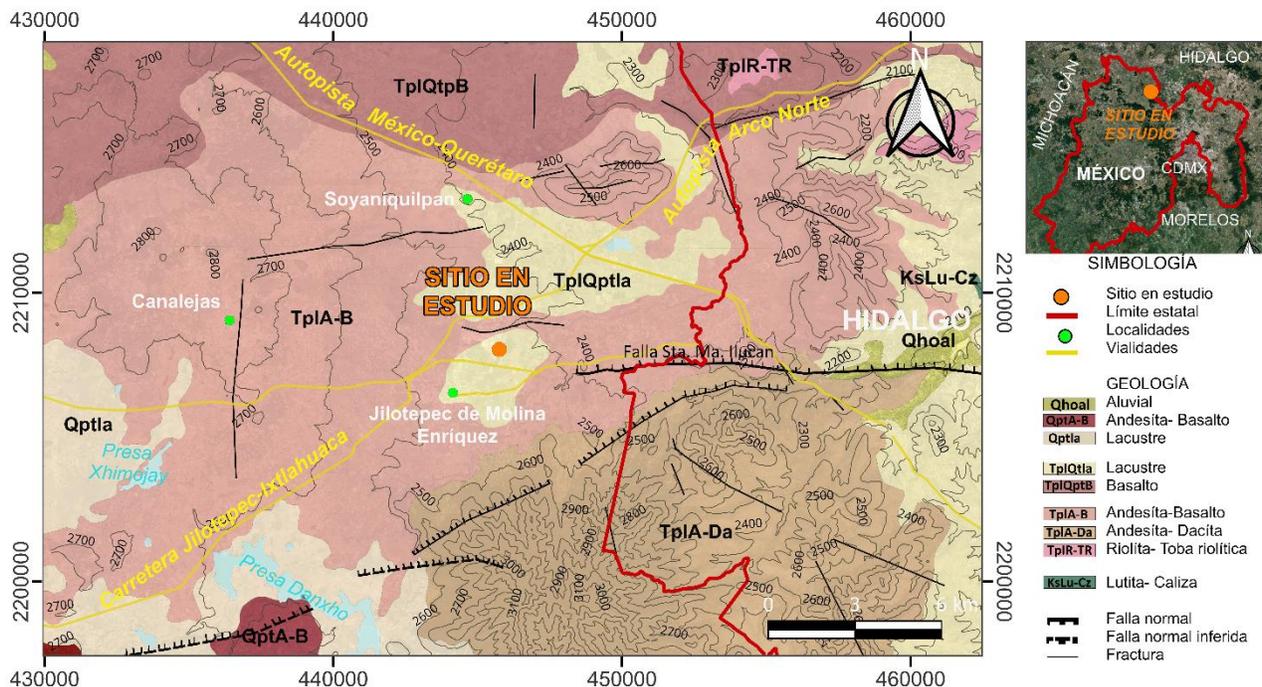


Figura 2.4. Geología regional

⁴ Flores (2019). Caracterización Geológica a semidetalle de la porción noroeste del Estado de México. (Ingeniería Geológica). IPN, ESIA, Unidad Ticomán. México.

Estructuralmente, el rasgo más destacable en la región es la falla Santa María Ilucan, falla con orientación predominante NE-SW, presenta inclinaciones cercanas a la vertical y desplazamientos que pueden alcanzar desde unos cuantos centímetros hasta unos treinta metros.

Esta falla se sitúa regionalmente en la prolongación oriental de la falla de Pastores, pudiendo representar su continuidad. La falla pastores exhibe una orientación predominante E-W, es una falla de tipo normal y que forma la pared meridional de la fosa tectónica de Acambay⁵. Se considera entonces que el tectonismo de la región pueda estar regido por el sistema de fallas Morelia-Acambay donde pueden observarse orientaciones E-W, NE-SW.

Se han realizado algunos trabajos a nivel regional en la zona donde es importante señalar que el sitio en estudio, en función de las unidades geológicas identificadas, análisis de densidad de fracturamiento y drenaje, entre otros análisis, no se considera tectónicamente activo⁶.

2.2.1 Estratigrafía

Las unidades estratigráficas identificadas en a nivel regional fueron siete, de la más reciente a la más antiguas son las que se presentan a en los párrafos siguientes, junto con sus características especificadas por el *Servicio Geológico Mexicano* en su apartado de *Léxico Estratigráfico de México*.

Era: Mesozoico

Periodo: Cretácico superior

Formación Soyatal (KsLu-Cz): Esta formación definida por Wilson et al. (op. cit), tiene aproximadamente 100 m de espesor total, las capas de caliza varían de delgadas a medianas y raras veces exceden 30 cm de espesor, es común una laminación fina. Hacia arriba en la sucesión, se presentan capas de lutitas calcáreas.

En ninguno de los dos trabajos pioneros (White, 1948; Wilson, 1955) se propone una localidad tipo; sin embargo, trabajos posteriores la ubican en los alrededores de Soyatal, Querétaro (Carrillo-Bravo, 1971); por otro lado, López-Ramos menciona que esta unidad se llama formación Soyatal, debido a los buenos afloramientos observables en un pequeño campo minero de antimonio que lleva ese nombre, ubicado 48 km al noreste de Zimapán, Hidalgo⁷.

Era: Cenozoico

Periodo: Neógeno

Riolita navajas (TpiR-TR): Geyne et al (1963) describe a esta unidad como una secuencia riolítica de derrames lávicos con buena estructura fluidal, porfiríticos- holocristalinos, con fenocristales de

⁵ Demant, Alain (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas; Vol. 2 No 2, 1978; 172-187.

⁶ Flores (2019). Caracterización Geológica a semidetalle de la porción noroeste del Estado de México. (Ingeniería Geológica). IPN, ESIA, Unidad Ticomán. México.

⁷ Formación Soyatal, Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/

cuarzo y sanidino en matriz micrográfica: y con intercalaciones de brechas soldadas y no soldadas de flujo de cenizas vítreas, con fragmentos líticos, pumíticos y de obsidiana. De manera general, estudios posteriores concuerdan con dicha descripción, documentando que está conformada por derrames de lava, horizontes de brecha y toba de composición riolítica (López-Reyes et al, 1997), derrames piroclásticos (De Cserna et al, 1987); donde los derrames de lava riolítica, se observan de coloración gris clara, de estructura fluidal, con vesículas horizontales, horizontes de brecha y toba riolítica, interestratificadas entre sí y con pequeñas cantidades de material volcánico epiclástico (Solana-López, 2010).

Se ha reportado un espesor de entre 500 m (Geyne et al, 1963; De Cserna et al, 1987; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989, Sánchez-Rojas et al, 2005) y 600 m (López-Reyes et al., 1997; Solana-López, 2010) para las rocas de esta unidad.

El ambiente de depósito es de tipo ígneo extrusivo con estructura fluidal (López-Reyes et al., 1997); relacionado a algunas de las últimas erupciones del centro volcánico de la sierra de las Navajas, las cuales parecen haber consistido en aludes ardientes que cargaban y transportaban cantidades variables de fragmentos silíceos, pinocíticos y obsidiana (Sánchez Rojas et al., 2005)⁸.

San Cristóbal (TPIA-B): Esta unidad fue inicialmente incluida por Wilson (en Segerstrom, 1961) dentro del grupo San Juan; dentro del cual consideró a los depósitos volcánicos que afloran entre la Sierra de Pachuca y la ciudad de Tula. Segerstrom (1961) menciona que esta unidad es conocida en la Sierra de Pachuca (Hidalgo) como basalto San Cristóbal. Finalmente, Geyne et al. (1963) proponen el término Formación San Cristóbal para los derrames densos de andesita olivínica con capas tobáceas. La localidad tipo corresponde a la cumbre del Cerro de San Cristóbal (10,700 N-13,400 E), ubicado al noroeste de la ciudad de Pachuca, Hidalgo.

Esta unidad al poniente de Tula consiste de tobas y lavas basálticas, así como por conglomerados volcánicos de andesitas y riolitas, aunque localmente esta unidad varía de basalto a andesita (Segerstrom, 1961). De acuerdo a la descripción hecha por Geyne et al. (1963), la Formación San Cristóbal está compuesta por derrames densos de andesita olivínica con cantidades pequeñas de capas tobáceas y clásticas. Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera (1989) mencionan que de manera general esta unidad se compone por intercalaciones de derrames de lava, brechas volcánicas y piroclastos⁹.

Basalto Grupo San Juan (TPIB): Las rocas máficas de composición variable de basalto a andesita que sobreyacen a las rocas volcánicas más antiguas en discordancia erosional y a las rocas mesozoicas con marcada discordancia angular y erosional, fueron definidos como Grupo San Juan por Segerstrom (op. cit.). Afloran ampliamente formando extensas mesetas altas, como el Cerro El Gorrión y conos volcánicos aislados entre la Sierra de Pachuca y Tula de Allende. También forma la cima de altas colinas aisladas, como los cerros La Palma y Xicuco. Su espesor es muy variable, pero

⁸ Formación Las Navajas. Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/

⁹ Formación San Cristóbal. Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/

no mayor a 400 m, observados en el Cerro El Gorrión. Por sus relaciones estratigráficas con otras rocas y su grado de erosión muy avanzada, se deduce que su edad varía del Plioceno Medio al Plioceno Superior. Estas rocas volcánicas y otras máficas equivalentes, están interestratificadas localmente con sedimentos clásticos de la Formación.

Formación Tarango (T_{pl}T_b): La mayor parte de la formación fue depositada por corrientes de aguas superficiales, por lo que está constituida por gravas, arenas, limos y arcillas, acumulados sobre antiguos cauces fluviales, llanuras de inundación y abanicos aluviales. Estos sedimentos clásticos están dispuestos generalmente en estratificación horizontal pero sus capas tienden a ser discontinuas lateralmente. También, se intercalan localmente con capas de tobas de grano fino y arenas pumíticas re-transportadas o procedentes de erupciones volcánicas contemporáneas. La Formación Tarango tiene aproximadamente 400 m de espesor total.

Fue depositada en una superficie de erosión que se desarrolló sobre todas las unidades litológicas anteriores, de manera que puede encontrarse igualmente encima de las rocas cretácicas más antiguas, como encima de los depósitos lacustres del Plioceno Medio; se presenta interestratificada con los Basaltos San Juan¹⁰.

Era: Cenozoico

Periodo: Cuaternario

Derrames basálticos y conos cineríticos (Q_{hoB}): Los derrames basálticos de lava y conos cineríticos definidos por Segerstrom (1961) como Basalto del Pleistoceno, posteriormente fueron referidos como Derrames de Lava y Conos Cineríticos de edad cuaternaria por Fries (1962), separándolos de las rocas volcánicas máficas definidas como Basaltos Grupo San Juan, ya que parecen tener menor antigüedad geológica, definida con el criterio de que estos derrames fueron extravasados después de que comenzara a disecarse la Formación Tarango y los conos cineríticos o escoriáceos conservan su forma característica.

Depósitos Clásticos (Q_{hoal}): Corresponden a sedimentos aluviales y fluviales, constituidos por arenas, arcillas y gravas acumuladas sobre la superficie actual del valle y a lo largo del lecho y márgenes de ríos y arroyos. Presenta espesores reducidos y se encuentran cubiertos por suelo residual¹⁰.

¹⁰ CONAGUA (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle del mezquital.

2.3 Zonificación y parámetros sísmicos

Nuestro país es sumamente propenso a la actividad sísmica, esto se debe al contexto geológico en que se encuentra su terreno y que lo sitúa en una región donde existe una intensa interacción entre placas tectónicas (Norteamérica, Cocos, Pacífico, Rivera y la placa del Caribe). Los movimientos sísmicos son entonces de los peligros más importantes a los que están sujetas las estructuras, motivo por el cual todas las construcciones se deben diseñar para ofrecer la seguridad necesaria para que no existan fallas tales que puedan ocasionar alguna pérdida humana.

Como parte del presente trabajo se incluye la zonificación y parámetros sísmicos para el diseño estructural, para lo cual se hizo empleo del programa **PRODIS**, en la versión 4.1.1, este programa es un programa de diseño sísmico que se basa en datos y criterios propuestos en el *Manual de diseño de obras civiles* de la CFE (2017) en su capítulo de *Diseño por Sismo*.

Los datos de ingreso del programa fueron las coordenadas geográficas del sitio y los datos obtenidos son los mostrados en la [Tabla 2.1](#) que se complementa con las [Figuras 2.5 a 2.7](#):

Tabla 2.1 Zonificación sísmica y parámetros sísmicos

Espectro en roca	Espectro de sitio
Zona sísmica: B	
a_0^r : 91.16 cm/s ² c : 252.97 cm/s ²	a_0 : 91.16 cm/s ² c : 252.97 cm/s ² T_a : 0.1 s T_b : 0.6 s T_c : 2.0 s k : 1.5 r : 0.5

donde:

a_0^r : valor de la aceleración máxima en roca para un periodo de retorno optimo

a_0 : aceleración máxima del terreno

c : máxima ordenada espectral

T_a : límite inferior de la meseta del espectro de diseño

T_b : límite superior de la meseta del espectro de diseño

T_c : periodo de inicio de la rama descendente en que los desplazamientos espectrales tienden correctamente al desplazamiento del terreno

k : parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales para $T_e \geq T_c$

r : parámetro que controla la caída de las ordenadas espectrales para $T_b \leq T_e < T_c$

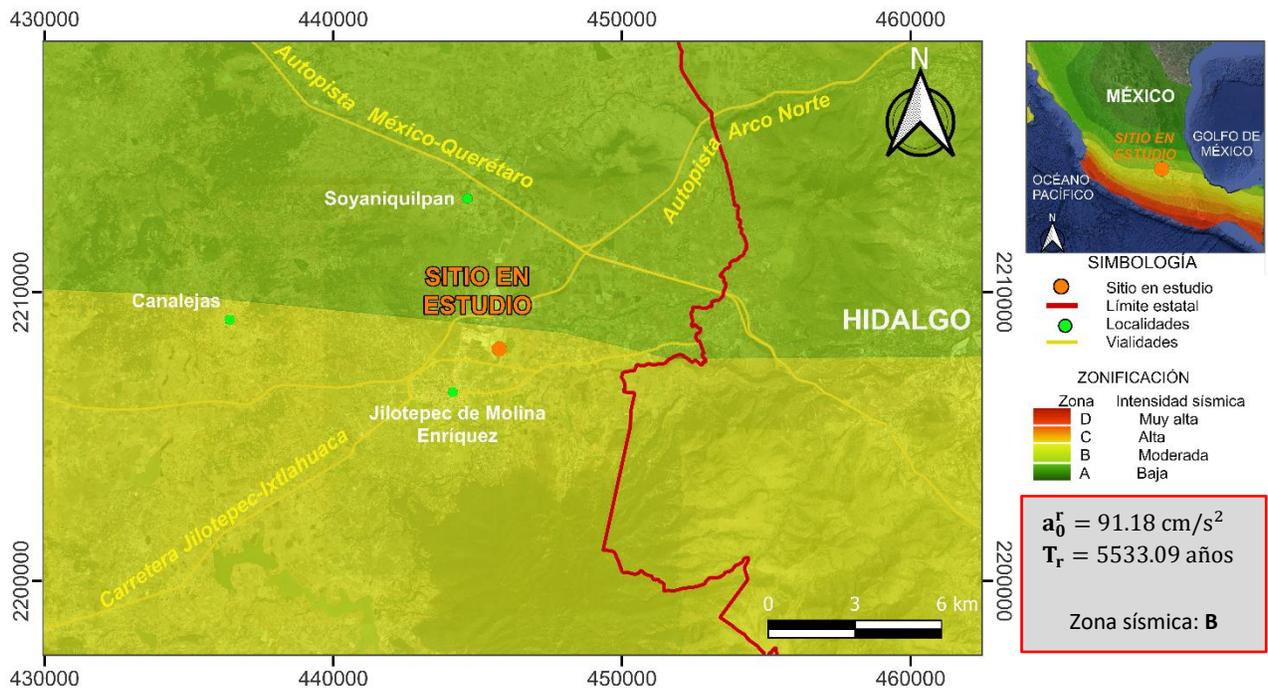


Figura 2.5. Zonificación sísmica

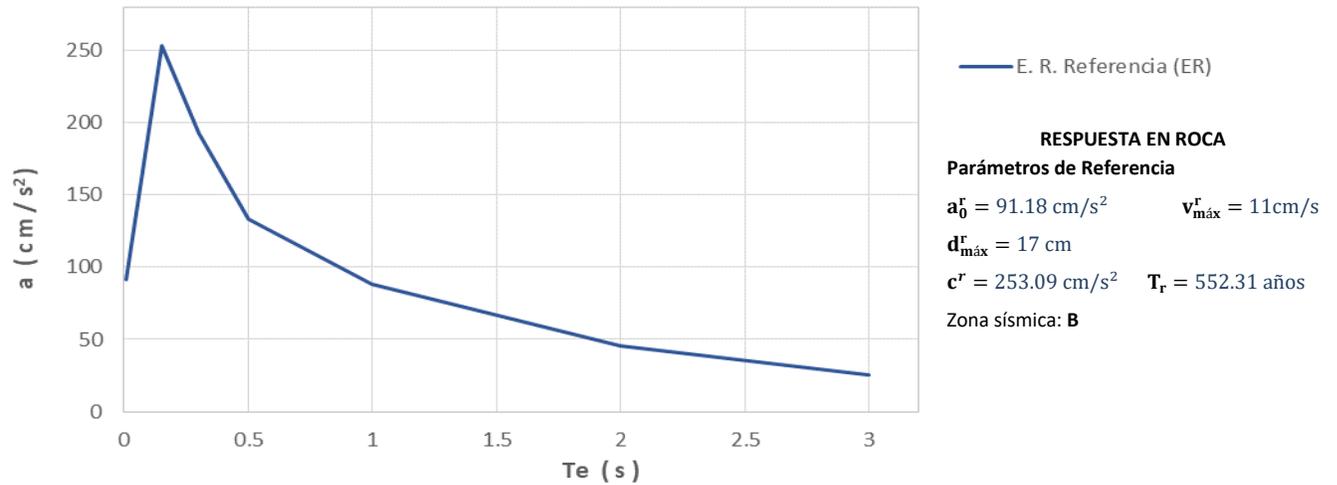


Figura 2.6. Espectro de respuesta

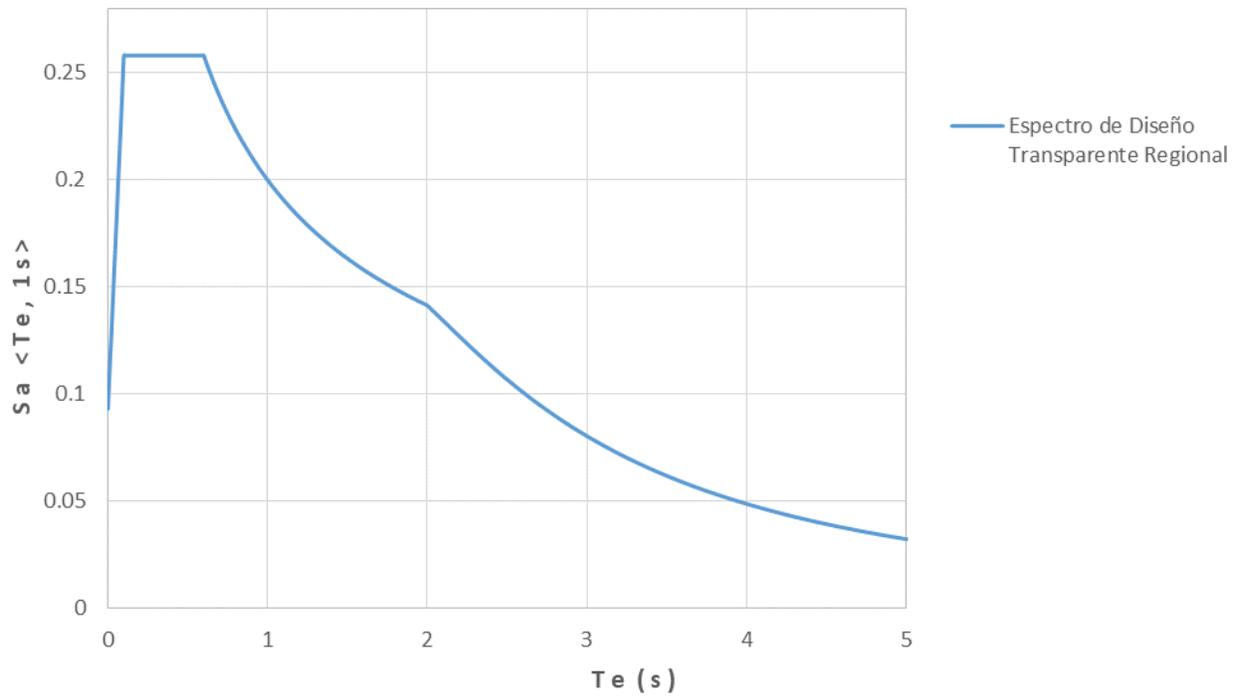


Figura 2.7. Espectro de Diseño Transparente Regional

2.4 Descripción histórica del sitio

Históricamente la región donde se encuentra el sitio se ha dedicado a la agricultura, “herencia ancestral”, y cuyo cultivo típico fue el maíz. Conforme se desarrolló la población y la actividad industrial adquirió un carácter significativo, el terreno fue teniendo un cambio en el uso de suelo, por lo que varias parcelas originalmente agrícolas fueron empleadas para otras actividades, caso del sitio en estudio donde el suelo paso por varias etapas hasta su actual uso industrial, tal como se puede ver en la cronología de las siguientes figuras:

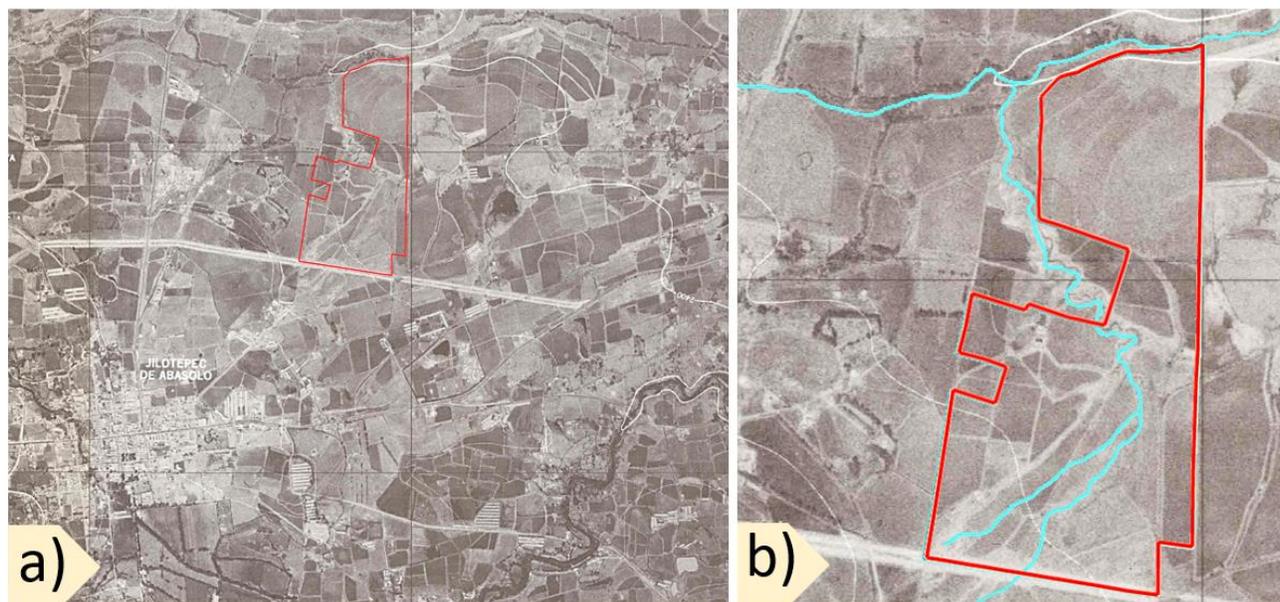


Figura 2.8. Fotografía aérea: 1983

- **Figura 2.8a-** Fotografía aérea que muestra el entorno regional de la zona de estudio (línea en color rojo). En la esquina inferior izquierda se observa una zona urbana que corresponde con la cabecera municipal ahora llamada Jilotepec de Molina Enríquez, mientras que en el resto de la fotografía se observa un paisaje rural compuesto en esencia por parcelas de cultivo y algunas localidades, también es posible distinguir los comienzos de lo que ahora es la Carretera Libre Jilotepec-Ixtlahuaca (línea color naranja).
- **Figura 2.8b-** Acercamiento sobre la fotografía aérea, puede observarse que el predio en estudio comprendía múltiples parcelas de cultivo, es importante destacar las corrientes agua, marcadas en color azul, que atraviesan el sitio en estudio. Justamente hacia la parte central del sitio, la corriente adquiere un carácter mayormente meándrico, acusando al terreno de su baja pendiente y suavidad de materiales superficiales.

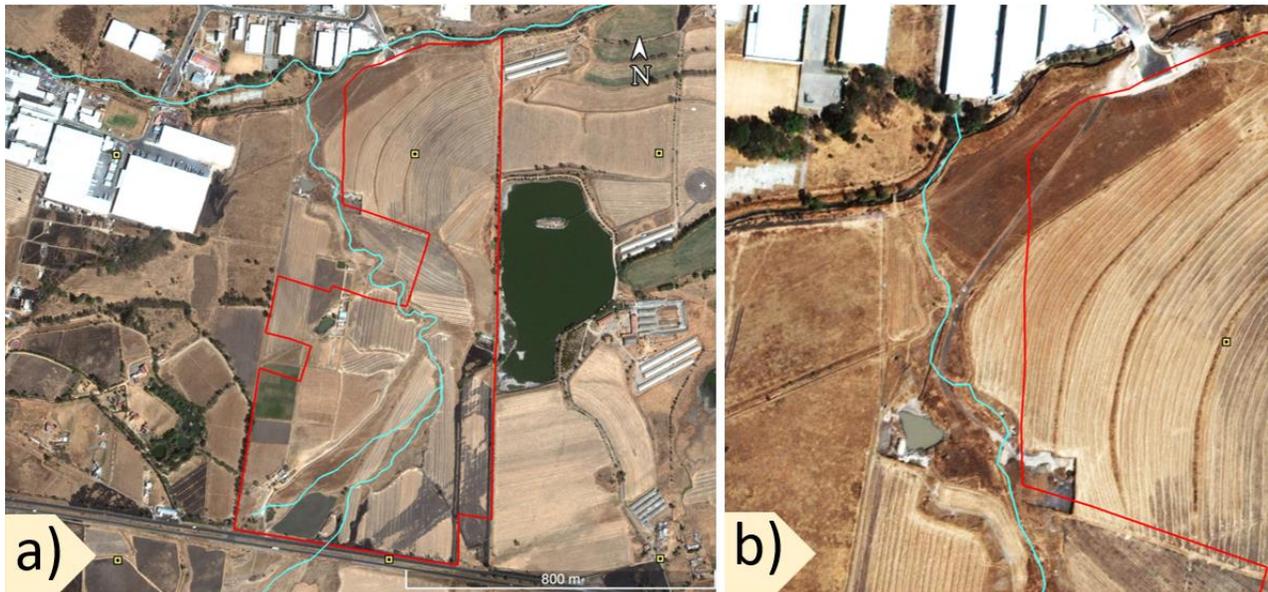


Figura 2.9. Imagen Satelital: enero 2011

- **Figura 2.9a-** Imagen satelital que corresponde a enero del 2011, las zonas aledañas al sitio ya han tenido un avance importante en la urbanización, particularmente el centro de operaciones cuenta ya con plantas productoras, así como oficinas y laboratorios (esquina superior izquierda de la fotografía). El sitio en estudio tiene pocas modificaciones respecto a la fotografía aérea de 1983, se distingue tenue pero aun presente la corriente intermitente al centro del predio (color azul), al menos cuatro cuerpos de agua tipo jagüey (color verde) y múltiples líneas de canales de riego la mayor parte como límites entre parcelas.
- **Figura 2.9b-** Dentro de las modificaciones que se pueden observar son un corte sobre el terreno de aproximadamente 40m por lado, de lo que se considera fuera un banco de préstamo. Así mismo se distingue un camino de terracería para el acceso a dicho corte.

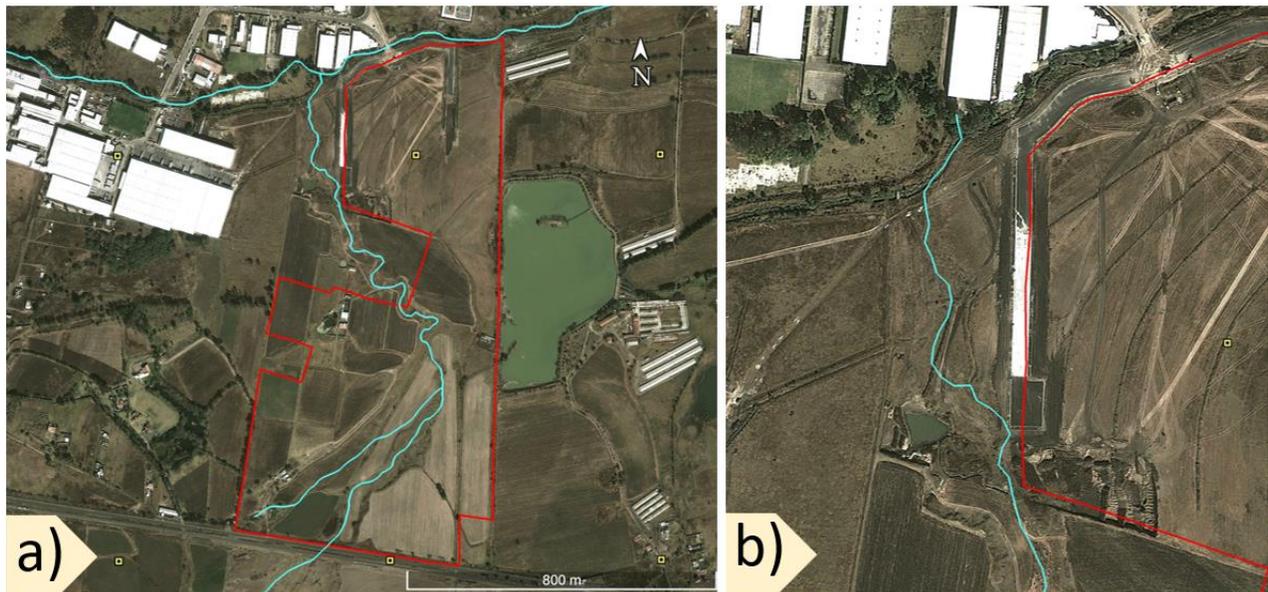


Figura 2.10. Imagen Satelital: noviembre 2011

- **Figura 2.10a-** Imagen satelital de noviembre del 2011, continua la ampliación del centro de operaciones al norponiente del sitio, así mismo lo que en enero del mismo año era un camino de terracería en la imagen de noviembre se muestra bastante avanzado en el proceso de pavimentación.
- **Figura 2.10b-** Ampliación de la imagen satelital, se puede observar que el corte en el terreno ha aumentado su dimensión ahora de 120 x 60m aproximadamente, también no se distingue en caja, por el contrario, se observan alineamientos que podrían indicar que se ha realizado en escalones. La corriente de agua era identificada en el predio se distingue afectada por las obras en el predio.

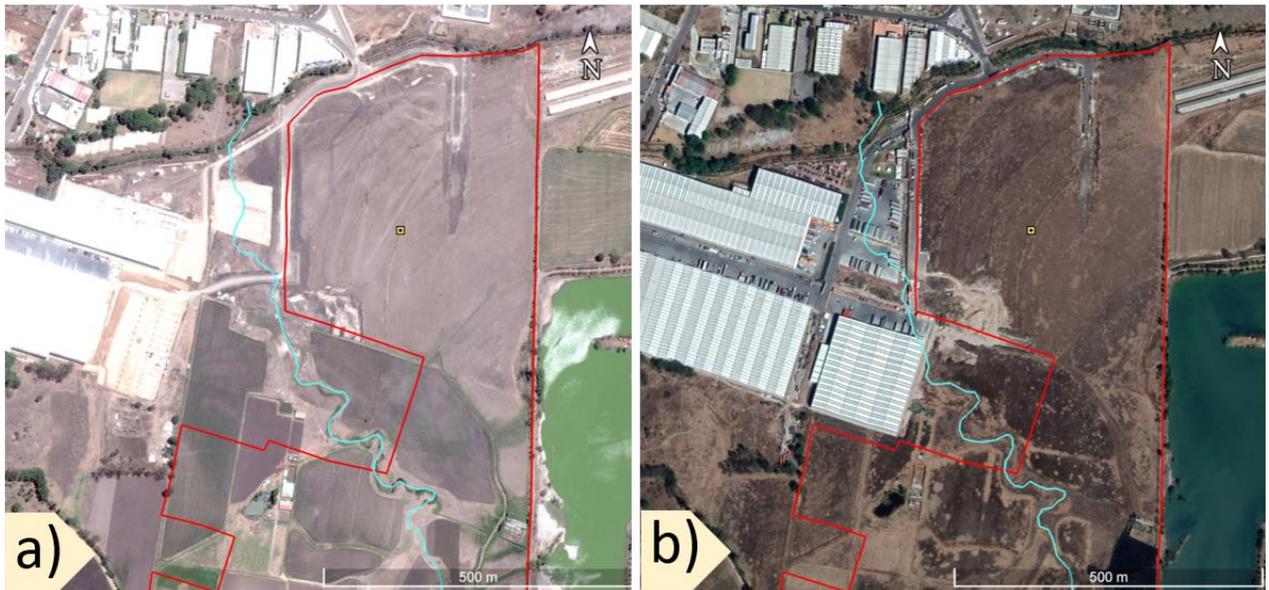


Figura 2.11. Imagen Satelital: a) junio de 2012, b) febrero 2016

- **Figura 2.11a-** El centro de operaciones continua con su ampliación, se distinguen nuevas estructuras construidas o en proceso de construcción, la corriente de agua que atravesaba el predio se percibe interceptada por las obras y el corte sobre el terreno prácticamente se ha mantenido en las mismas dimensiones respecto a la imagen de 2011.
- **Figura 2.11b-** Las obras que estaban en proceso de construcción en la imagen d junio de 2012 han sido completamente concluidas, así como se adicionan una nave industrial y un estacionamiento. Es posible observar como la corriente de agua queda totalmente cortada por las obras, mientras que el corte sobre el terreno avanza hacia el sur y hacia el oriente. En general el resto del sitio sigue sin modificaciones importantes.

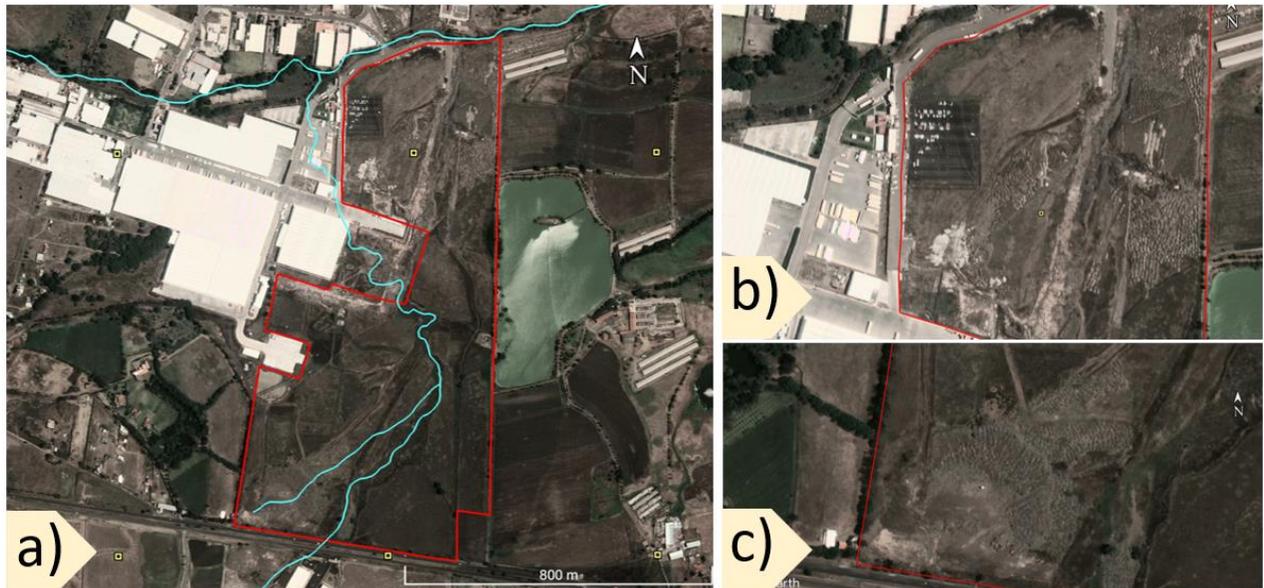


Figura 2.12. Imagen Satelital: mayo 2017

- **Figura 2.12a-** Al nor-poniente del predio se distinguen varias estructuras nuevas, tales como naves industriales, patios y un estacionamiento, y estructuras en proceso de construcción. LA corriente al interior del predio al ser cortada ha comenzado a acumular agua en el centro del predio en la forma de un pequeño lago. También es importante destacar áreas del sitio (imágenes b y c) donde se distinguen cambios en el terreno.
- **Figura 2.12b-** En la zona norte del sitio se distingue en varias zonas un cambio de textura en el terreno, asociado con el depósito de materiales producto del corte del terreno en las zonas de construcción (color naranja).
- **Figura 2.12c-** En la zona sur también se distingue el cambio de textura sobre el terreno en varias zonas (color naranja)

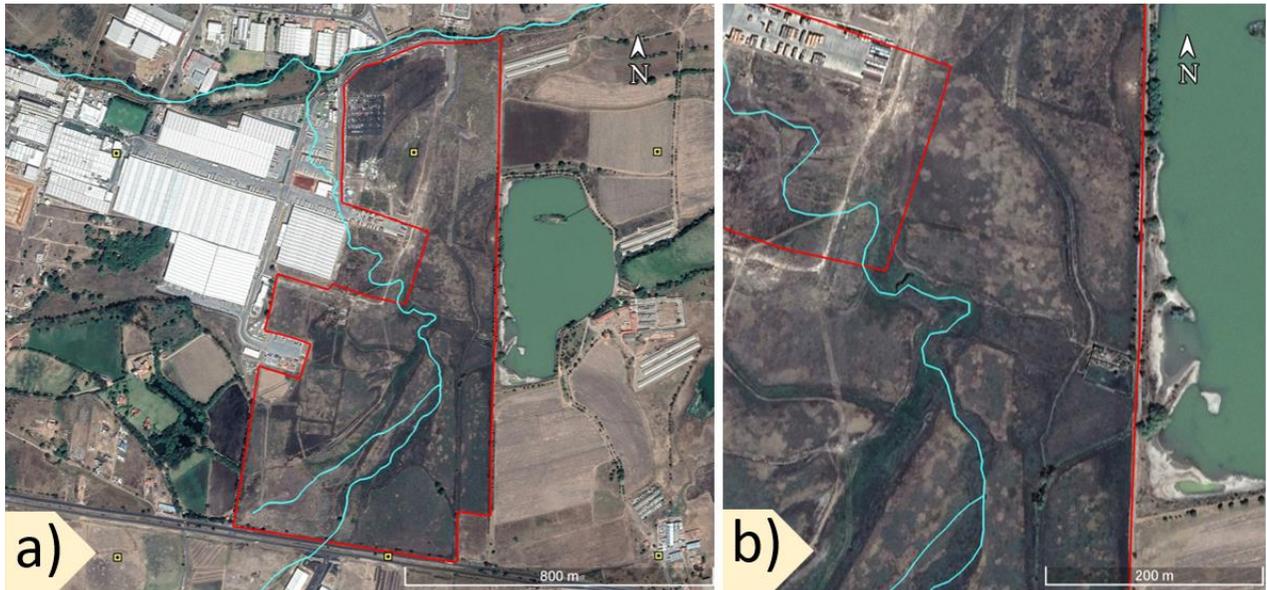


Figura 2.13. Imagen Satelital: abril 2019

- **Figura 2.13a-** En el lapso de tiempo de mayo de 2017 a abril de 2019 aparentemente no ha continuado la expansión del centro de operaciones, se aprecian pocas estructuras nuevas y en general los cambios que se perciben corresponden al aumento de las zonas usadas como bancos de tiro.
- **Figura 2.13b-** Es importante destacar en este acercamiento, que la interrupción de los drenajes naturales a partir de las obras civiles ha generado la formación de acumulaciones de agua al centro del predio.

3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACIÓN Y LABORATORIO

3.1 Exploración geológica

Una vez concluida la recopilación de información preliminar, y a la par de esta, se realizó la verificación geológica en campo, esta verificación consistió en caminamientos sistemáticos por zonas donde era posible la observación directa del terreno.

La finalidad de los recorridos o caminamientos en la exploración geológica fue la validación de la información recopilada, la recolección de muestras representativas para la descripción a detalle del terreno, el registro de estructuras geológicas de interés al proyecto y la identificación de riesgos geológicos para desarrollo del proyecto ya sea al momento de realizar las obras civiles o una vez que estas estén concluidas.

La finalidad de la exploración geológica, es obtener los datos necesarios para poder establecer un **modelo geológico del sitio**; mismo que al ser complementado con los resultados de la exploración geofísica y de mecánica de suelos, permita obtener un modelo de diseño geotécnico para el sitio.



Figura 3.1. Trabajos de exploración geológica.

3.2 Exploración de mecánica de suelos.

Con la finalidad de lograr una comprensión integral del terreno en estudio y la obtención de los parámetros mecánicos suficientes para el cálculo geotécnico se llevó a cabo una campaña de exploración de mecánica de suelos, esta campaña fue diseñada a partir de la información preliminar bibliográfica y de campo, los alcances que se plantearon y, al no contar con una normativa específica para el estado de México, se tomaron en consideración las *Normas Técnicas Complementarias (NTC) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, y las *Normas de Exploración Directa del Subsuelo de la Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT)*. Los trabajos se realizaron posteriormente a las actividades de gabinete y posterior o a la par de la exploraciones geológicas y geofísicas.

De acuerdo con la normativa mencionada el mínimo número de La campaña consistió en la excavación de **144 pozos a cielo abierto**, **4 levantamientos visuales** de la estratigrafía en cortes, y perforación de **9 sondeos geotécnicos** (ver plano [PL03](#)), con ellos se realizaron curvas de igual espesor de arcilla negra, espesor de materiales de relleno y profundidad de roca, ejemplo de esto se puede apreciar en los planos [PL03.1](#) y [PL03.2](#).

3.2.1 Pozos a cielo abierto.

Son exploraciones superficiales, que permiten evaluar el terreo de manera directa y relativamente amplia, el método consiste en realizar excavaciones con profundidad de algunos metros y dimensiones suficientes para examinar a detalle las paredes del pozo y la recuperación de muestras de los materiales identificados; se realizan de manera manual o con algún tipo de maquinaria y tienen la ventaja de permitir visualizar de manera continua las variaciones litológicas a lo largo de la excavación, así como las estructuras y discontinuidades en el terreno ([Figura 3.2](#)).



Figura 3.2. Ejecución de pozos a cielo abierto.

Para el caso del proyecto se realizaron pozos de profundidades variables entre 0.30m y 4.0m, y las muestras recolectadas fueron de tipo: alteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas se obtuvieron directamente del terreno con alguna herramienta manual y fueron colocadas al interior de bolsas plásticas limpias, resistentes y que se puedan cerrar herméticamente con la finalidad de evitar la contaminación de la muestra o la pérdida de humedad (*Figura 3.3*).



Figura 3.3. Registro de pozos a cielo abierto y recuperación de muestras alteradas.

Las muestras inalteradas se obtuvieron a partir de la técnica de muestras cúbicas o en bloque, este tipo de muestreo consiste en el tallado manual de un bloque de suelo y su inmediato sellado al vacío; se realiza sobre suelos cohesivos o suelos finos que permiten su labrado puesto que la finalidad de esta técnica es conservar la estructura y propiedades índice de la muestra de suelo (*Figura 3.4*).



Figura 3.4. Obtención de muestras cúbicas.



Figura 3.6. Registro de la estratigrafía en cortes sobre el terreno.

3.2.3 Sondeos geotécnicos.

Los sondeos geotécnicos son exploraciones directas que permiten evaluar de manera puntual el terreno y obtener muestras representativas de este.

Dependiendo del terreno que se analice es la técnica de perforación que se puede aplicar, los sondeos pueden aplicar diversas técnicas, por ejemplo, pueden ser a percusión, a rotación o una mezcla de ambos y con obtención de muestras de manera continua o selectiva; para el caso del proyecto se hicieron sondeos mixtos ([Figura 3.7](#)) cuyas características serán descritas a continuación.



Figura 3.7. Maquinaria para Sondeo Mixto

Sondeos Mixtos

En este tipo de sondeo se hace empleo de dos técnicas: la prueba de penetración estándar y perforación a rotación con recuperación continua de muestras.

La técnica conocida como *Prueba de Penetración Estándar (SPT, por sus siglas en ingles)*, recupera muestras alteradas del suelo al tiempo que va midiendo su resistencia a la penetración estándar.

La resistencia a la penetración estándar está definida como el número de golpes necesarios para hincar 30cm un *penetrómetro estándar* a través del golpeteo de un martinete de masa específica (64 kg) que se deja caer libremente una distancia también regulada (75 cm).

La prueba se inicia hincando el penetrómetro 15 cm con el golpeteo del martinete, posterior a estos se comienza a contar el número de golpes (N) necesarios para lograr la penetración de los siguientes 30cm. Si el número de golpes llega a 50 y el penetrómetro ya no avanza, se suspende la acción, de lo contrario, se continúa aplicando golpes hasta que penetre en toda su longitud.

Concluida esta etapa se procede a extraer el penetrómetro del sondeo y se recupera la muestra que se obtuvo para la identificación del material y la elaboración de un registro de campo (*Figura 3.8*), y finalmente, de haberse programado una prueba sobre dicha muestra, pueda ser enviada al laboratorio de geotecnia.



Figura 3.8. Muestra recuperada con la herramienta de tubo partido.

Cuando la dureza del material no permitió la ejecución de la técnica de penetración estándar, se realizó el avance y muestreo empleando un barril doble giratorio NQ provisto con una broca de diamante impregnado (*Figura 3.9*).

Al igual que en el caso de los pozos a cielo abierto y de los levantamientos visuales, se realizó también un registro de la exploración en campo (*Figura 3.10*) donde se detallaron los materiales identificados y las condiciones bajo las que se realizó la perforación y muestreo.

Estos registros de exploración, junto con el número de golpes y los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas en las muestras que se obtuvieron, conformaron los perfiles geotécnicos empleados para la elaboración del modelo geológico del sitio.



Figura 3.9. Obtención de muestras en sondeo a rotación.

 G / / / / / / / / / / MECÁNICA DE SUELOS REGISTRO DE EXPLORACIÓN EN CAMPO											
PROYECTO : Terminal de mantenimiento				SONDEO: 3		TIPO: Mixto		PERFORADORA: LONG YEAR BOMBA: MOYNO 3L-6			
UBICACIÓN : Jilotepec, Edo. De México.				COORDENADA: / / / / / / / / / /		/ / / / / / / / / /		INICIO: / / / / / / / / / /			
								TERMINO: / / / / / / / / / /			
No. DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		TIPO DE HERRAM.	No. DE GOLPES				LONGITUD PERFOR. (m)	LONGITUD RECUPERADA		CLASIFICACIÓN DE CAMPO
	DE	HASTA		15 cm	15 cm	15 cm	15 cm		(m)	(m)	
1	0.00	0.60	TP	3	7	8	23	0.60	0.4	67	Limo café oscuro
2	0.60	0.85	TP	40	50/10			0.25	0.22	88	Limo poco arenoso con gravillas intercaladas.
-	0.85	1.20	BT	BT				0.35	-		Avance
3	1.20	2.00	BI	BNQ				0.80	0.3	38	Fragmentos de roca empacados en limo
4	2.00	3.50	BNQ	BNQ				1.50	1.35	90	Basalto fracturado empacado en limo.
5	3.50	5.00	BNQ	BNQ				1.50	1.5	100	Basalto fracturado.
6	5.00	5.50	BNQ	BNQ				0.50	0.35	70	Basalto fracturado.
7	5.50	7.00	BNQ	BNQ				1.50	1.28	85	Basalto fracturado con lentes de arcilla.
OBSERVACIONES: Perdida de agua entre 0.60 y 1.20 de profundidad											

Figura 3.10. Registro de campo: Sondeo Mixto

3.3 Pruebas de laboratorio de mecánica de suelos

De acuerdo a la normativa consultada y los alcances del proyecto, se programaron y ejecutaron pruebas de laboratorio sobre las muestras de suelo recuperadas, para su ensaye siguieron los lineamientos establecidos por la “*American Society for Testing and Materials (ASTM)*”, organización que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales y servicios, dentro de los cuales se encuentran las pruebas de laboratorio sobre suelos, estas pruebas fueron de tipo: índice, mecánicas y de calidad.

Las **pruebas índice** se emplearon para caracterizar el suelo, estas son de dos tipos: *pruebas de identificación* y *pruebas de estado*, las primeras se realizan para identificar el tipo de suelo y se basan en sus características inherentes pues dependen de las partículas que lo componen y no de las condiciones en que se encuentran, las *pruebas de estado* indican las condiciones en que se encuentra el suelo al momento de realizar el estudio como su contenido de agua y densidad.

Las **pruebas mecánicas** se emplearon como punto de partida para el diseño geotécnico puesto que permiten identificar el comportamiento del suelo respecto a las cargas y modificaciones a los que será sometido. Estas pruebas evalúan el comportamiento mecánico del suelo que viene determinado por varios factores como la organización de sus partículas, es decir, su estructura interna; y las condiciones del medio, por tal motivo estas pruebas se realizan en especímenes de muestras inalteradas. Las pruebas mecánicas realizadas fueron: resistencia a la compresión simple, resistencia a la compresión triaxial no consolidada-no drenada, consolidación unidimensional, saturación bajo carga y expansión libre.

Finalmente, las **pruebas de calidad** son empleadas para evaluar las características de los materiales encontrados para su uso en terracerías.

En los párrafos siguientes serán descritas de manera breve cada una de las pruebas realizadas.

Pruebas de tipo índice:

Granulometría por mallas (ASTM C 136)- Este ensayo consiste en separar una muestra de agregado seco y masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar los tamaños de las partículas (*Figura 3.11-A*).

Obtención de finos por lavado (ASTM C 117)- Similar al ensayo anterior, la obtención de finos por lavado tiene el objeto de separar las partículas, pero con la variante de que solo se considera el material más fino que la malla 75 μm , y se aplica en aquellos agregados donde el material fino se separa de manera más eficiente por vía húmeda que con tamizado en seco.

Límites de consistencia o Límites de Atterberg (ASTM D 4318)- Este ensayo se utiliza en suelos finos y su finalidad principal es caracterizar la condición de humedad en la cual la mezcla suelo-agua se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso (límite Líquido, LL) y la condición en la mezcla se deforma bajo una ligera presión (Límite Plástico, LP), es decir, pasa a un estado plástico (*Figura 3.1-B*).



Figura 3.11. Obtención de: A) Granulometrías por mallas, B) Límites de consistencia.

Contenido Natural de agua (ASTM D 2216)- Este método de ensayo permite conocer el contenido de humedad por masa en materiales como suelos y rocas, donde la reducción en masa por secado se debe a la pérdida de agua (Figura 3.12-A).

Peso específico relativo de los sólidos (ASTM D 854)- Esta prueba también conocida como obtención de la densidad de sólidos se define como la relación que existe entre el peso de los sólidos y el peso del volumen del agua desalojado por los mismos. Es un factor auxiliar que se emplea para determinar otras propiedades del suelo como son: porosidad, relación de vacíos, estudios de consolidación del suelo, etc (Figura 3.12-B).



Figura 3.12. Obtención de: a) Contenido natural de agua, B) Peso específico relativo

Pruebas mecánicas:

Resistencia a la compresión simple (ASTM D 2166)- El ensayo se realiza con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo a la compresión no confinada mediante la aplicación de una carga axial, se realiza utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma de cilindro, generalmente con una relación alto/diámetro igual a 2 y durante la prueba se hace un control de la deformación de la muestra (*Figura 3.13-A*).

Resistencia a la Compresión Triaxial no Consolidada - no Drenada UU (ASTM D 2850)- Esta prueba consiste en determinar los parámetros de la resistencia al cortante en una muestra cilíndrica de suelo que es sometida a presión lateral para simular las condiciones del terreno donde fue tomada, e inmediatamente después hecha fallar con la aplicación rápida de una carga axial. El espécimen cilíndrico es revestido con una membrana de látex dentro de la cámara a presión, la presión lateral se realiza con un líquido, y no se permite en ninguna etapa la consolidación de la muestra. *Figura 3.13-B*).



Figura 3.13. Ejecución de pruebas de resistencia a: A) Compresión simple, B) Compresión triaxial

Consolidación Unidimensional (ASTM D 2435-96-80?)- Este ensayo consiste en someter a un espécimen del material estudiado a una secuencia de cargas específicas con la finalidad de analizar la deformación que presenta como consecuencia de la reducción gradual de su volumen por la disipación de la presión en sus poros. Durante el proceso de compresión se toman medidas del decremento en la altura de la muestra respecto a la carga empleada, estos datos son utilizados para calcular los parámetros que determinan la relación entre el esfuerzo efectivo, y la relación de vacíos o la deformación, y para calcular la velocidad a la cual la compresión puede ocurrir.

Expansión libre (ASTM D 4546-03 método A)- El procedimiento de esta prueba implica la saturación de la muestra mientras se previene la expansión de la misma. La presión de expansión es registrada como el esfuerzo máximo aplicado para mantener el volumen constante. Una vez que la presión de expansión se detiene, después de haber humedecido el suelo, la muestra se puede recuperar

eliminado las cargas por completo o paulatinamente. Alternativamente la muestra puede ser cargada más allá de la presión de expansión y descargada siguiendo la prueba de consolidación convencional.

Saturación bajo carga (ASTM D 4546-03 método B). Consiste en aplicar una carga a una muestra de suelo, definir su deformación y posteriormente llevarla a la expansión bajo carga al añadir agua y saturar la muestra por capilaridad. La carga inicial puede representar la sobrecarga provocada por una obra de ingeniería, o alguna otra carga necesaria para el estudio. Después de la expansión de la muestra, ésta es cargada más allá de la carga inicial y descargada de la manera convencional. La presión de expansión está usualmente definida como la presión requerida para comprimir y volver a comprimir la expansión generada al absorber agua regresándola a su volumen inicial (*Figura 3.14*).



Figura 3.14. Prueba de Saturación bajo carga

3.4 Exploración geofísica

Los trabajos de exploración geofísica se realizaron una vez concluidas las actividades de gabinete y posterior o a la par de la exploraciones geológicas y mecánica de suelos.

Esta exploración consistió en la aplicación de técnicas o métodos para la investigación de parámetros físicos del subsuelo y su correlación con características geológicas. Son técnicas no destructivas, poco invasivas y con gran cobertura, los métodos más comunes que se suelen emplear son los gravimétricos, eléctricos, magnéticos, electromagnéticos, y sísmicos. Para el caso del sitio en estudio se hizo uso de los métodos: eléctrico en sus variantes: **Sondeo eléctrico vertical (SEV)** y **Tendido Dipolo-Dipolo (TDD)**; y sísmico en su variante: **Tendido de Refracción Sísmica (TRS)**, los cuales serán descritos a continuación:

3.4.1 Métodos eléctricos

Son aquellos que estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través de él corrientes eléctricas continua. El parámetro físico que se controla es la resistividad y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona en que se aplican¹¹.

Los trabajos inician a partir de un par de *electrodos de emisión (corriente)* que conectados a una fuente de energía inyectan al terreno una *corriente de intensidad continua*. La corriente corre a través del terreno y es captada por otro par de *electrodos de medición (potencial)*, donde se registra la *diferencia de potencial* que se genera entre estos y a partir de la cual es calculada la *resistividad aparente* del terreno (*figura 3.16*). La profundidad de investigación es proporcional a la distancia utilizada entre los electrodos, por lo que para estudiar el terreno se realizan mediciones con diferentes distancias entre los pares de electrodos, lo más frecuente es utilizar configuraciones normalizadas, un ejemplo de ellas son las denominadas “Schlumberger” y “Wenner”.

El equipo es similar para las distintas configuraciones, en el caso del proyecto se emplearon un transmisor marca SCINTREX, modelo IPC-7 de 2.5 Kw; un receptor modelo IPR-8, también de la marca SCINTREX; la fuente de energía fue un moto-generador de 8.5 HP; además de todos los accesorios de trabajo, tales como: electrodos, cable, marros, etc.

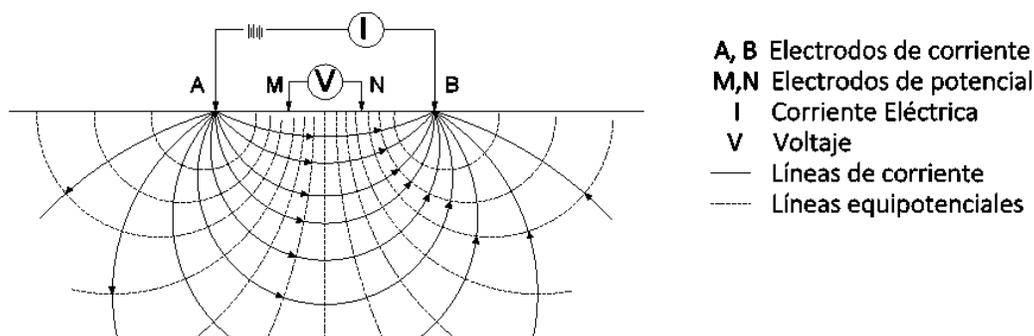


Figura 3.15. Medida de resistividades mediante métodos eléctricos

Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Para la ejecución de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) se empleó el arreglo de electrodos tipo Schlumberger y la técnica consiste en separar sucesivamente los electrodos de emisión del punto central siguiendo una línea recta y medir la resistividad en cada cambio de distancia de los electrodos (*Figura 3.17*).

¹¹ González de Vallejo, L. I., Ferrer Gijón, M. (2002). Ingeniería geológica. España: Pearson Educación.



Figura 3.16. Ejecución de un Sondeo Eléctrico Vertical.

El análisis de datos se realizó de forma cuantitativa y cualitativa, de inicio los datos obtenidos en campo fueron graficados realizando ajuste por empalme para convertir los trazos de cada sondeo en curvas continuas. En estas gráficas se observaron los puntos de inflexión característicos que corresponden a cambios en la litología del sitio investigado.

La interpretación cuantitativa se hace en gabinete empleando para ello programas de cómputo que logran un mejor ajuste en las curvas de campo para generar un modelo geoelectrico en cada punto investigado. Se realizaron un total de 40 sondeos sobre el terreno en estudio que pueden ser visualizados en el plano: [PLO2](#)).

Posteriormente, con apoyo en la información geológica y teniendo en cuenta las características de los materiales, la resistencia eléctrica depende de factores como la porosidad, el grado de alteración de los materiales, la humedad o saturación, sobre todo el tipo de agua que es contenida y su salinidad; se generan columnas estratigráficas individuales que posteriormente se integraron en secciones a lo largo del terreno para la correlación e interpretación de la distribución de materiales como se puede ver en la [Figura 3.18](#), misma que a detalle se puede apreciar en el plano [PLO3.1](#).

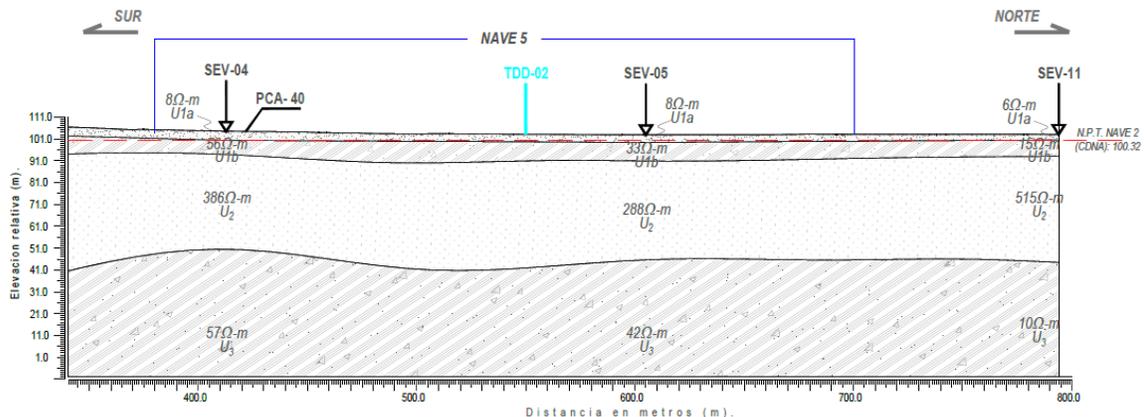


Figura 3.17. Ejemplo de sección geofísica: SEV

Tendidos Dipolo-Dipolo (TDD)

Para la ejecución de los Tendidos Dipolo-Dipolo (TDD) los electrodos que componen el sistema se mueven relación a un centro a la vez que lateralmente, el proceso consiste en mantener fijos los electrodos de emisión y mover lateralmente los *electrodos de medición* cada determinada distancia a lo largo de la sección a estudiar; posteriormente se desplaza una vez de manera lateral los electrodos de emisión y se vuelven a mantener fijos mientras se hace un nuevo barrido lateral con los electrodos de medición.



Figura 3.18. Ejecución de un Tendido dipolo-dipolo.

Para el análisis de información se inicia graficando los datos de campo para asignarles a cada medida su punto de atribución, tanto en profundidad (nivel de exploración), como en posición horizontal conforme al barrido del levantamiento. Este proceso permite obtener isóneas o curvas de igual valor de resistividad, graficando toda la sección con los valores obtenidos para cada punto de investigación.

El análisis de información también se realiza a través de programas de cómputo y con apoyo de la información geológica del sitio, como producto final se tienen perfiles de resistividades del terreno como la mostrada en la [Figura 3.20](#), misma que a detalle se puede apreciar en el plano [PL03.2](#).

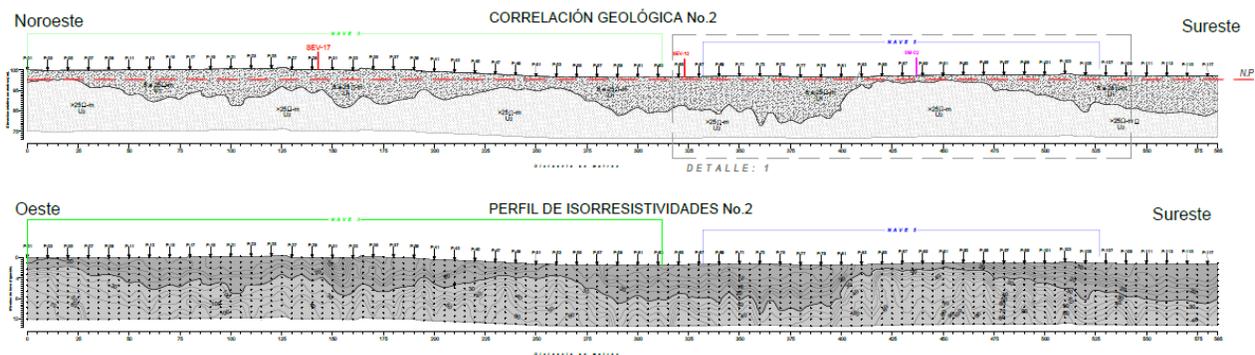


Figura 3.19. Ejemplo de sección geofísica (TDD).

3.4.2 Métodos sísmicos

Este tipo de métodos se fundamenta en el estudio de las ondas vibratorias producidas en la superficie del terreno, ya sean de origen natural o artificial y con la premisa de que estas ondas no se propagan a la misma velocidad en diferentes medios.

Las ondas que se generan son registradas como energía mecánica a partir de ciertos aparatos denominados geófonos, que mediante un sistema de bobina convierten esa energía mecánica en señales eléctricas. El intervalo de tiempo que transcurre desde que se genera la onda sísmica hasta su arribo en los geófonos, permitirá construir una gráfica de tiempo-distancia, esta gráfica (Dromocrónica) permite determinar la velocidad de propagación de las ondas sísmicas a través del terreno, y con ello las variaciones laterales o a profundidad de los materiales que componen el terreno (*Figura 3.21*).

Cabe destacar que las variaciones no necesariamente corresponden con cambios en la litología, puesto que la velocidad de propagación depende de características en los materiales como grado de compactación, porosidad o saturación.

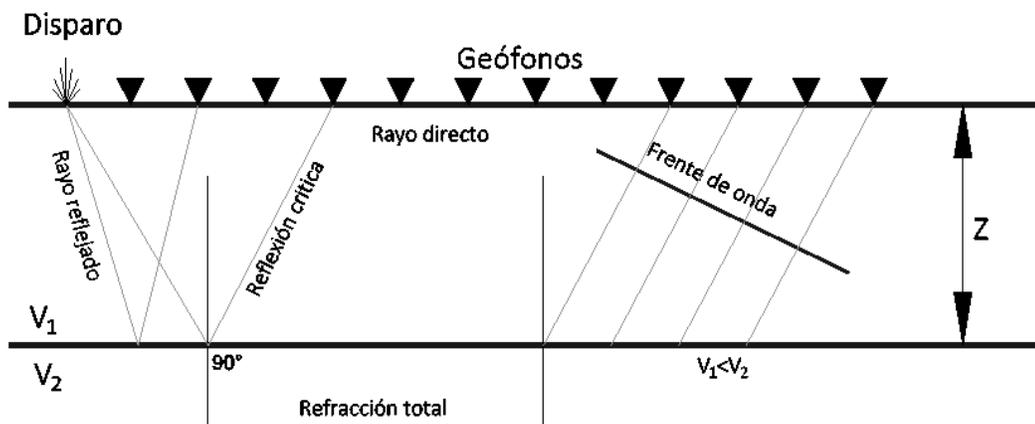


Figura 3.20. Fundamento de la prospección sísmica

Tendido de Refracción Sísmica (TRS)

Para la aplicación de esta técnica se utilizó un sismógrafo NINBUS INSTRUMENTS, marca: Geometrics, modelo: ES-125 y geófonos marca: Geospace de 14 Hertz de frecuencia, además de equipo accesorio como marros, cables, etc.

La técnica consistió en la realización de perfiles longitudinales instrumentados con sensores (geófonos), espaciados entre sí una distancia conocida y generalmente regular, donde se aplicó una perturbación del medio a través de golpes con un martillo sobre una placa de acero colocada sobre el terreno (*Figura 3.22*), esta sirvió como la fuente de señal sísmica artificial; dicha perturbación se registró en un sismógrafo como se indicó en párrafos anteriores, midiendo el intervalo de tiempo que transcurre desde que se genera la onda sísmica hasta su arribo en los geófonos.



Figura 3.21. Ejecución de un tendido de refracción sísmica.

Los registros sísmicos se obtienen uno por punto de tiro, y a través de un programa de cómputo son procesados para generar ajustes en los parámetros que se requieran y el uso de filtros; a partir de las dromocrónicas se determinan las velocidades promedio de los estratos y los espesores que existen debajo de cada geófono y finalmente los resultados de los tendidos levantados se representan gráficamente en líneas o secciones geosísmicas, como las que se muestran en la [figura 3.23](#), un ejemplo a detalle puede observarse en el plano [PL03.3](#).

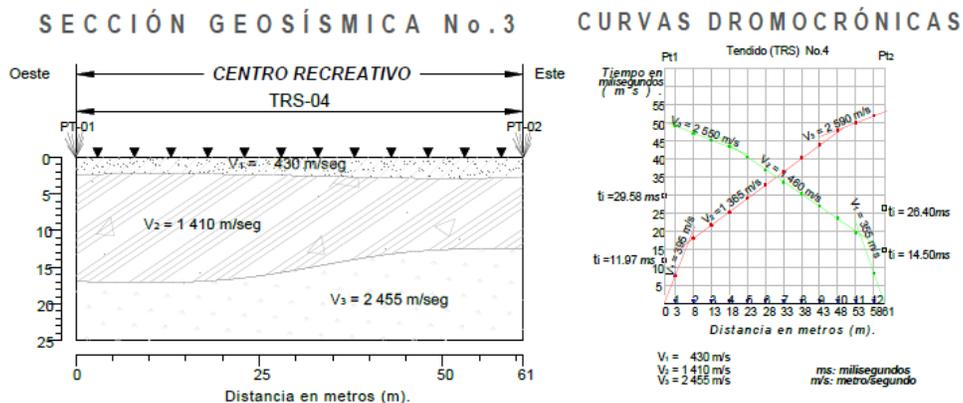


Figura 3.22. Sección geofísica: TRS y Curva Dromocrónica

4 RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN EN CAMPO Y PRUEBAS DE LABORATORIO

4.1 Resultados de la exploración geológica.

De los recorridos, levantamientos y verificaciones de campo que se realizaron al interior del sitio en estudio y en las zonas circundantes se identificaron las siguientes condiciones:

Morfología del terreno:

- ❖ El terreno en estudio estaba conformado por una serie de parcelas todas continuas donde la mayor parte aún mantenían canales de riego, surcos y tocones de maíz, evidencia de su uso agrícola, mientras que la otra parte ya había sido modificada por el depósito de materiales a volteo tipo banco de tiro o por cortes sobre el terreno para despalme, nivelaciones e incluso un banco de préstamo, lo que originó una morfología heterogénea, aunque con una pendiente natural hacia el norte del proyecto (*Figura 4.1*).



Figura 4.1. Vista general del terreno en estudio.

- ❖ En la zona sur del área en estudio se identificó una depresión que inicia dirección SW-NE y a la mitad del polígono tiene una inflexión hacia el NW, esta depresión presentaba un desnivel de más o menos 1m de profundidad respecto al terreno circundante (*Figura 4.2*). La depresión sigue la traza de la ya extinta corriente, de la cual se tiene referencia en las cartas de topografía y geología que fueron consultadas, por lo que la morfología que presentaba se asociaba al socavamiento producido por una corriente que transcurría en el predio.



Figura 4.2. Vista de la depresión al centro del predio.

- ❖ Después del inicio de las obras civiles y con la intervención de los escurrimientos naturales en el predio, hacia la parte media del sitio se formó una acumulación de agua de varios metros de superficie y que se mantenía presente prácticamente todo el año, salvo la etapa cumbre de la época de estiaje donde quedaba únicamente una zona con poca humedad (*Figura 4.3*).



Figura 4.3. Acumulación de agua al centro del predio.

Depósitos tipo banco de tiro

Este tipo de depósitos se ubicaban en al norte y al sur del área en estudio, las condiciones que presentaron fueron las siguientes:

- ❖ En la zona norte se identificó una sucesión de depósitos que abarcaban una superficie de alrededor de 3 hectáreas (*Figura 4.4*), estos eran depósitos de tres tipos:
 - Material no seleccionado, sin orden de depósito definido y colocado únicamente a volteo conformando montículos de alturas variables, se componía de cascajo embebido en una matriz arcillo-limosa.
 - Material parcialmente seleccionado correspondiente con granulometrías finas o medias, fue colocado formando una plataforma, sin embargo, no presentaba una heterogeneidad ni compactación suficiente para ser empleado en el desplante de estructuras, este material presentaba taludes hasta de 4m de altura.
 - Material parcialmente seleccionado que se conformaba de fragmentos de roca, roca con arcilla y montículos de limo.



Figura 4.4. Zona de rellenos al norte del predio.

- ❖ En la zona sur, en su esquina SW se identificó una plataforma de rellenos de alrededor de 2.5 hectáreas de superficie y alturas de hasta 5.0 m respecto al terreno circundante compuesto por fragmentos de roca volcánica de diferentes tamaños mezclado con arcilla, este montículo es rodeado por varios depósitos de fragmentos de roca volcánica de varios tamaños (*Figura 4.5*).



Figura 4.5. Depósitos de roca al sur del predio.

Banco de préstamo

- ❖ Hacia la parte media del sitio en estudio se identificó una zona que de acuerdo con la cronología de las imágenes satelitales de mostradas en el [apartado 3.4](#) fue utilizada como banco de préstamo, el material extraído correspondía con arcilla limosa sumamente consolidada, con horizontes de limo y arena fina, de colores marrón amarillento a grisáceo ([Figura 4.6](#)). Al momento del estudio ya estaba en desuso como banco, pero afectado por cortes en el terreno de varios metros. Las primeras imágenes satelitales mostraban un corte en caja y posteriormente en plataformas.
- ❖ Al momento del estudio la zona del banco era limitada por cortes al norte, oriente y sur, generándole una forma de mogote con un valle central con 4.0m de ancho y taludes de altura variable entre 2.0 y 4.0 m. En los cortes se exhibían taludes en terreno natural (arcilla limosa marrón claro) coronados por material de relleno (arcilla negra con abundante materia orgánica). El piso del valle se encontraba cubierto por material que caído de los taludes.



Figura 4.6. Cortes al terreno después de ser usado como banco de préstamo

Materiales y estructuras geológicas:

- ❖ De los caminamientos realizados no se identificó ninguna estructura geológica de riesgo al proyecto por lo que se considera apto para la construcción de las nuevas estructuras, siempre y cuando se asegure la cimentación correcta.
- ❖ Los materiales identificados sobre el terreno en estudio fueron de origen sedimentario, volcanosedimentarios y volcánico. Es importante acotar que en el caso de los materiales volcanosedimentarios (tobas volcánicas), ***para corresponder con las clasificaciones y metodologías de la mecánica de suelos se consideraron y analizaron como suelos por su composición granulométrica y no como rocas como correspondería a la clasificación geológica.***
- ❖ De cima a base las unidades existentes que se pudieron corroborar en cortes y afloramientos fueron las mostradas en la *Figuras 4.7*. El espesor de cada horizonte es variable, las capas en los depósitos volcanosedimentarios suelen acuñarse una sobre otra como se muestra en la *Figura 4.8*.

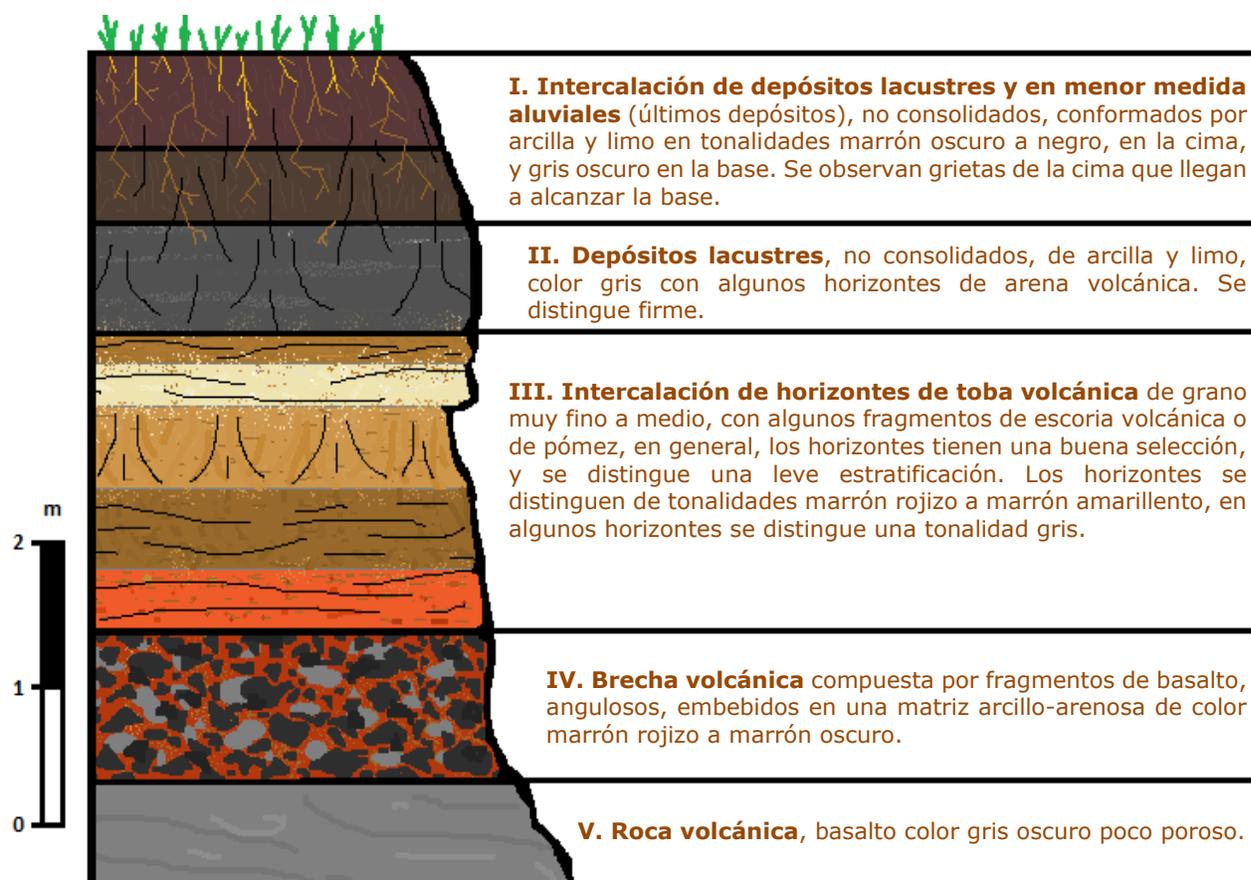


Figura 4.7. Columna estratigráfica local



Figura 4.8. Corte sobre el terreno que exhibe la estratigrafía del sitio.

- ❖ Sobre la mayor parte del terreno sin cortar se identificó una capa de arcilla en tonalidades de marrón a gris oscura, esta presentaba agrietamiento en diferentes grados de intensidad y profundidad, siendo el caso de agrietamientos de hasta 0.5m de profundidad con una extensión de hasta 1m lineal (*Figura 4.9*).



Figura 4.9. Agrietamiento sobre el terreno.

4.2 Resultados de la exploración de mecánica de suelos y pruebas de laboratorio.

Una vez concluida la exploración en campo, procesada la información obtenida, y culminado el análisis de muestras en laboratorio se identificaron 6 estratos naturales y dos tipos de depósitos antropogénicos:

- Ec1 - Deposito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura
- Ec2 - Depósito antropogénico: Bloques de basalto mezclados con arcilla negra
- E1 - Arcilla negra
- E2 - Arcilla gris con agrietamiento
- E3 - Arcilla gris
- E4 - Arcilla marrón claro (Toba)
- E5a - Brecha Volcánica
- E5 - Roca volcánica (Basalto)

A continuación, se describen brevemente los materiales identificados:

Ec1 - Deposito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura:

El material corresponde con un depósito a volteo conformado por arcillas, limos, arenas con algunos fragmentos de roca y basura, producto de la remoción de tierras y cortes de material de diversas áreas del centro de operaciones. Un ejemplo de la distribución y espesores identificados son mostrados en el plano [PL02.1](#).

En las pruebas de laboratorio se obtuvo un *contenido de agua* en promedio de 33 % y contenido de *finos por lavado* igual al 78%. En la prueba de límites de consistencia se obtuvo un *límite líquido* del 100% con un *índice de plasticidad* igual al 75.4%.

En las pruebas de *saturación bajo carga* con un peso volumétrico igual a 1.7 T/m³, densidad de sólidos de 2.5 y grado de saturación promedio del 87%, se obtuvieron: una expansión de - 0.22% para una carga igual a 5 T/m², una expansión de -0.16% para una carga igual a 1.25 T/m² y una expansión con valor de -0.35% en la prueba de expansión libre, con lo que se comprueba que el material no se expande, por lo contrario, se asienta al colocarle alguna carga.

Ec2 - Depósitos antropogénicos: Bloques de basalto mezclados con arcilla negra:

Bloques de diverso tamaño colocados a volteo, un ejemplo de la distribución y espesores identificados son mostrados en el plano [PL02.1](#).

E1 - Arcilla negra (PL-2A):

Se identificó en prácticamente todo el terreno, contiene a la capa vegetal (espesor promedio de 0.30m) y su espesor es variado con un máximo en 2.7m al centro del predio, un ejemplo de la distribución y espesores identificados son mostrados en el plano [PL02.2](#).

Presenta en general un contenido de agua natural promedio de 28% ([Figura 4.10-A](#)). Se distinguen dos tipos de material arcilloso, por un lado, se tiene una arcilla consistente, bastante plástica y con un

importante contenido de raíces donde su porcentaje de finos se ubica arriba del 80% (*Figura 4.10-B*), acusada por un contenido de finos mayor del 50% pero menor al 80% se encuentra la otra fase de arcilla negra que tiene un importante aporte de limo o en su caso de arena fina, que le ocasionan una consistencia un tanto más grumoso, además de que existen abundantes raíces en todo su espesor.

En ambos casos la arcilla sigue siendo bastante plástica (*Figura 4.11*) clasificándose como arcilla de alta plasticidad (**CH**) de acuerdo con la clasificación S.U.C.S (Grafica 3.5).

Presenta una expansión en saturación bajo carga de 2.99%, 2.5% y 0.99% correspondiente con cargas de 1 T/m², 1.25 T/m² y 2.5 T/m² respectivamente.

E2 - Arcilla gris (con agrietamiento):

Se encuentra subyaciendo al estrato **E1** de arcilla negra, su presencia se define con mayor potencia en la zona central del área en estudio y desaparece casi por completo en las porciones norte y sur del predio, su máximo espesor es un poco incierto puesto que llega a integrarse con el estrato **E1**.

El material presenta un contenido de agua en promedio del 27% y un contenido de finos del 79% (*Figura 4.10*), en la cima del estrato se distingue mucho más plástico y con una presencia importante de raíces un poco delgadas. Conforme profundiza adquiere una menor plasticidad respecto a la cima (Grafica 3.3, 3.4 y 3.5).

Al perder humedad tiende a agrietarse formando polígonos de disecación de tamaños varios y profundidades de agrietamiento mayores a los 0.5 cm. La clasificación SUCS de acuerdo a lo observado en campo y los resultados obtenidos en las pruebas (*Figura 4.11*) permiten clasificarlo como una arcilla de alta plasticidad (CH).

E3 - Arcilla gris con limo o arena:

Subyace siempre al estrato **E1** y **E2**, se identifica en prácticamente todo el predio en algún espesor, sin embargo, hacia la esquina SW no es posible identificarlo con claridad, y en la porción norte su espesor es sumamente delgado. Alcanza un espesor máximo de 2.5m.

El material presenta un contenido de agua en promedio del 27% y corresponde con un depósito similar al que originó **E2**, pero con una importante aportación de materiales más gruesos como limo y arena fina en forma de lentes o en una menor medida mezclado directamente con el material arcilloso (*Figura 4.10*); por ende, es sensiblemente menos plástico respecto a **E2**, aunque sigue clasificándose como una arcilla de alta plasticidad (CH) conforme la carta de plasticidad de Casagrande (*Figura 4.11*).

En la base suele ser muy compacto y presenta delgadas y escasas raicillas en todo su espesor, y en los primeros días de exposición a la pérdida de humedad no genera agrietamiento importante.

E4 - Arcilla marrón rojizo (Toba):

Se presenta en prácticamente toda el área de estudio, a diferentes profundidades subyaciendo a los estratos E3, E2 y E1. En las pruebas de laboratorio se distinguen dos fases del material, una donde el contenido de finos es superior al 60% y otra donde el contenido de finos es inferior (Figura 4.10), indicativo esto, de un mayor aporte de materiales granulares más gruesos como limo y arena fina, esto también es observable en sus granulometrías (Figura 4.12), donde existen porciones de la arcilla con un mayor contenido de arena. Respecto a los límites de consistencia (Figura 4.11) indican que es una arcilla de baja plasticidad (CL).

En prueba de resistencia a la compresión triaxial tuvo valores de cohesión de 0.57 a 19.48 T/m², ángulo de fricción interna de 33° a 53° y módulos de elasticidad de 164.7 a 413.87kg/cm². Tuvo una resistencia a la compresión simple (σ) igual 51.16 T/m² con un módulo elástico de 266.457 kg/cm².

De manera general este material está bastante cementado, de color marrón claro, aunque en algunas ocasiones su tonalidad tiende más hacia el gris claro, esto se debe a que ocurre una intercalación entre capas del material. Se distingue por tener un color de alteración naranja rojizo y por ser sumamente compacto y difícil de excavar con una retroexcavadora convencional conforme se va profundizando en él (Material tipo B). Su espesor varía, los horizontes más potentes se encuentran al sur y al centro del predio, mientras que hacia el norte los horizontes pueden ser sumamente delgados incluso mezclándose con la arcilla de los estratos E1 o E3.

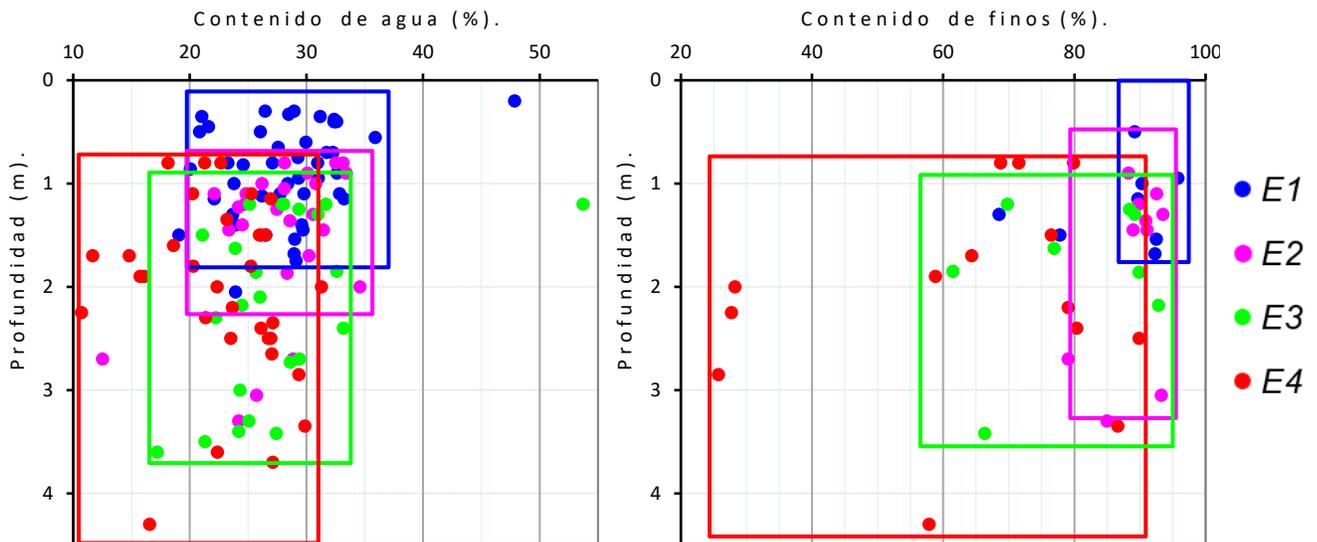


Figura 4.10. Valores de: A) Contenido natural de agua y B) Contenido de finos, graficados a profundidad.

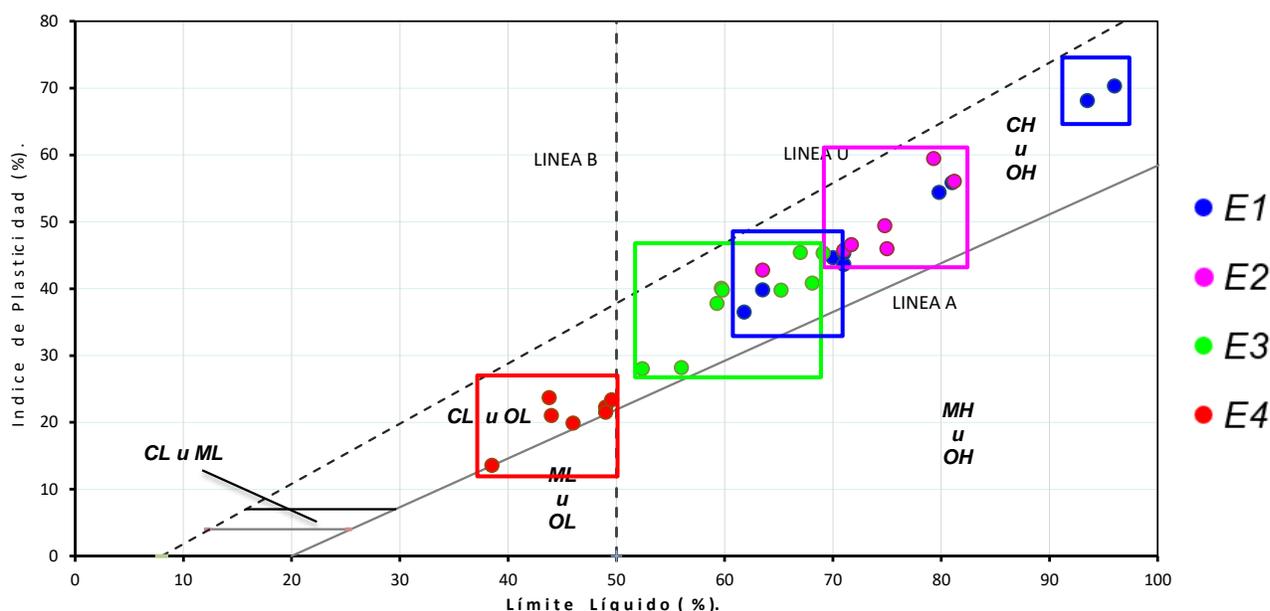


Figura 4.11. Carta de plasticidad.

E5a - Brecha volcánica:

Corresponde con fragmentos de roca volcánica soportados por una matriz limo-arenosa, en general presenta un tono marrón rojizo. Se identifico al norte del predio bajo la arcilla negra o la arcilla gris (**E1**, **E2** o **E3**), en algunos casos se distingue un delgado horizonte de arcilla marrón (**E4**). Hacia la cima se presenta prácticamente suelto y hacia la base se consolida.

Las pruebas ensayadas en la fracción suelta dieron como resultado 21% de contenido de agua, granulometrías con 40% de grava, 24% de arena y el 36% de material fino (*Figura 4.12*), en la prueba de finos por lavado muestra un porcentaje de partículas finas de 25%, (*Figura 4.10*). Tuvo una resistencia a la compresión simple (σ) igual a 47.19 kg/cm² y un módulo de elasticidad (E) de 2016.5 kg/cm².

E5 Roca Volcánica (Basalto):

Este material fue identificado de manera directa en dos zonas del predio: hacia el SE a partir de los pozos a cielo abierto: P-27, P-27A, P-27B, P-33A, P-33B, y P-34, directamente bajo la arcilla negra entre profundidades de 1.10m y 0.30m, y hacia el norte del predio, aunque de manera más amplia.

También fue identificado en los sondeos realizados con profundidades variables un ejemplo de la distribución y espesores identificados son mostrados en el plano *PL02.1*.

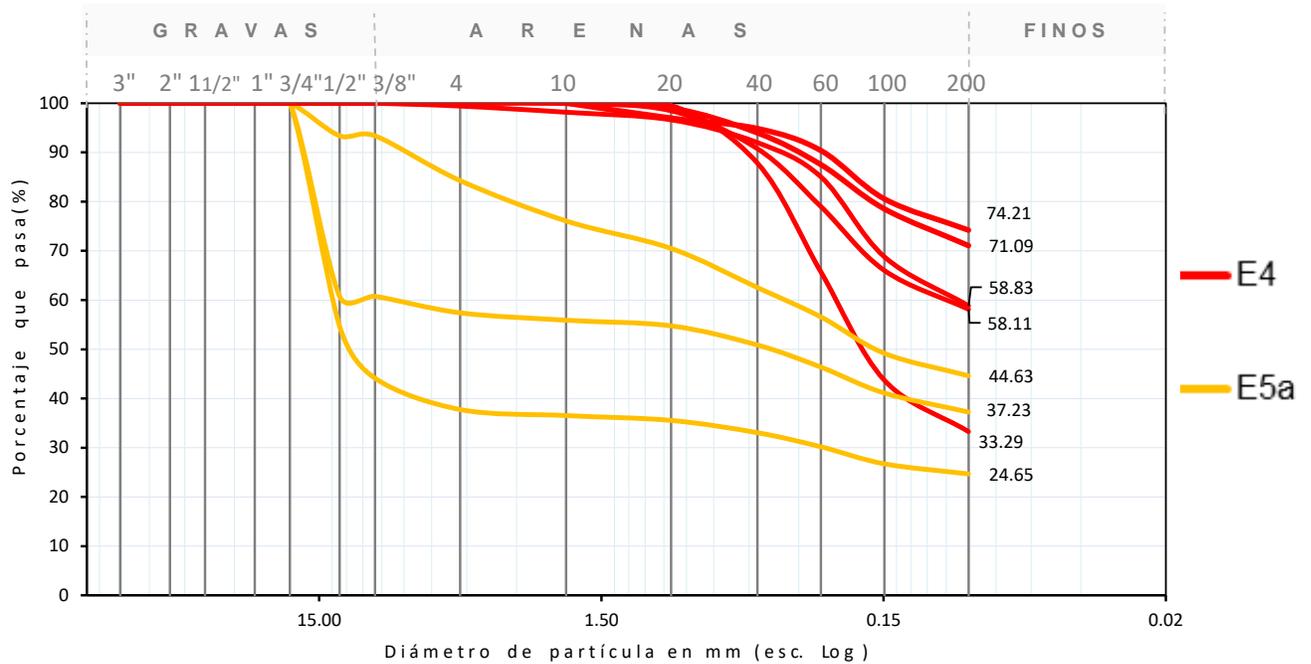


Figura 4.12. Granulometrías estratos E4 y E5a

Es importante resaltar que para cada estructura proyectada en su momento se realizó un análisis particular de los materiales identificados en el sitio dispuesto para su desplante, un ejemplo de perfil con estos materiales se puede observar en el plano [PL04](#). partícula

4.3 Resultados de la exploración geofísica.

Concluidos los trabajos de exploración en campo y procesada la información adquirida el resultado final de la exploración fue la identificación de contrastes resistivos en los materiales que componen el subsuelo a lo largo de las secciones que se describen en el [apartado 3.4](#).

Estos contrastes se agruparon los materiales en unidades geofísicas como se muestra en el plano ejemplo ([PL03.1](#), [PL03.2](#) y [PL03.3](#)) y que son resumidas de acuerdo a la técnica aplicada en las [tablas 4.1](#), [4.2](#) y [4.3](#).

Métodos eléctricos

Tabla 4.1 Resumen: Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

UNIDAD	CARACTERÍSTICAS			OBSERVACIONES	ESTRATOS DE LA MECÁNICA DE SUELOS ASOCIADOS
	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω -m)	RANGO DE ESPESORES (m)	LITOLOGÍA ASOCIADA		
Uc1	6 - 26	2.5 – 4.0	Deposito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura.	Estos depósitos solo se ubican en la esquina Sur-Poniente del área en estudio (apartado 4.1)	Ec1
Uc2	136 – 2,092	3.0 - 7.2	Depósitos antropogénicos: Bloques de basalto mezclados con arcilla negra plástica.		Ec2
U1a	5 - 12	1.3 - 4.2	Depósitos naturales recientes: arcillas, limos y arenas finas.	Se identifican en todos los sondeos realizados.	E1, E2, E3
U1b	17 - 59	6.0 - 25.7	Depósitos volcanosedimentarios: toba arcillo-limosa algunas ocasiones puede llegar a presentar intercalaciones de gravillas y boleas a profundidad.		E4
U2	183 - 614	22.4 - 49.9	Roca volcánica: basalto fracturado y/o brecha volcánica.		E5
U3	26 - 69	94.0 - 157.5	Depósitos volcanosedimentarios antiguos: posible toba volcánica basáltica con intercalaciones de material arcilloso, limoso y arenoso (Formación Tarango).		-
U4	119 - 287	78 - 124	Roca volcánica: posible colada lávica de basalto o andesita.		-
U5	39 - 79	-	Depósitos volcanosedimentarios antiguos.	-	

Tabla 4.2 Resumen: Tendido Dipolo-Dipolo (TDD)

UNIDAD	CARACTERÍSTICAS			OBSERVACIONES
	RANGO DE RESISTIVIDAD (Ω -m)	RANGO DE ESPESORES (m)	LITOLÓGÍA ASOCIADA	
EGC1	8 - 10	0.2 - 5.0	Deposito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura.	Estos materiales se identificaron en la zona centro del predio, donde se ubicaba el banco de materiales
E1	10 - 25	3.0-19.0	Depósitos recientes (arcillas, limos, arenas finas) y depósitos volcanosedimentarios (toba arcillo-limosa).	
E5	Mayores a 25	-	Roca volcánica: basalto fracturado y/o brecha volcánica.	

Método sísmico

Tabla 4.3 Resumen: Tendido de Refracción Sísmica (TRS)

UNIDAD	CARACTERÍSTICAS			OBSERVACIONES
	RANGO DE VELOCIDAD DE ONDA (m/seg)	RANGO DE ESPESORES (m)	LITOLÓGÍA ASOCIADA	
ES1	355 - 460	0.7 – 4.1	Depósitos naturales recientes: arcillas, limos y arenas finas.	Se identificaron en todos los tendidos realizados.
ES2	1065 - 1575	0.5 – 9.8	Depósitos volcanosedimentarios: toba arcillo-limosa algunas ocasiones puede llegar a presentar intercalaciones de gravillas y boleas a profundidad.	
ES3	2030 - 2455	-	Roca volcánica: basalto fracturado y/o brecha volcánica.	

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

5.1 Parámetros de diseño geotécnico.

Para la revisión geotécnica de la cimentación respecto a la capacidad de carga y asentamientos se han propuesto a partir de las pruebas de laboratorio, lo observado en campo y la bibliografía especializada, los parámetros mecánicos de cada estrato definido en el [apartado 4.2](#), estos parámetros se consideran conservadores y son mostrados en la [tabla 5.1](#).

Se incluye adicionalmente los parámetros geotécnicos para la conformación de un terraplén con material de banco o de corte tipo subbase norma SCT, que será requerido en algunas zonas para alcanzar los niveles de piso.

Tabla 5.1 Parámetros de diseño geotécnico general

ESTRATO		CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	ESPESOR (m)	γ (T/m ³)	C (T/m ²)	ϕ (°)	E (T/m ²)
EC	Nuevo terraplén compactado	ML	Variable	1.80	4.0	32	2 000
Ec1	<i>Deposito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura</i>		Ver plano: PL-02.1	<i>Por su mala calidad debe retirarse de la zona de desplate de las nuevas estructuras y reubicarse en jardineras o a un banco de tiro.</i>			
Ec2	<i>Depósito antropogénico: Bloques de basalto mezclados con arcilla negra</i>						
E1	<i>Arcilla negra</i>	<i>CH</i>	Ver plano: PL-02.2				
E2	<i>Arcilla gris con agrietamiento</i>	<i>CH</i>					
E3	Arcilla gris	CH	Variable				
E4	Arcilla marrón claro (Toba)	CL	Variable	1.8	8.0	36	6 000
E5a	Brecha Volcánica	GW o Roca	Variable	1.9	7	34	8 000
E5	Roca volcánica (Basalto)	Roca	Variable	-	-	-	-

Dónde:
 S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
 γ = Peso volumétrico
 C = Cohesión
 ϕ = Ángulo de fricción interna
 E = Módulo de Young

5.2 Cimentación de estructuras.

Para definir la cimentación se consideró la estructura proyectada, los materiales que se encuentran en el área de desplante y sus respectivos espesores por lo que el diseño de cimentación fue individual para cada estructura, sin embargo, de manera general se pueden indicar las siguientes condiciones:

- La cimentación se considera dependiendo de cada estructura a partir de losas y zapatas corridas o aisladas desplantadas sobre los estratos **E3, E4, E5a y E5**, además del estrato **EC** que corresponde con un mejoramiento.
- Los estratos **EC1, EC2, E1 y E2** deberán ser retirados de las zonas de desplante de prácticamente todas las estructuras, salvo corredores y canchas en las áreas recreativas que se puede colocar con un mejoramiento sobre los estratos **E1 o E2**.
- Debe considerar que, para ligar los niveles de circulación de las vialidades, patios de manobras, estacionamientos, paraderos y zonas de accesos se requieren hacer cortes sobre el terreno actual en un espesor variable, así como la conformación de terraplenes en algunas zonas, para alcanzar las cotas correspondientes. Al realizar dichos cortes se estaría retirando en su mayoría los materiales correspondientes con los estratos **Ec1, Ec2, E1 y E2**.
- En general esta distribución de niveles se indica con pendiente hacia el norte, con la finalidad de direccionar los escurrimientos que se pudieran provocar en el terreno.
- Hacia el sureste del predio, donde existen los mayores cortes al terreno se indica solamente dejar al pie de talud sobreebanco de un metro y perfilar dicho talud una inclinación 1.0 H: 1.0 V, con cargas sobre la corona menores a $3.5T/m^2$
- **Es importante hacer notar que las corrientes naturales del predio fueron modificadas por lo que, para evitar la inundación de estructuras, sobre todo aquellas que quedaran por debajo del nivel de terreno actual, se debe realizar el proyecto hidráulico correspondiente, con un eficiente redireccionamiento de los escurrimientos.**

De acuerdo a lo anterior en el siguiente capítulo se realizan las especificaciones para cimentaciones en una de las naves proyectadas, la nave 5, ubicada al sur-oriente del área en estudio.

5.3 Ejemplo: Nave 5

5.3.1 Perfil de diseño y parámetros geotécnicos para la Nave 5

La [tabla 5.2](#) es una modificación a la [tabla 5.2](#), donde se incluyeron los espesores mínimos y máximos para los estratos EC, E1, E2, E3 y E4, además de las profundidades mínimas y máximas para el estrato rocoso E5, con lo que se restringe el perfil geotécnico para los próximos cálculos.

Tabla 5.2 Perfil y parámetros de diseño geotécnico general

ESTRATO		CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	ESPESOR (m)	γ (T/m ³)	C (T/m ²)	ϕ (°)	E (T/m ²)
EC	Nuevo terraplén compactado	ML	Máx: 2.7	1.80	4.0	32	2 000
E1	Arcilla negra	CH	Mín: 0.3 Máx: 2.6	<i>Por su mala calidad debe retirarse de la zona de desplate de las nuevas estructuras y reubicarse en jardineras o a un banco de tiro</i>			
E2	Arcilla gris con agrietamiento	CH					
E3	Arcilla gris	CH	Mín: 1.2 Máx: 2.3	1.75	4.0	25	1 500
E4	Arcilla marrón claro (Toba)	CL	Mín: 6.1 Máx: 11.1	1.8	8.0	36	6 000
E5	Roca volcánica (Basalto)	Roca	Profundidad Mín: 3.0 Máx: 15.0	-	-	-	-

Dónde:

S.U.C.S. = Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
 γ = Peso volumétrico
 C = Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción interna
 E = Módulo de Young

5.3.2 Consideraciones de cimentación para la Nave 5

Para ligar los niveles de circulación de la nueva **Nave 5** con la existente (**Nave 2**) (plano [PL01](#)) en la cota +100.32m, se requieren hacer cortes al nivel de terreno actual en un espesor de hasta 5.3m, al sur del predio.

En el plano [PL-5](#) se puede apreciar que para alcanzar el nivel propuesto se elimina por completo el espesor de arcilla negra (**E1**). Sin embargo, se debe hacer un retiro adicional en las zonas donde el estrato **E2** no haya sido removido con el corte y tendrá que reemplazarse por material de calidad conforme lo indicado en la tabla anterior ([Tabla 5.2](#)) para materiales de terraplén.

Se indican muros de contención para terraplenes, cortes en terreno natural mayores a 3.0 metros, para los linderos este y sur de la nave y para cortes menores a 3.0 metros donde el terreno natural cortado exponga a los estratos **E1** y **E2**.

Para los cortes menores a 3.0 metros sobre **E3** y **E4** y con cargas sobre la corona menores a 3.5T/m² solamente deberán ser protegidos contra la meteorización aplicando concreto lanzado.

La cimentación se considera a partir de zapatas aisladas desplantadas al menos 0.80m respecto al nivel de piso terminado sobre el estrato **E3**, **E4** o en terraplén **EC**.

5.3.3 Capacidad de carga admisible (q_{adm}), asentamientos permisibles (δ) y módulos de reacción vertical del suelo (k_s) para la Nave 5.

De inicio se realizó la revisión de la capacidad de carga ultima para zapatas aisladas, caso particular de la nave cinco, haciendo empleo del criterio propuesto por el Dr. Terzaghi para determinar la capacidad de carga última (q_{ult}) del terreno en suelos con comportamiento cohesivo-friccionante que se describe a continuación:

$$q_{ult} = 1.3 c N_c + \sigma_z N_q + 0.40 \gamma B N_\gamma$$

Dónde:

q_{ult} = capacidad de carga última, en T/m².

c = cohesión del material de apoyo, en T/m².

σ_z = esfuerzo vertical efectivo al nivel de desplante de la cimentación, en T/m².

N_c , N_q y N_γ = factores de capacidad de carga que dependen del ángulo de fricción interna.

γ = peso volumétrico del material subyacente a la cimentación, en T/m³.

B = ancho o diámetro del cimienta, en m.

Ejemplo del cálculo de la *capacidad de carga última* (q_{ult}) se puede visualizar en el [Anexo 1: Memoria de cálculo](#), sin embargo, la *capacidad de carga última* (q_{ult}) se debe ajustar para obtener así la *capacidad de carga admisible* (Q_{adm}), lo cual se realiza dividiendo la q_{ult} por un factor de seguridad, sin embargo, en el presente trabajo, la capacidad de carga admisible fue restringida adicionalmente en función de los asentamientos esperados en el suelo, por lo que las cargas finales que se muestran en la [tabla 5.2](#) son cargas restringidas para asentamientos entre 1 y 4 cm.

Para la revisión de asentamientos se estima que, al no presentarse un nivel freático somero, un tirante de agua continuo y que los materiales sobre los que se desplantara serán principalmente de baja plasticidad con algunos horizontes granulares, el asentamiento **que dominante es de tipo inmediato, respecto al asentamiento por consolidación, mismo que para efectos del presente análisis se considera despreciable.**

Este tipo de asentamiento se considera elástico cuyo efecto se puede modelar empleando la siguiente expresión:

$$\delta = qB \frac{(1 - \mu^2)}{E_B}$$

Dónde:

- δ = Deformación elástica esperada, en cm
- q = Valor de la descarga actuante sobre el suelo, en kg/cm^2
- B = Ancho o diámetro de la cimentación, en cm
- E = Modulo de elasticidad, en kg/cm^2
- μ = Relación de Poisson, adimensional

Los asentamientos indicados no se muestran afectados por factores de forma o de profundidad, siendo de esta forma los mayores asentamientos que se podrían esperar en el terreno y sin alguna atenuación.

Así mismo se ha calculado el módulo de reacción vertical del suelo (K_s) empleando para ello las condiciones finales de cargas y asentamientos a partir de la expresión siguiente:

$$K_s = \frac{q}{\delta}$$

Dónde:

- k_s = Modulo de reacción vertical del suelo
- q = Esfuerzo de trabajo
- δ = Asentamiento.

Para fines de este análisis se consideró el desplante de zapatas cada 24 metros en el eje mayor de la nave, esto en función del sembrado de columnas que se empleó para la **Nave 2** (ver distribución de naves, plano: [PL01](#)), sumando así un total de 15 zapatas en el eje mayor ([Figura 5.1](#)).

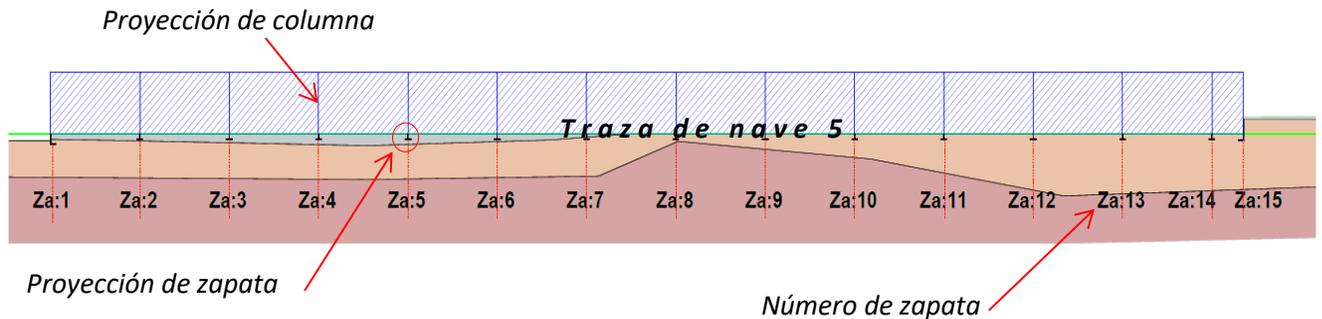


Figura 5.1. Sección transversal de la nave en estudio.

De las 15 zapatas en la sección transversal de la nave, se eligió aquellas que resultaron más representativas de las condiciones en el suelo, obteniéndose así los valores descritos en la [Tabla 5.2](#)

Es importante destacar que conforme las cargas y dimensiones presentadas el ingeniero de estructuras responsable del proyecto debe revisar que no se presente el estado límite de falla o esfuerzos de tensiones en las dimensión y carga elegidas una vez que cuente bajada de cargas correspondiente mediante el cumplimiento de la siguiente desigualdad:

$$\Sigma QFc/A < q_{adm}$$

Dónde:

ΣQFc = Suma de carga en la combinación considerada, afectada por su respectivo factor de carga, en toneladas.

A = Área del cimiento, en m²

Tabla 5.2. Capacidad de carga, asentamientos esperados y módulos de reacción vertical del suelo.

ZAPATA ANALIZADA	DIMENSIONES DE ZAPATA (m)	PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (m)	CARGA ADMISIBLE (T/m ²)	ASENTAMIENTOS ESPERADOS (cm)	MÓDULO DE REACCIÓN VERTICAL DEL SUELO (T/m ³)
Za:1	1.5 X 1.5	0.8	45	2.71	1660.93
Za:4				2.74	1641.91
Za:6				2.93	1535.90
Za:10				2.46	1831.50
Za:14				2.46	1831.50
En terraplén				2.78	1617.32
Za:1	2.0 X 2.0	0.8	36	2.89	1245.70
Za:4				2.92	1231.43
Za:6				3.13	1151.93
Za:10				2.62	1373.63
Za:14				2.62	1373.63
En terraplén				2.97	1212.99
Za:1	2.2 X 2.2	0.8	34	3.00	1132.46
Za:4				3.04	1119.49
Za:6				3.25	1047.21
Za:10				2.72	1248.75
Za:14				2.72	1248.75
En terraplén				3.08	1102.72
Za:1	2.4 X 2.4	0.8	32	3.08	1038.08
Za:4				3.12	1026.19
Za:6				3.33	959.94
Za:10				2.80	1144.69
Za:14				2.80	1144.69
En terraplén				3.17	1010.82
Za:1	2.6 X 2.6	0.8	30	3.13	958.23
Za:4				3.17	947.26
Za:6				3.39	886.10
Za:10				2.84	1056.64
Za:14				2.84	1056.64
En terraplén				3.22	933.07

6 CONCLUSIONES

6.2 Conclusiones del estudio

- I. De acuerdo con los diferentes trabajos de geología que se realizaron, se identificó un terreno cuyo origen es inminentemente volcánico, particularmente durante la formación del arco volcánico denominado Eje Neovolcánico Transmexicano.

Los procesos que le dieron origen a las rocas volcánicas del arco se mantuvieron presentes durante mucho tiempo, con periodos sumamente violentos, que se traduce en potentes horizontes lávicos o grandes depósitos de emisiones volcánicas; y otros periodos de relativa calma donde los procesos de erosión promovieron la acumulación de depósitos lacustres y aluviales sobre rocas volcánicas, o incluso la intercalación entre depósitos lacustres y rocas volcánicas.

- II. La columna geológica local se sintetiza en cinco horizontes expuestos en el área en estudio:

Tabla 6.1 Columna geológica local

SEDIMENTARIOS	VOLCANOSSEDIMENTARIOS	VOLCÁNICOS
Intercalación de depósitos lacustres y en menor medida aluviales (últimos depósitos).	Intercalación de horizontes de toba volcánica.	Brecha volcánica.
Intercalación de depósitos lacustres y en menor medida aluviales.		Roca volcánica: Basalto.

Estos materiales fueron comprobados y detallados conforme a la práctica de mecánica de suelos, por lo que los horizontes de toba no se consideraron rocas como lo sería para la geología.

- III. De la bibliografía consultada, en especial trabajos realizadas sobre el Campo Volcánico de Jilotepec (referencias 5 y 6) y los recorridos realizados, **no se identifica alguna estructura que ponga en riesgo el proyecto**, algunas de las zonas que se han llegado a considerar tectónicamente activas distan más de 2.0km al sitio en estudio. Así mismo la roca expuesta en afloramientos se distingue masiva y poco fracturada, muestra del carácter pasivo en el sitio.

- IV. El flujo hidrológico en la zona, es un tema importante de revisar. Este dreña desde la porción suroeste, **en sitio de estudio las corrientes de agua que históricamente estuvieron presentes tenían la misma dirección, ahora se presentan intermitentes, sin embargo, siguen teniendo una influencia importante por lo que se recomendó la realización de un proyecto hidráulico eficiente para la canalización de estos escurrimientos y evitar que las construcciones se inunden.** Los materiales por debajo de los depósitos lacustres mostraron ser poco permeables por lo que se pueden formar acumulaciones de agua, como la que se observó al centro del predio.

- V.** De los trabajos de geofísica realizados se concluye que el suelo fue propicio para el desarrollo de las técnicas eléctricas: Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y Tendido Dipolo-Dipolo (TDD), y la técnica sísmica: Tendido de Refracción Sísmica (TRS).

Estas técnicas se utilizaron para conocer el terreno a profundidad (SEV), conocer el terreno de manera superficial y longitudinal (TDD y TRS) y aproximar la densidad de los materiales (TRS), con lo que se obtuvo una mejor caracterización de los materiales.

En general las técnicas geofísicas ofrecieron una buena resolución y sobre todo pudieron ser corroboradas con los trabajos de mecánica de suelos que se realizaron, estos trabajos de geofísica fueron principalmente encaminados a conocer los espesores de los materiales y poder crear mapas temáticos que posteriormente se pudieron emplear para el cálculo de volúmenes de corte y movimientos de tierra.

- VI.** De acuerdo a la mecánica de suelos el terreno se define por 6 estratos naturales y dos tipos de depósitos antropogénicos de mala calidad:

***Ec1:** Depósito antropogénico: materiales finos con fragmentos de roca y basura*

***Ec2:** Depósito antropogénico: Bloques de basalto mezclados con arcilla negra*

***E1:** Arcilla negra*

***E2:** Arcilla gris con agrietamiento*

***E3:** Arcilla gris*

***E4:** Arcilla marrón claro (Toba)*

***E5a:** Brecha Volcánica*

***E5:** Roca volcánica (Basalto)*

Tanto los depósitos antropogénicos como los estratos **E1** y **E2** de Arcillas muestran una mala calidad para la cimentación de la mayoría de las estructuras que fueron proyectadas, por lo que se indicó que fueran retirados del área de desplante de prácticamente todas las estructuras, salvo algunos caminos o corredores de las zonas recreativas.

Es importante mencionar que, de acuerdo con los espesores identificados, y los niveles que se consideran para el desplante de las estructuras prácticamente todos los materiales de mala calidad fueron retirados con los cortes para alcanzar los niveles de piso.

- VII.** El diseño geotécnico se basó en las características que presentaron los materiales identificados y sus espesores, también se consideró la gran profundidad del nivel freático, la distribución de estructuras y los niveles requeridos, por lo que la cimentación se especificó para cada estructura.

En general los estratos considerados para el desplante presentan buenas características, sobre todo en la capacidad de carga, sin embargo esta tuvo que ser restringida en función de los asentamientos.

6.3 Conclusiones generales

Como se indicó al inicio del informe, este fue un trabajo bastante extenso en tiempo y en área de estudio, que se desarrolló en varias etapas lo que me permitió comprar las habilidades que tenía al iniciar los trabajos y las que pude desarrollar al concluir con las labores, así como las que he ido adquiriendo hasta la fecha.

Comprobé como la identificación de los procesos geológicos es clave para el entendimiento del suelo, por ejemplo, en el caso del presente estudio se partió desde la ubicación de la zona en la provincia del eje Neovolcánico, por lo que es fácil deducir que los materiales que se van a encontrar en el sitio serán de tipo volcánico, en función de los aparatos volcánicos que dominan la zona, y lacustre/aluvial debido a las cuencas que se forman entre dichos aparatos, esto de manera muy general.

De forma particular estudiando, por ejemplo, la topografía se puede tener nociones más particulares del sitio, como lo sería revisar la posibilidad de que existan otros tipos de depósitos en el sentido de corrientes o barrancas que promuevan el desarrollo de depósitos aluviales, o escarpes que promuevan el desarrollo de depósitos de talud.

Con esto en mente es que se proyectan los trabajos en campo donde más allá que una búsqueda de los materiales que se pueden encontrar puede llegar a ser únicamente una corroboración de los materiales y sus espesores respecto a las referencias que se tiene del sitio.

Esto funciona tanto para la geología, la geofísica y la mecánica de suelos, puesto que es muy impórtate para generar un criterio respecto a los materiales que se van localizando durante la exploración en campo, por ejemplo, exploración geofísica donde se deben identificar materiales en el suelo sin visualizarlos o analizarlos de manera directa.

Otro aspecto interesante del que me pude percatar al revisar nuevamente la información de este proyecto es como al ampliar la experiencia también se puede tener mayor certeza en cómo realizar una exploración más efectiva del terreno y que reduzca los costos o que los pueda dirigir hacia un conocimiento mucho más específico del terreno, por ejemplo, en el caso de la exploración directa que realice en las primeras fases de este proyecto, pudo haber sido más espaciada y con un mayor énfasis hacia las pruebas de laboratorio situación que en las últimas fases se trató de encaminar.

Sin embargo, a pesar de que los trabajos de exploración en algunas de las etapas del proyecto pudieron haber sido mejorados, es importante destacar que después de que fueron realizados se tuvo una mayor certeza de que materiales había en el predio lo que permitió cuantificar volúmenes de corte, volúmenes de materiales de baja calidad y volúmenes de materiales con buena calidad para ser empleados en la conformación de mejoramientos, y todo esto con la finalidad de reducir costos en las obras del proyecto.

MESOGRAFÍA

- 1) OMM (2013). Tiempo. Organización Meteorológica Mundial. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/themes/weather/index_es.html
- 2) Ayuntamiento constitucional de Jilotepec (2019). Atlas de Riesgo Municipio de Jilotepec
- 3) Situación de los Recursos Hídricos. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos>.
- 4) Flores (2019). Caracterización Geológica a semidetalle de la porción noroeste del Estado de México. (Ingeniería Geológica). IPN, ESIA, Unidad Ticomán. México.
- 5) Demant, Alain (1978). Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas; Vol. 2 No 2, 1978; 172-187.
- 6) Formación Soyatal. Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/
- 7) Formación Las Navajas. Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/
- 8) Formación San Cristóbal. Léxico estratigráfico. SGM. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/Lexico_Es/
- 9) CONAGUA (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero valle del mezquital.
- 10) González de Vallejo, L. I., Ferrer Gijón, M. (2002). Ingeniería geológica. España: Pearson Educación.

ANEXO 1- MEMORIA DE CÁLCULO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H	ϕ	C	γ	ν	E_s
	m	$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
E3	1.2	25	4.0	1.75	0.35	1500
E4	7.4	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
34.5	4.0	1.8	0.3	4513.3

Espesor de la columna (m)
8.6

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:1	1.5	1.5	0.8
Za:1	2.0	2.0	0.8
Za:1	2.2	2.2	0.8
Za:1	2.4	2.4	0.8
Za:1	2.6	2.6	0.8

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:1	1.5	1.5	0.8
Za:1	2	2	0.8
Za:1	2.2	2.2	0.8
Za:1	2.4	2.4	0.8
Za:1	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA												
f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gD/Nq	0.4*gBNg	Quit	Qadm
rad	rad										T/m ²	
0.6	0.8	4.1	0.5	38.7	55.0	78.2	39.2	285.8	55.6	42.1	383.5	45.0
0.6	0.8	4.1	0.5	38.7	55.0	78.2	39.2	285.8	55.6	56.2	397.6	36.0
0.6	0.8	4.1	0.5	38.7	55.0	78.2	39.2	285.8	55.6	61.8	403.2	34.0
0.6	0.8	4.1	0.5	38.7	55.0	78.2	39.2	285.8	55.6	67.4	408.8	32.0
0.6	0.8	4.1	0.5	38.7	55.0	78.2	39.2	285.8	55.6	73.0	414.4	30.0

PARAMETROS ASENTAMIENTOS												
Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	I _s	I _f	(1-u ²)/E _s	δ_e	δ_e
		m									cm	
0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	10.4	0.50	0.02	/	/	0.0002	2.7	0.03
0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	7.8	0.48	0.02	/	/	0.0002	2.9	0.03
0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	7.1	0.47	0.02	/	/	0.0002	3.0	0.03
0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	6.5	0.47	0.02	/	/	0.0002	3.1	0.03
0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	6.0	0.46	0.03	/	/	0.0002	3.1	0.03

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H m	ϕ	C	γ	ν	E_s
		$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
E3	1.7	25	4.0	1.75	0.35	1500
E4	9.1	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
34.3	4.0	1.8	0.3	4459.3

Espesor de la columna (m)
10.8

CIMENTACIÓN				PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA										Qadm		
Zapata	L	B	Df	f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gDfNg		0.4* γ BNg	Qult
		m	m	m	rad	rad										T/m ²
Za:4	1.5	1.5	0.8	0.6	0.8	4.1	0.5	37.9	54.1	77.1	38.2	281.4	54.4	41.1	376.8	45.0
Za:4	2.0	2.0	0.8	0.6	0.8	4.1	0.5	37.9	54.1	77.1	38.2	281.4	54.4	54.8	390.5	36.0
Za:4	2.2	2.2	0.8	0.6	0.8	4.1	0.5	37.9	54.1	77.1	38.2	281.4	54.4	60.2	396.0	34.0
Za:4	2.4	2.4	0.8	0.6	0.8	4.1	0.5	37.9	54.1	77.1	38.2	281.4	54.4	65.7	401.4	32.0
Za:4	2.6	2.6	0.8	0.6	0.8	4.1	0.5	37.9	54.1	77.1	38.2	281.4	54.4	71.2	406.9	30.0
CIMENTACIÓN				PARAMETROS ASENTAMIENTOS										δ_e		
Zapata	L	B	Df	Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	I _s	I _r		(1-u ²)/E _s	δ_e
		m	m	m			m									cm
Za:4	1.5	1.5	0.8	0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	10.4	0.50	0.02	/	/	0.0002	2.7	0.03
Za:4	2	2	0.8	0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	7.8	0.48	0.02	/	/	0.0002	2.9	0.03
Za:4	2.2	2.2	0.8	0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	7.1	0.47	0.02	/	/	0.0002	3.0	0.03
Za:4	2.4	2.4	0.8	0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	6.5	0.47	0.02	/	/	0.0002	3.1	0.03
Za:4	2.6	2.6	0.8	0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	6.0	0.46	0.03	/	/	0.0002	3.2	0.03

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H m	ϕ	C	γ	ν	E_s
		$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
E3	2.3	25	4.0	1.75	0.35	1500
E4	7.4	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
$^\circ$	T/m ²	T/m ³		T/m ²
33.4	4.0	1.8	0.3	4159.1

Espesor de la columna (m)
9.7

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:6	1.5	1.5	0.8
Za:6	2.0	2.0	0.8
Za:6	2.2	2.2	0.8
Za:6	2.4	2.4	0.8
Za:6	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA												
f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gDfNg	0.4*gBNg	Qult	
rad	rad										T/m ²	
0.6	0.8	3.9	0.5	33.7	49.7	71.1	33.2	258.2	48.2	35.6	342.0	
0.6	0.8	3.9	0.5	33.7	49.7	71.1	33.2	258.2	48.2	47.5	353.9	
0.6	0.8	3.9	0.5	33.7	49.7	71.1	33.2	258.2	48.2	52.2	358.6	
0.6	0.8	3.9	0.5	33.7	49.7	71.1	33.2	258.2	48.2	57.0	363.4	
0.6	0.8	3.9	0.5	33.7	49.7	71.1	33.2	258.2	48.2	61.7	368.1	

Qadm
T/m ²
45.0
36.0
34.0
32.0
30.0

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:6	1.5	1.5	0.8
Za:6	2	2	0.8
Za:6	2.2	2.2	0.8
Za:6	2.4	2.4	0.8
Za:6	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS ASENTAMIENTOS												
Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	Is	If	(1-u ²)/Es	δ_e	
		m									cm	
0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	11.9	0.51	0.01	/	/	0.0002	2.9	
0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	8.9	0.49	0.02	/	/	0.0002	3.1	
0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	8.1	0.48	0.02	/	/	0.0002	3.2	
0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	7.5	0.48	0.02	/	/	0.0002	3.3	
0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	6.9	0.47	0.02	/	/	0.0002	3.4	

δ_e
m
0.03

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H	ϕ	C	γ	ν	E_s
	m	°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
E4	6.1	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
36.0	4.0	1.8	0.3	5000.0

Espesor de la columna (m)
6.1

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:10	1.5	1.5	0.8
Za:10	2.0	2.0	0.8
Za:10	2.2	2.2	0.8
Za:10	2.4	2.4	0.8
Za:10	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA												
f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gDfNg	0.4*GBNg	Quit	Qadm
rad	rad										T/m ²	
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	53.1	451.4	45.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	70.8	469.1	36.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	77.9	476.2	34.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	85.0	483.2	32.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	92.1	490.3	30.0

PARAMETROS ASENTAMIENTOS												
Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	Is	If	(1-u ²)/Es	δ_e	δ_e
		m									cm	
0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	7.1	0.47	0.02	/	/	0.0002	2.5	0.02
0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	5.3	0.44	0.03	/	/	0.0002	2.6	0.03
0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	4.8	0.43	0.03	/	/	0.0002	2.7	0.03
0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	4.4	0.42	0.03	/	/	0.0002	2.8	0.03
0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	4.1	0.41	0.04	/	/	0.0002	2.8	0.03

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H	ϕ	C	γ	ν	E_s
	m	°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
E4	12.6	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
36.0	4.0	1.8	0.3	5000.0

Espesor de la columna (m)
12.6

CIMENTACIÓN			
Zapata	L	B	Df
	m	m	m
Za:14	1.5	1.5	0.8
Za:14	2.0	2.0	0.8
Za:14	2.2	2.2	0.8
Za:14	2.4	2.4	0.8
Za:14	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA												
f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gDfNg	0.4*gBNg	Quit	Qadm
rad	rad										T/m ²	
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	53.1	451.4	45.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	70.8	469.1	36.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	77.9	476.2	34.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	85.0	483.2	32.0
0.6	0.8	4.4	0.5	47.2	63.5	89.3	49.2	330.3	67.9	92.1	490.3	30.0

PARAMETROS ASENTAMIENTOS												
Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	Is	lf	(1-u ²)/Es	δ_e	δ_e
		m									cm	
0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	15.8	0.52	0.01	/	/	0.0002	2.5	0.02
0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	11.8	0.51	0.01	/	/	0.0002	2.6	0.03
0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	10.8	0.50	0.01	/	/	0.0002	2.7	0.03
0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	9.9	0.50	0.02	/	/	0.0002	2.8	0.03
0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	9.1	0.49	0.02	/	/	0.0002	2.8	0.03

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAPA	H	ϕ	C	γ	ν	E_s
	m	°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
EC	2.68	32	4	1.8	0.3	2000
E4	11.1	36	4.0	1.8	0.3	5000

VALORES FINALES				
ϕ	C	γ	ν	E_s
°	T/m ²	T/m ³		T/m ²
35.2	4.0	1.8	0.3	4415.3

Espesor de la columna (m)
13.8

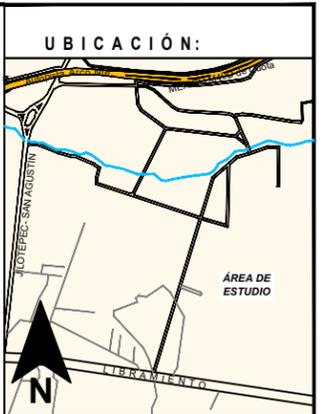
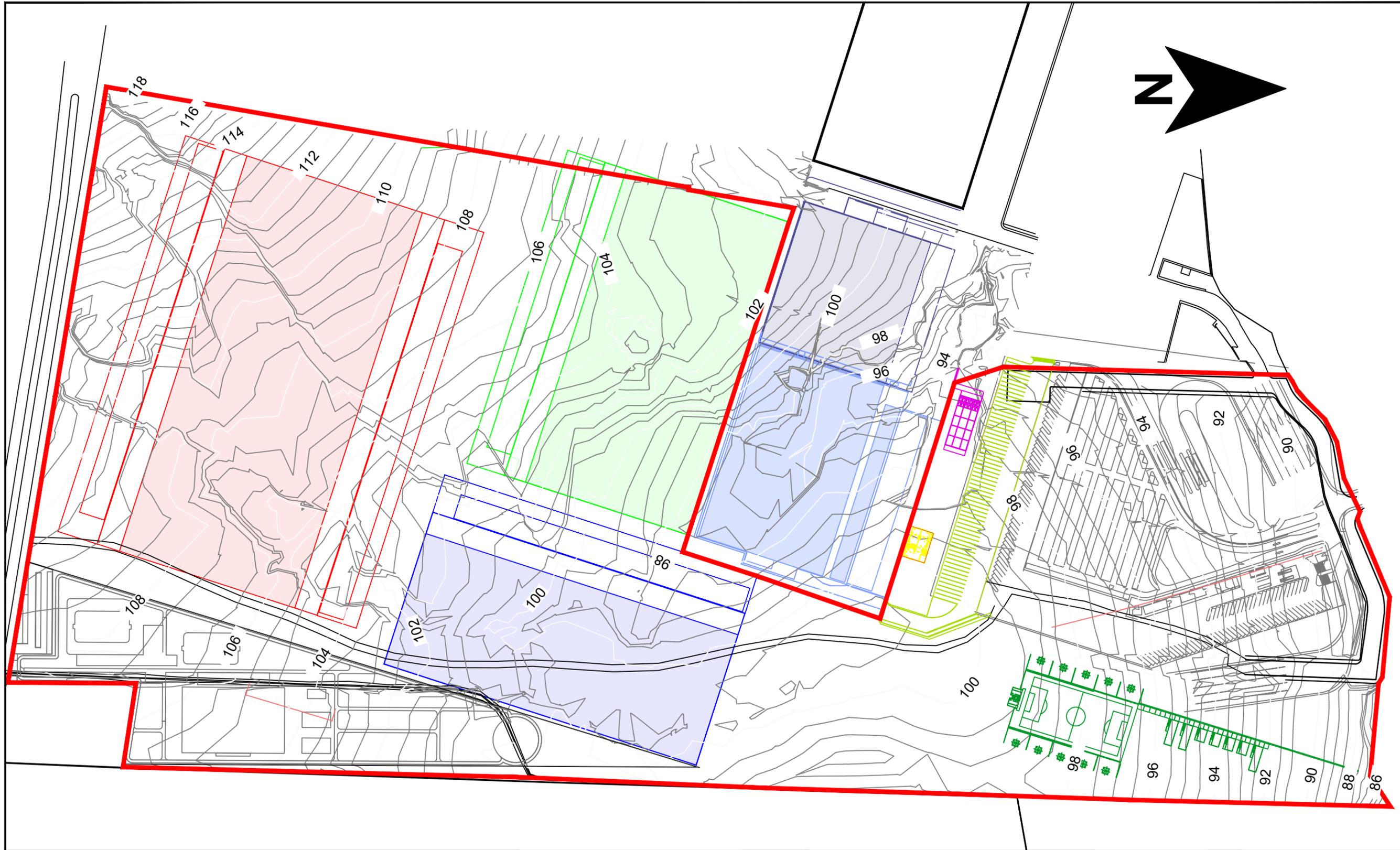
CIMENTACIÓN			
Zapata Te	L	B	Df
	m	m	m
Te	1.5	1.5	0.8
Te	2.0	2.0	0.8
Te	2.2	2.2	0.8
Te	2.4	2.4	0.8
Te	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS CAPACIDAD DE CARGA												
f	45	a	$\cos(45+f/2)$	Nq	Nc	kpg	Ng	1.3C Nc	gDfNg	0.4*GBNg	Q _{ult}	Qadm
rad	rad										T/m ²	T/m ²
0.6	0.8	4.2	0.5	42.6	59.0	83.5	43.8	306.6	61.4	47.3	415.3	45.0
0.6	0.8	4.2	0.5	42.6	59.0	83.5	43.8	306.6	61.4	63.1	431.1	36.0
0.6	0.8	4.2	0.5	42.6	59.0	83.5	43.8	306.6	61.4	69.4	437.4	34.0
0.6	0.8	4.2	0.5	42.6	59.0	83.5	43.8	306.6	61.4	75.7	443.7	32.0
0.6	0.8	4.2	0.5	42.6	59.0	83.5	43.8	306.6	61.4	82.0	450.0	30.0

CIMENTACIÓN			
Zapata Te	L	B	Df
	m	m	m
Te	1.5	1.5	0.8
Te	2	2	0.8
Te	2.2	2.2	0.8
Te	2.4	2.4	0.8
Te	2.6	2.6	0.8

PARAMETROS ASENTAMIENTOS												
Df/B	B/L	B'	a'	m'	n'	F1	F2	I _s	I _f	(1-u ²)/E _s	δ_e	δ_e
		m									cm	m
0.533	1.0	0.8	4.0	1.0	17.3	0.52	0.01	/	/	0.0002	2.8	0.03
0.400	1.0	1.0	4.0	1.0	13.0	0.51	0.01	/	/	0.0002	3.0	0.03
0.364	1.0	1.1	4.0	1.0	11.8	0.51	0.01	/	/	0.0002	3.1	0.03
0.333	1.0	1.2	4.0	1.0	10.8	0.50	0.01	/	/	0.0002	3.2	0.03
0.308	1.0	1.3	4.0	1.0	10.0	0.50	0.02	/	/	0.0002	3.2	0.03

ANEXO 2- PLANOS



- SIMBOLOGÍA:**
- Curva de nivel mayor (cada 1.0 m.)
 - Curva de nivel menor (cada 0.25m.)
 - Límite de predio.
 - Nave 1.
 - Nave 2.
 - Nave 3.
 - Nave 4.
 - Nave 5.
 - Edificio comedor.
 - Edificio de vestidores.
 - Terminal de mantenimiento
 - Centro recreativo.
 - Área recreativa.

REVISIONES:

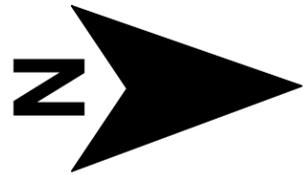
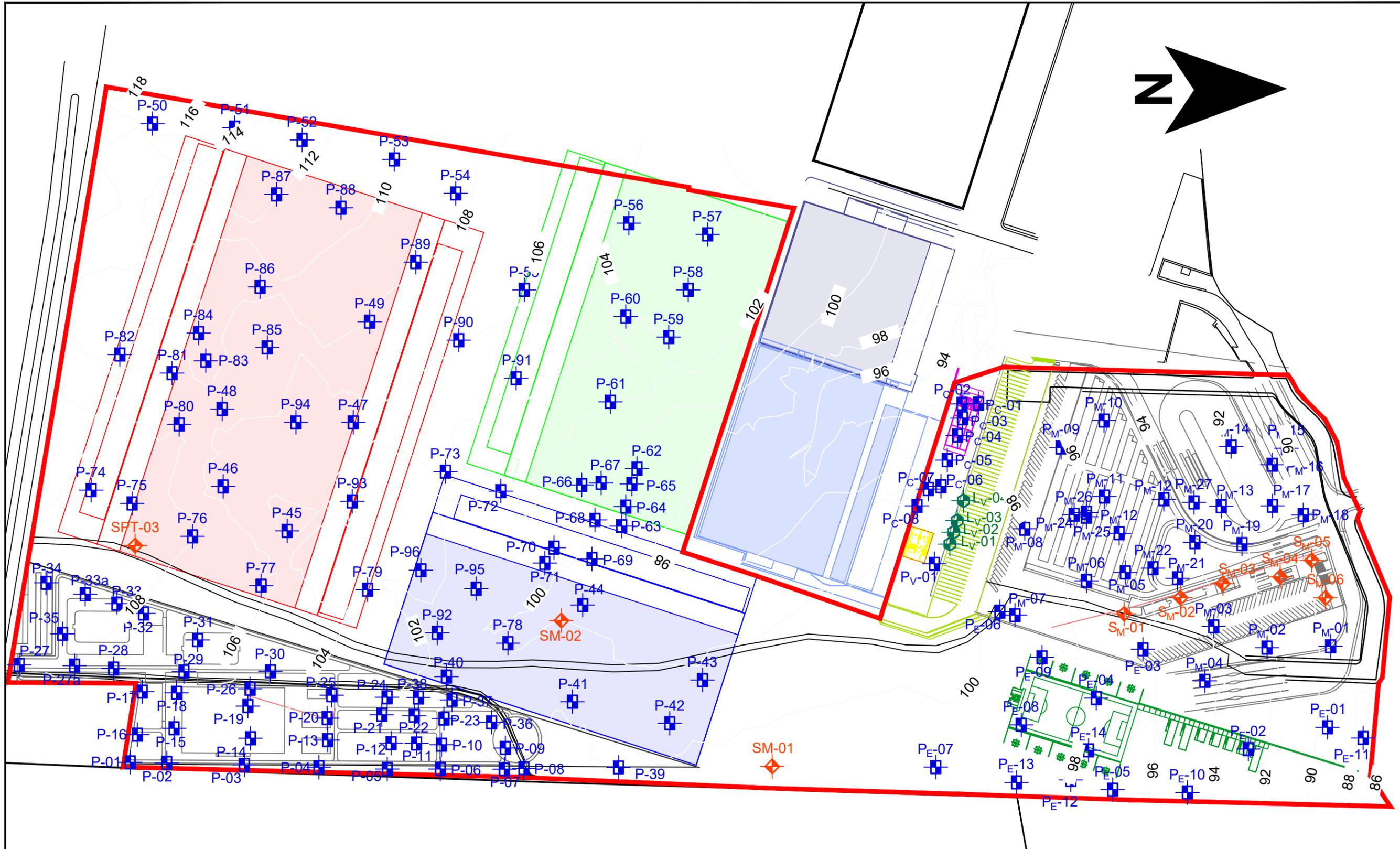
REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SEMBRADO Y CURVAS DE NIVEL

DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES

PLANO:	PL01	HOJA:	1/10	REV:	0
--------	-------------	-------	-------------	------	----------



- SIMBOLOGÍA:
- Curva de nivel mayor (cada 1.0 m.)
 - Límite de predio.
- Mecánica de suelos
- Pozo a cielo abierto (P-).
 - Sondeo Mixto (SM).
 - Levantamiento visual (LEV).

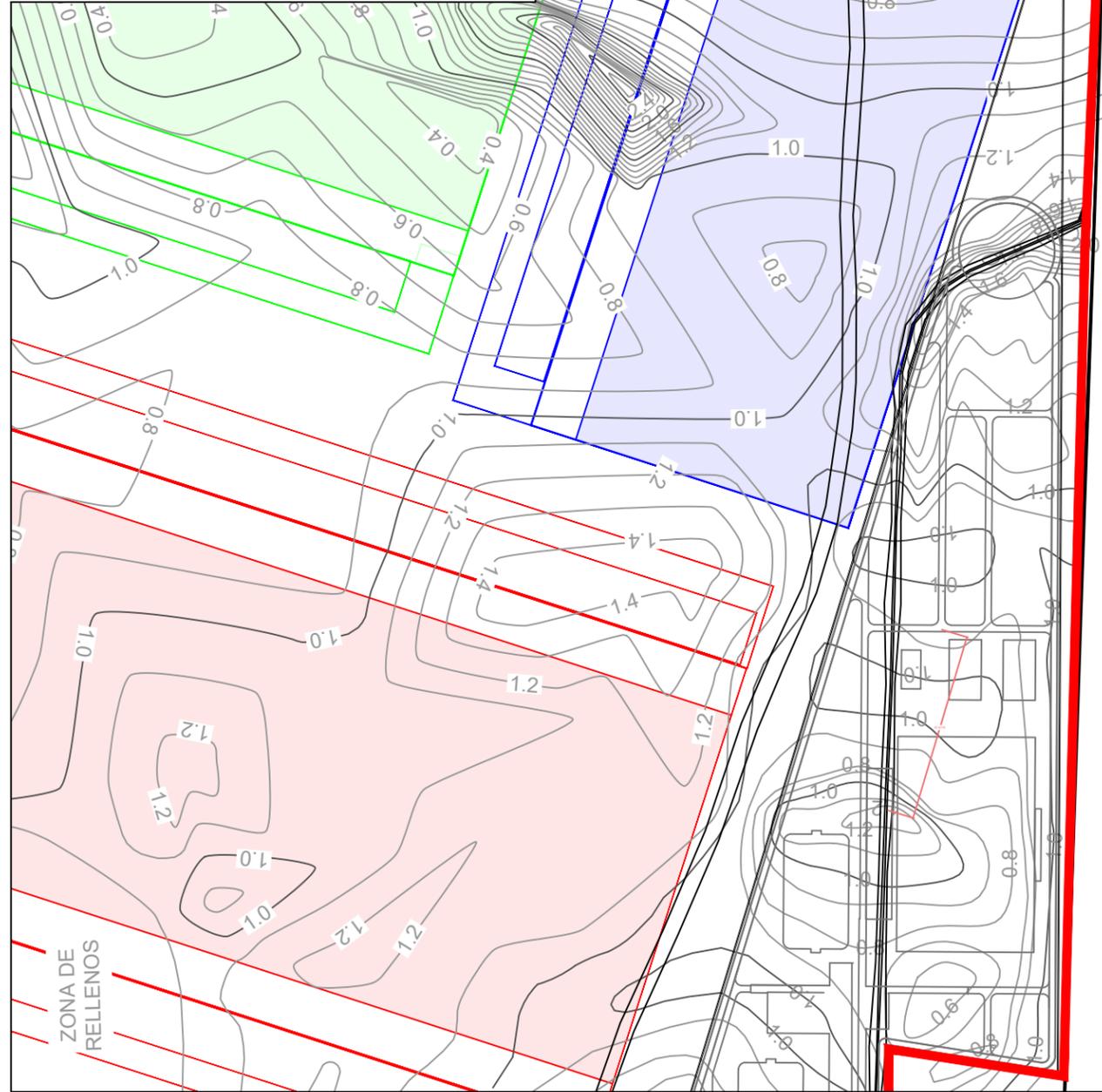
REVISIONES:

REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

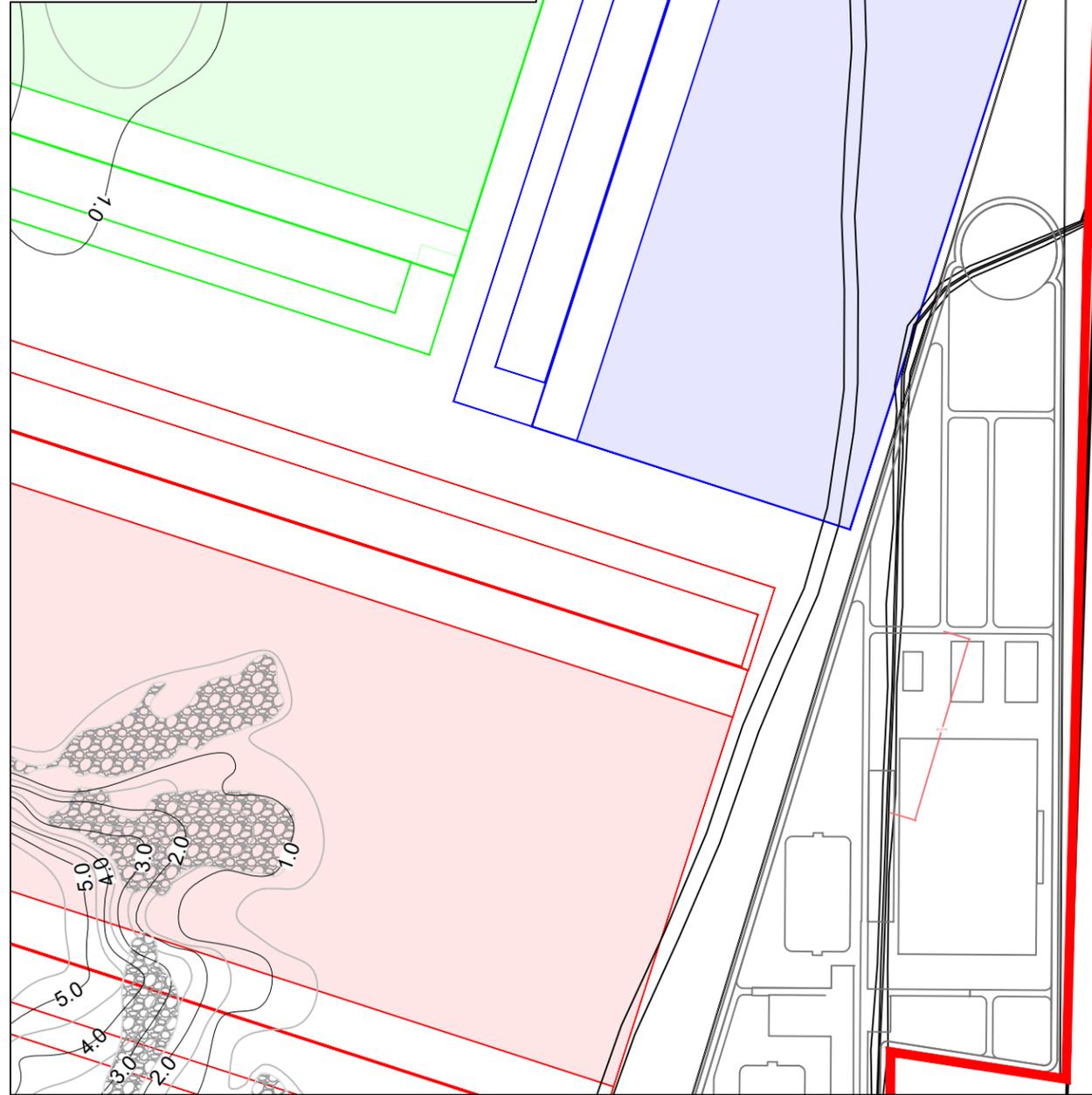
DIBUJÓ:	Brenda Mejia C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SEMBRADO Y CURVAS DE NIVEL		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL02	HOJA: 2/10
		REV: 0

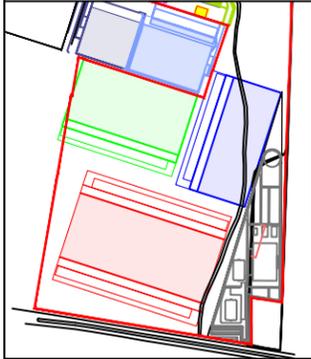
CURVAS DE IGUAL ESPESOR DE ARCILLA N E G R A



CURVAS DE IGUAL ESPESOR DE MATERIALES ANTROPOGÉNICOS



UBICACIÓN:



SIMBOLOGÍA:

— Límite de predio.

Espeor de arcilla negra

— Curva mayor de igual
espeor de arcilla
(cada 1m).

— Curva menor de igual
espeor de arcilla
(cada 0.1m).

Espeor de materiales
Antropogénicos

— Curva mayor de igual
espeor de relleno
(cada 1m).

— Curva menor de igual
espeor de relleno
(cada 0.1m).

▣ Bloques de roca
volcánica colocados
a volteo.

REVISIONES:

REV:	FECHA:	DE SCRIPC IÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ: Brenda Mejia C.

REVISÓ:

APROBÓ:

FECHA:

**CURVAS DE IGUAL ESPEOR DE ARCILLA Y ESPEOR DE
MATERIALES ANTROPOGÉNICOS (EJEMPLO)**

DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES

PLANO:

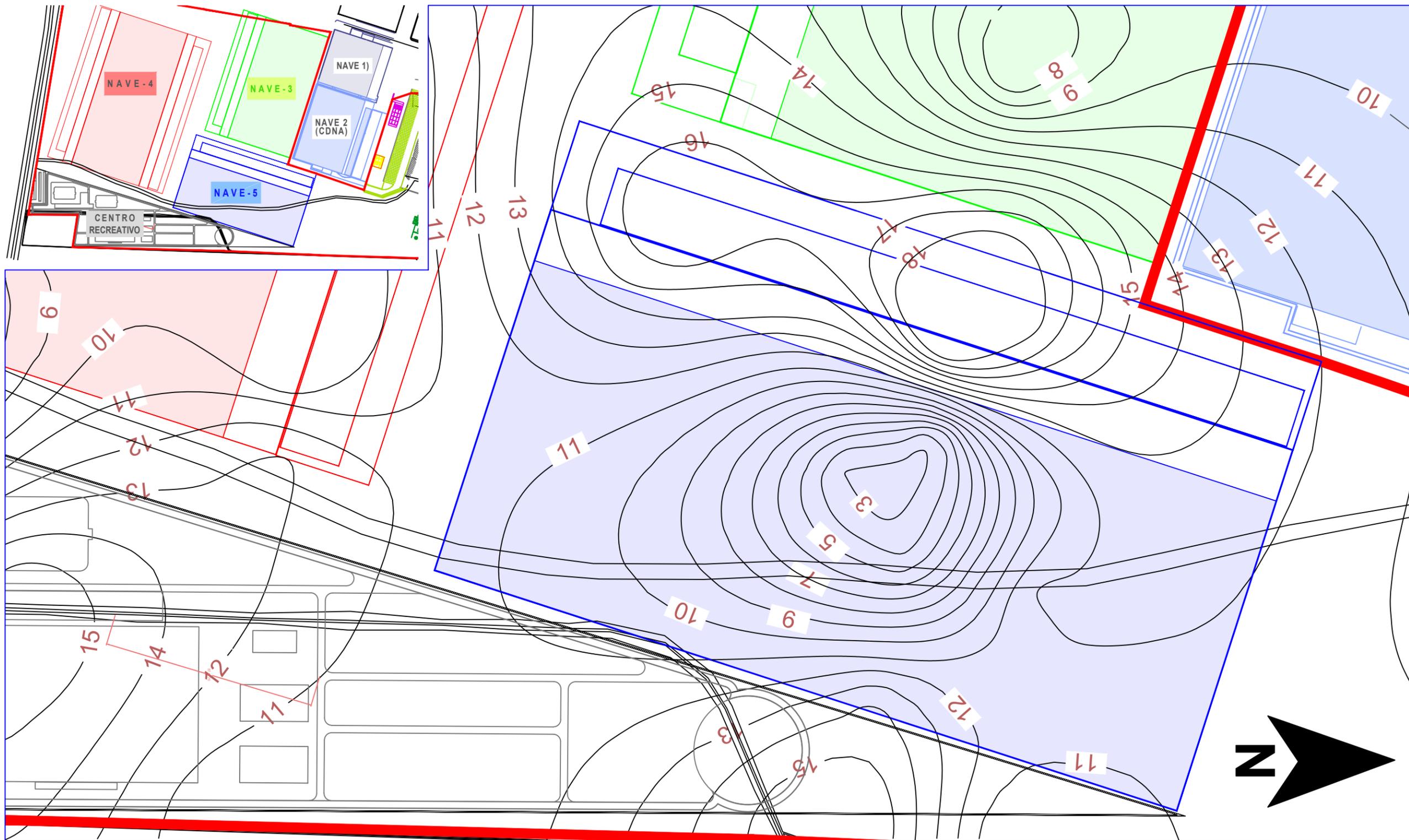
PL02.1

HOJA:

3/10

REV:

0



- SIMBOLOGÍA:**
- Curva mayor de igual profundidad de roca (cada 1.0m).
 - Curva menor de igual profundidad de roca (cada 0.1m).
 - Límite de predio.

NOTAS:

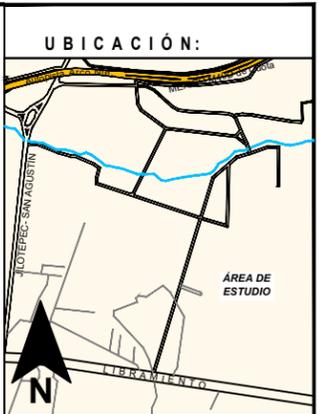
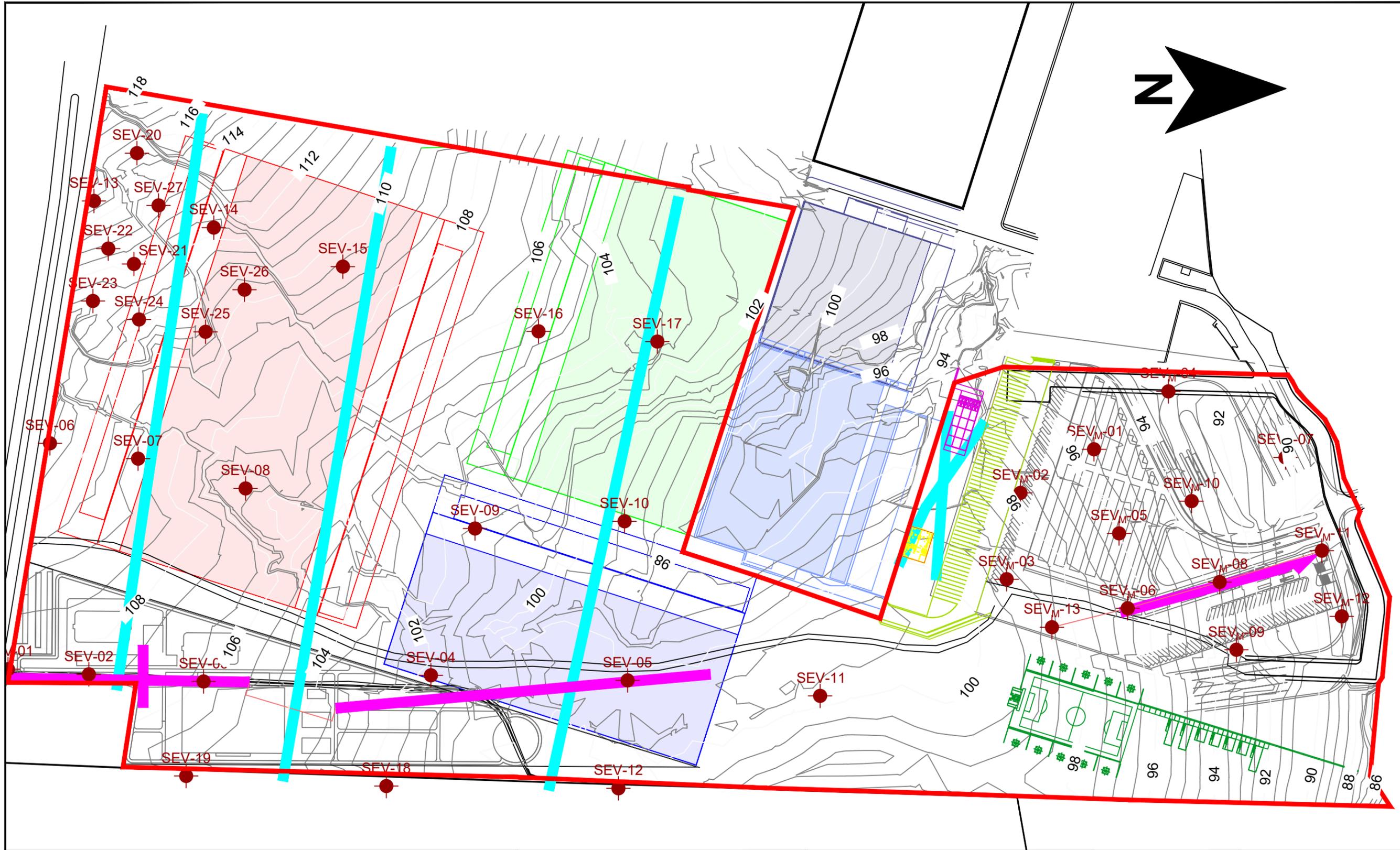
- Para la conformación del presente plano de curvas se hizo empleo de la información obtenida a partir de la exploración de mecánica de suelos y los resultados obtenidos por la exploración geofísica (planos PL-03).

REVISIONES:

REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DE MATERIALES TIPO C: ROCA O BRECHA VOLCÁNICA (EJEMPLO)		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL02.2	HOJA: 4/10
		REV: 0



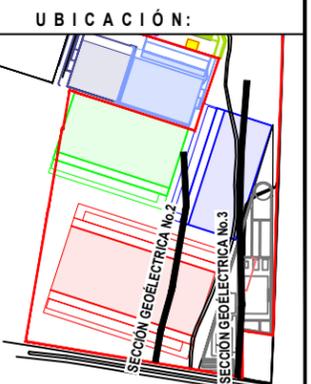
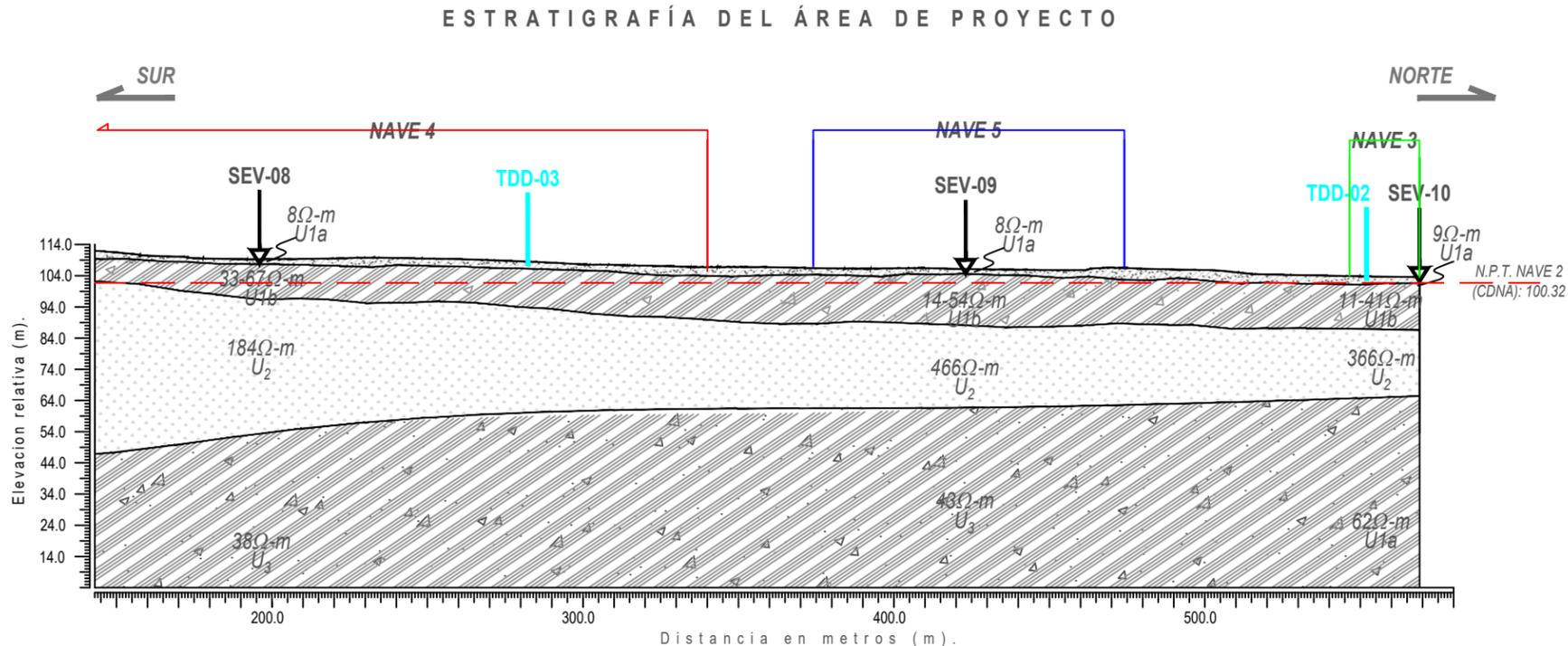
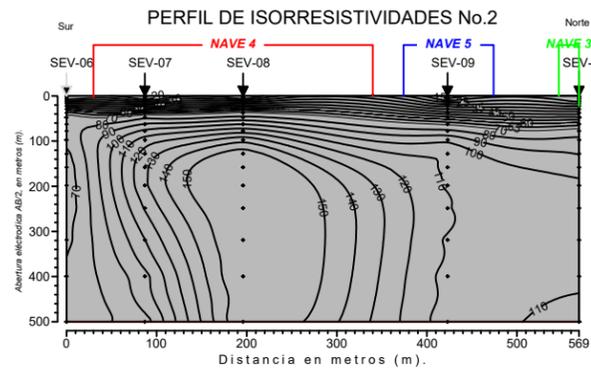
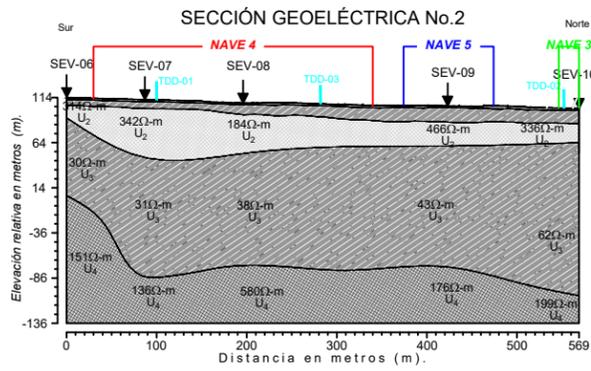
- SIMBOLOGÍA:**
- Curva de nivel mayor (cada 1.0 m.)
 - Curva de nivel menor (cada 0.25 m.)
 - Límite de predio.
- Métodos eléctricos**
- Sondeo eléctrico vertical (SEV).
 - Línea de tendido Dipolo-Dipolo (TDD).
- Método sísmico**
- Tendido de refracción sísmica (TRS)

REVISIONES:

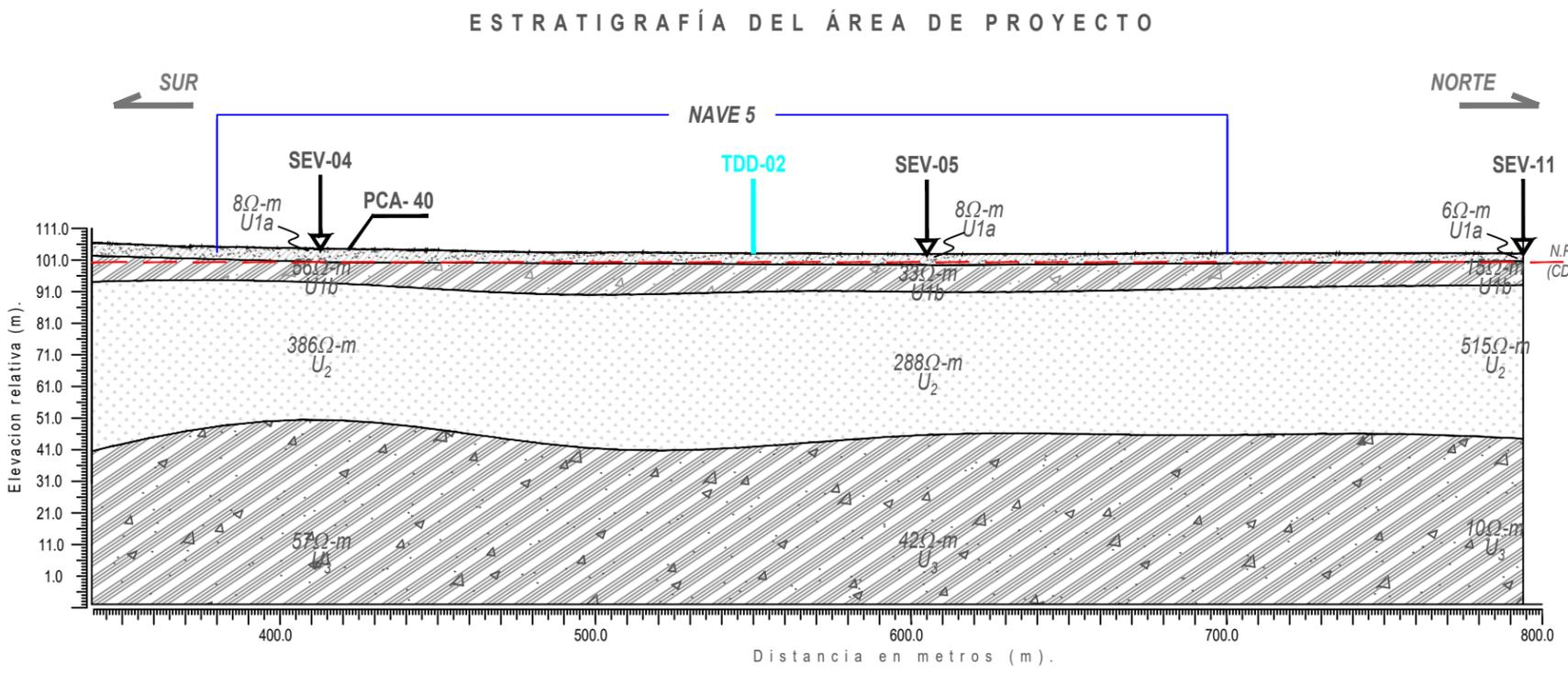
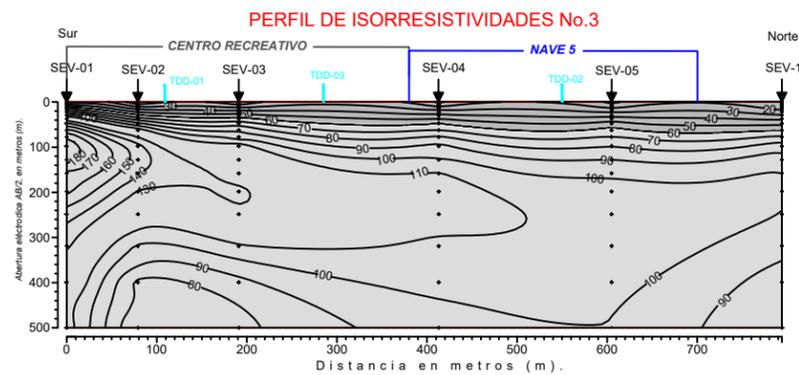
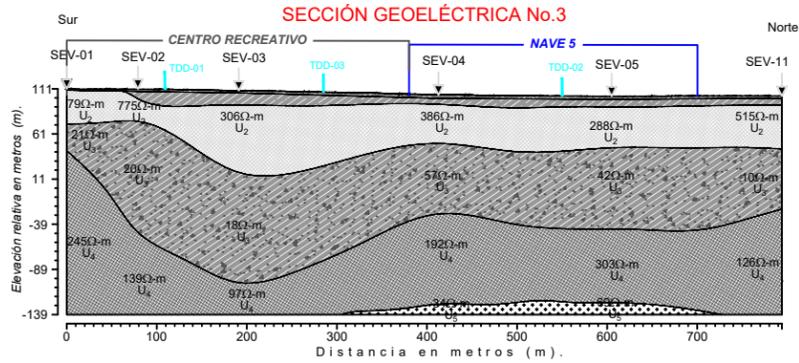
REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejia C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

DISTRIBUCIÓN DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL03	REV: 0
HOJA:	5/10	



- SIMBOLOGÍA:**
- SECCIONES GEOELÉCTRICAS.**
- (U1a) Depósitos fluviales y aluviales (arcillas, limos y arenas recientes).
 - (U1b) Depósitos vulcanosedimentarios recientes.
 - (U2) Roca volcánica.
 - (U3) Depósitos vulcanosedimentarios antiguos.
 - (U4) Roca volcánica.
 - (U5+) Depósitos vulcanosedimentarios antiguos.
- PERFILES DE ISORRESISTIVIDADES**
- Isorresistividades de 10 a 60 Ω-m.
 - Isorresistividades de 60 a 150 Ω-m.
- NOMENCLATURA.**
- N.P.T. Nivel de piso terminado.
 - PCA Pozo a cielo abierto.
 - SEV Sondeo eléctrico vertical.
 - TDD Tendido dipolo-dipolo.

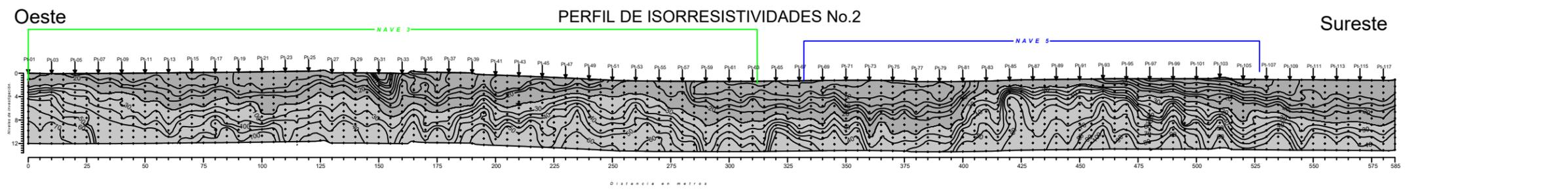
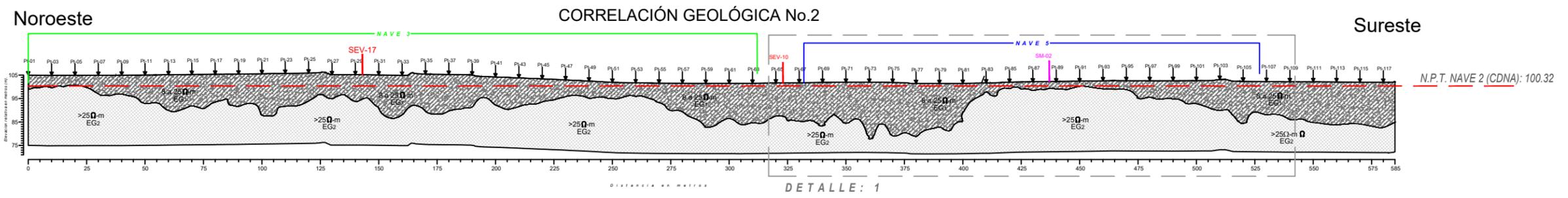


REVISIONES:

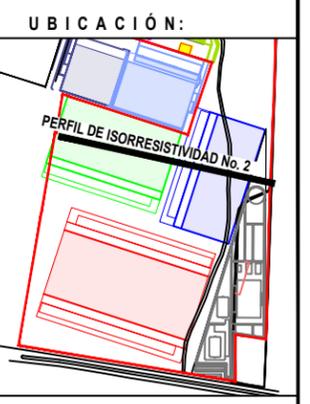
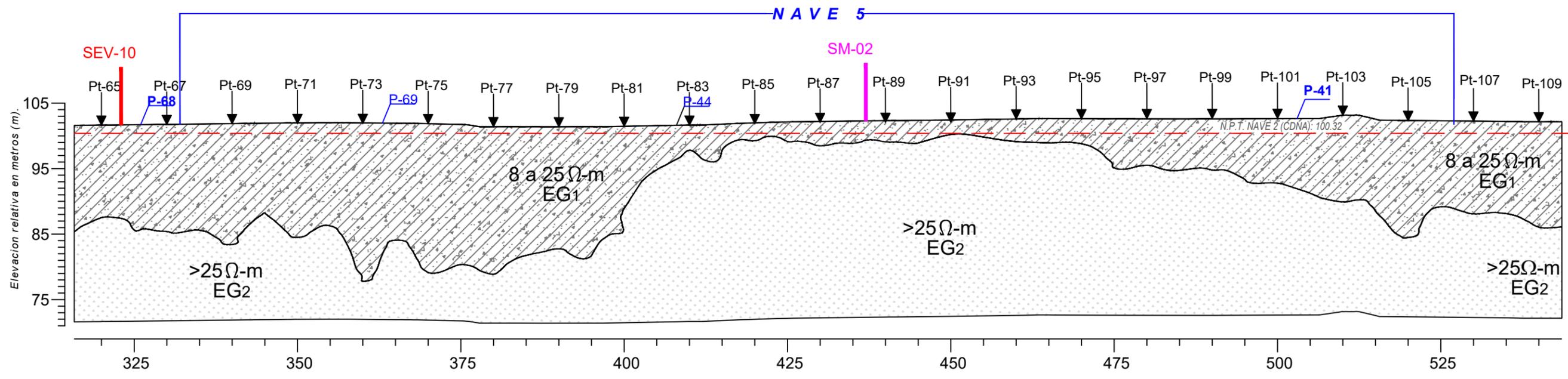
REV:	FECHA:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SECCIONES GEOFÍSICAS: SEV (EJEMPLO NAVE 5)		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL03.1	HOJA: 6/10
		REV: 0



DETALLE 1: CORRELACIÓN GEOLÓGICA EN EL ÁREA DE PROYECTO



SIMBOLOGÍA:

- SECCIONES GEOELÉCTRICAS.
- Depósito antropogénico.
 - Depósitos recientes: aluviales, lacustres y vulcanosedimentarios.
 - Roca volcánica.

- PERFILES DE ISORRESISTIVIDADES
- Isorresistividades de 10 a 25 Ω-m.
 - Isorresistividades de 25 a 90 Ω-m.

- NOMENCLATURA.
- N.P.T. Nivel de piso terminado.
 - Pt- Punto de tiro.
 - PCA Pozo a cielo abierto.
 - SEV Sondeo eléctrico vertical.
 - SM Sondeo mixto.

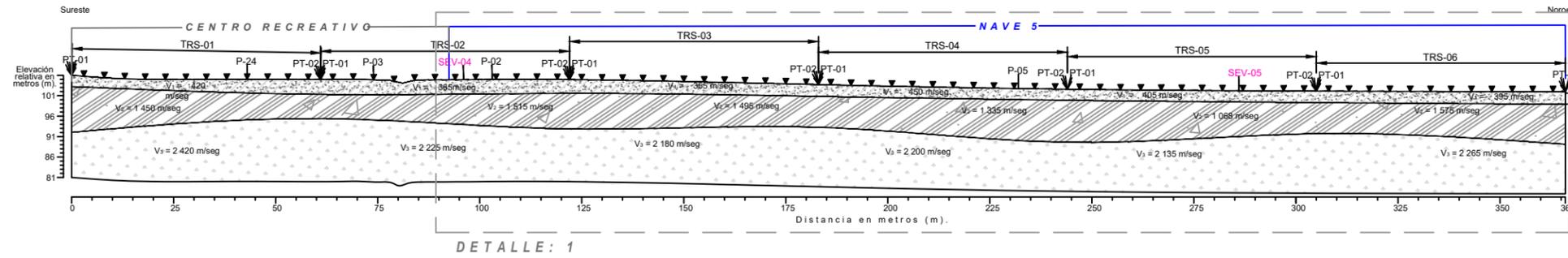
REVISIONES:

REV:	FECHA:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

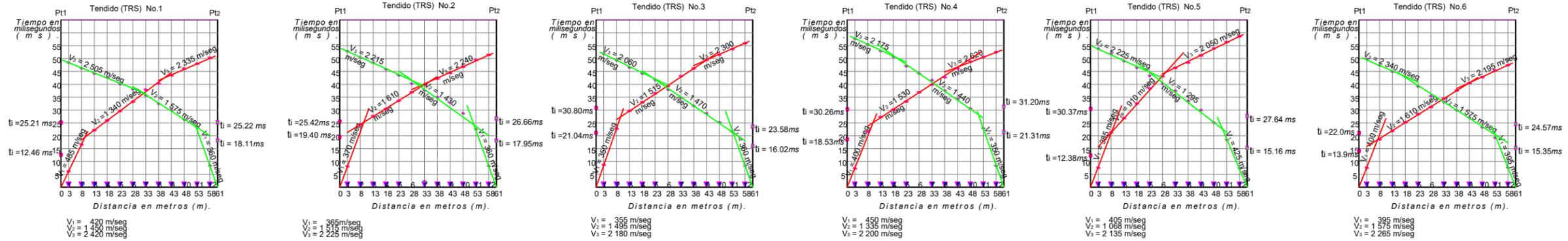
SECCIONES GEOFÍSICAS: TDD (EJEMPLO NAVE 5)		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL03.2	HOJA: 7/10
		REV: 0

SECCIÓN GEOSÍSMICA No. 3

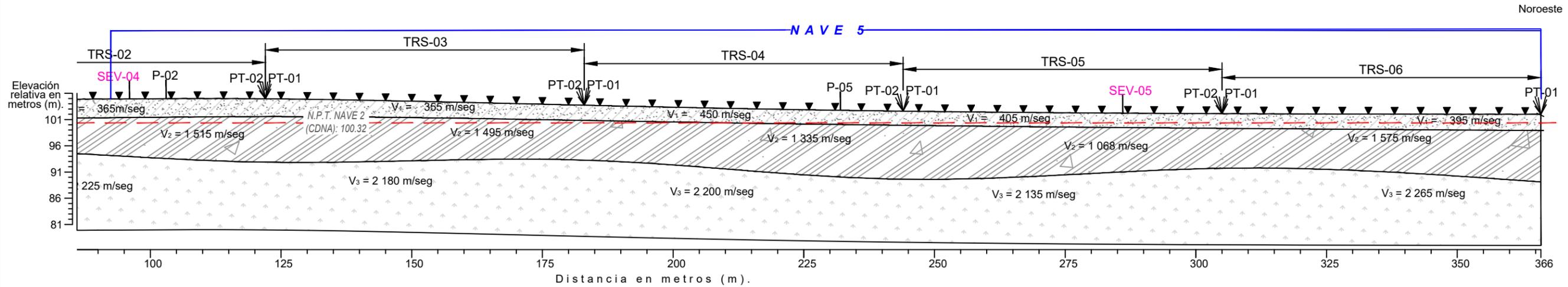


DETALLE: 1

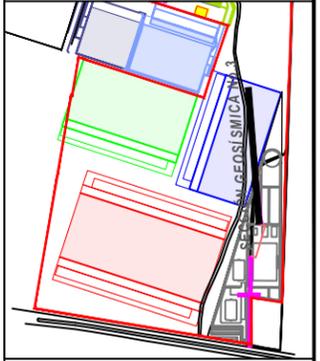
CURVAS DROMOCRÓNICAS



DETALLE 1: ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE PROYECTO



UBICACIÓN:



SIMBOLOGÍA:

SECCIONES GEOELÉCTRICAS.

- Depósitos naturales recientes.
- Depósitos volcano-sedimentarios recientes.
- Roca volcánica.

NOTACIÓN:

NOMENCLATURA.

- N.P.T. Nivel de piso terminado.
- PT- Punto de tiro.
- P- Pozo a cielo abierto.
- SEV Sondeo electrico vertical.
- TRS Tendido de refracción sísmica.

REVISIONES:

REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

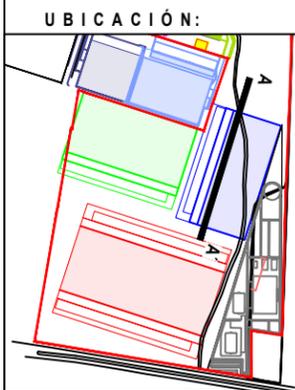
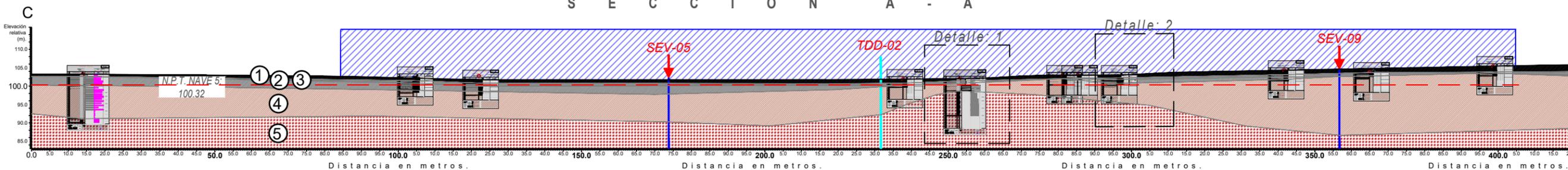
DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SECCIÓN GEOFÍSICA: TRS (EJEMPLO NAVE 5)

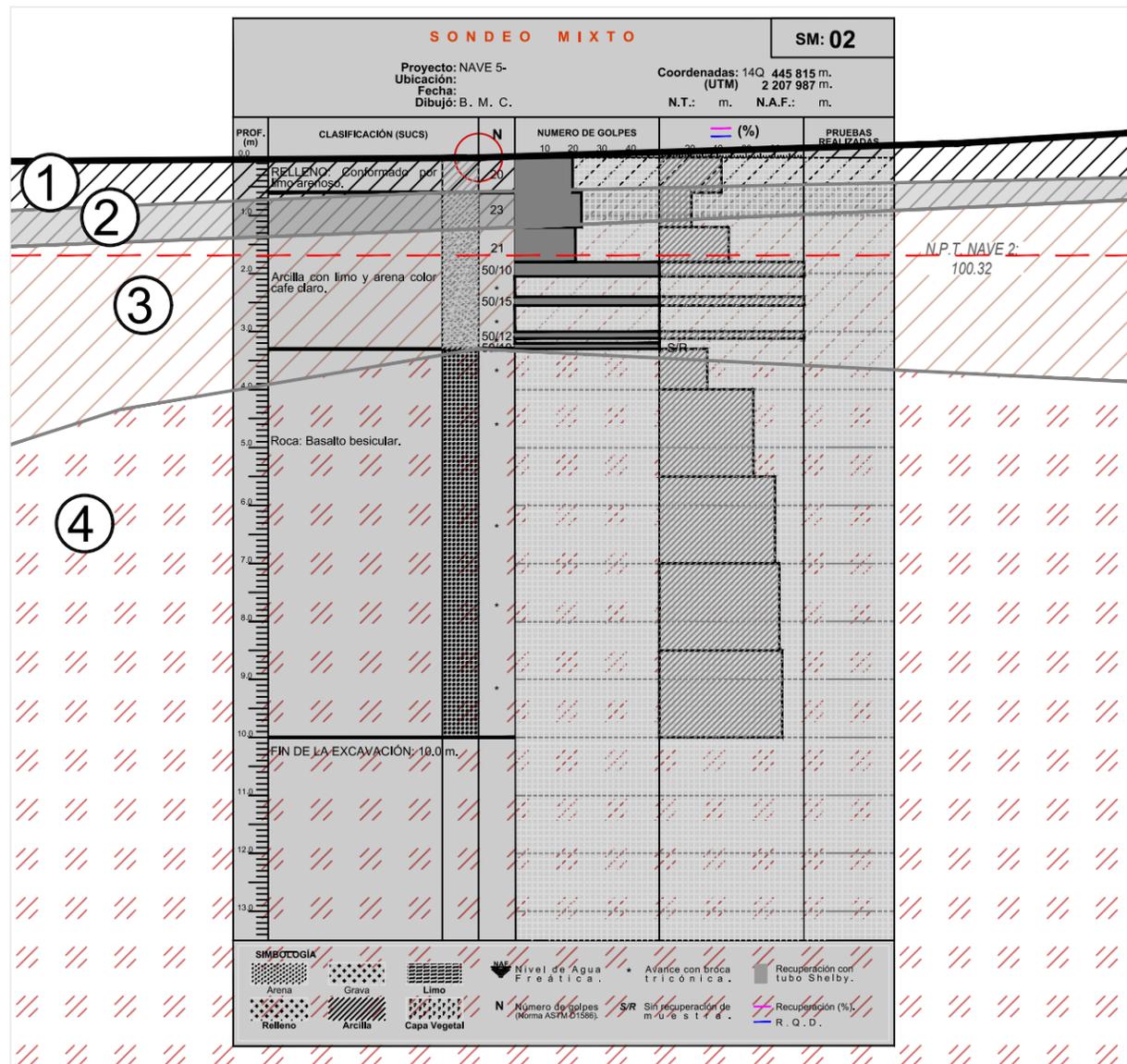
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES

PLANO:	PL03.3	HOJA:	8/10	REV:	0
--------	---------------	-------	-------------	------	----------

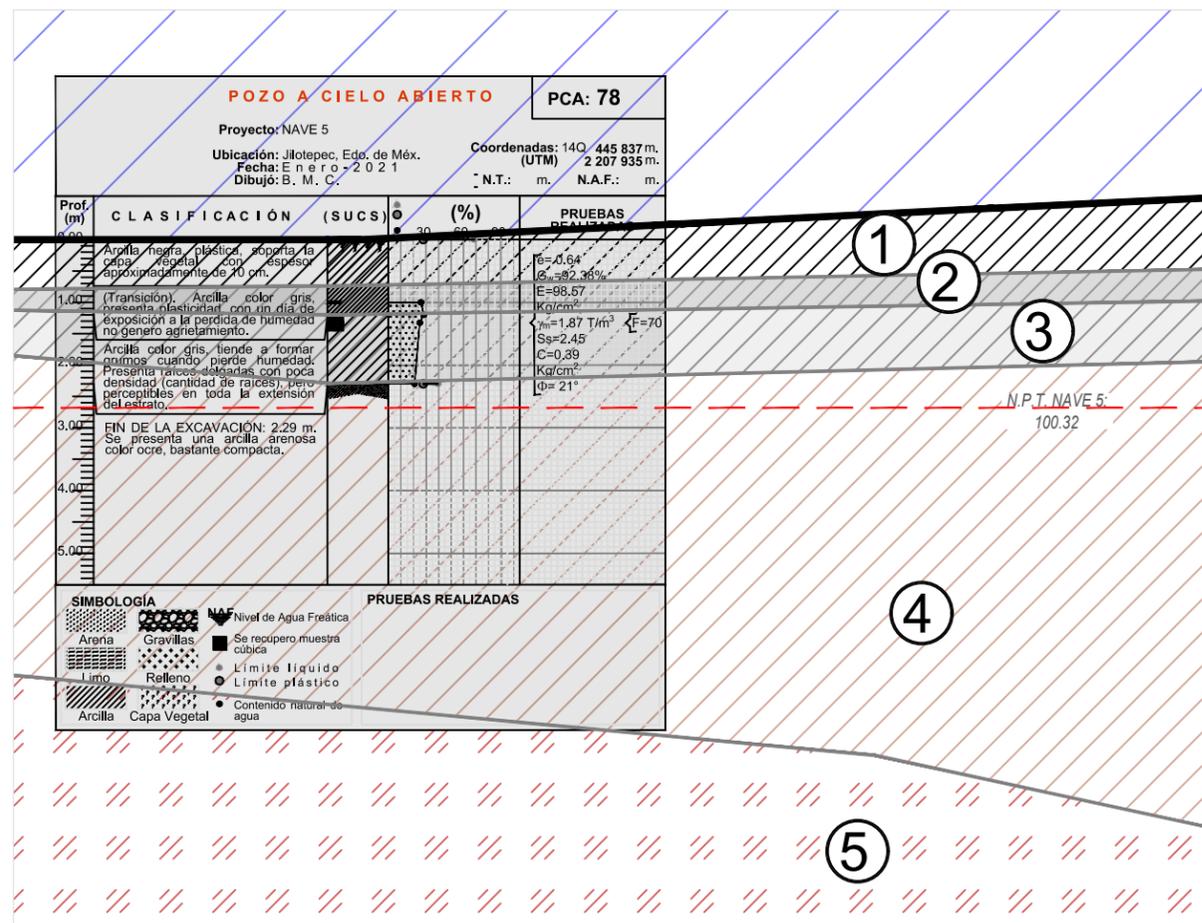
S E C C I Ó N A - A



DETALLE: 1



DETALLE: 2



SIMBOLOGÍA:

- ① Arcilla negra.
- ② Arcilla gris con agrietamiento.
- ③ Arcilla gris.
- ④ Arcilla café claro (T o b a).
- ⑤ Roca volcánica (Basalto).

NOMENCLATURA.

- N.P.T. Nivel de piso terminado.
- P- Pozo a cielo abierto.
- SEV Sondeo eléctrico vertical.
- SM Sondeo Mixto.
- TDD Tendido de dipolo-dipolo.
- TRS Tendido de refracción sísmica.

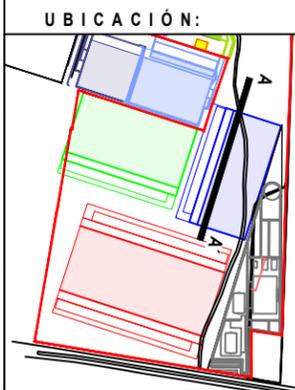
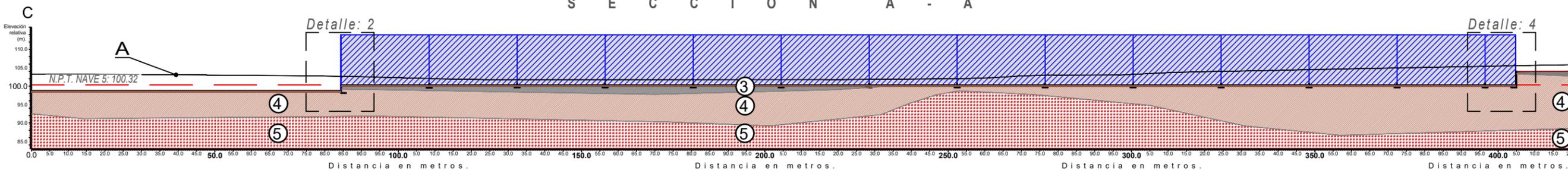
REVISIONES:

REV:	FECHA:	DESCRIPCIÓN:	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejía C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE MECÁNICA DE SUELOS (EJEMPLO NAVE 5)		
DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES		
PLANO:	PL04	
HOJA:	9/10	REV: 0

S E C C I Ó N A - A



SIMBOLOGÍA:

- Terraplén.
- Arcilla negra.
- Arcilla gris con agrietamiento.
- Arcilla gris.
- Arcilla cafe claro (T o b a).
- Roca volcánica (Basalto).

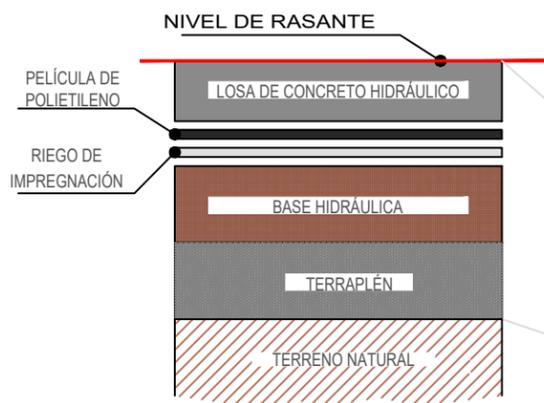
NOMENCLATURA.

- N.P.T. Nivel de piso terminado.
- N.P. Nivel de plataforma.

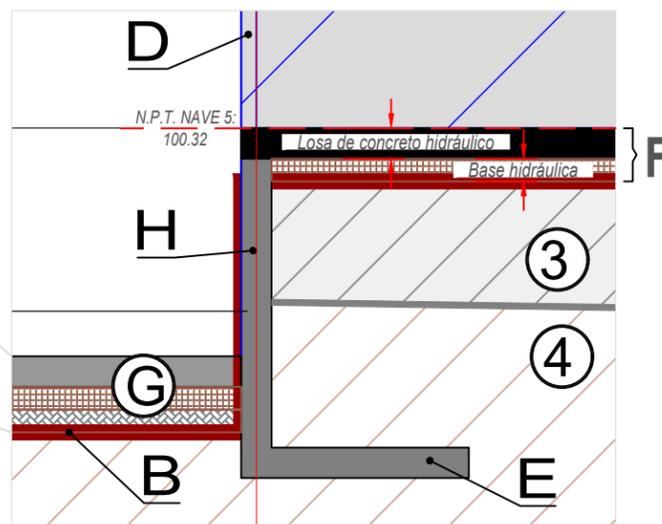
NOTACIÓN Y RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS:

- A. **PERFIL DE TERRENO NATURAL.**
 - B. **PERFIL DE TERRENO FINAL.** SE REALIZARÁN LOS CORTES NECESARIOS PARA ALCANZAR EL NIVEL DE PISO TERMINADO (COTA 100.32m) Y LAS PLATAFORMAS EN SUS NIVELES CORRESPONDIENTES, ASÍ MISMO SE DEBE VERIFICAR POR EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA OBRA EL RETIRO TOTAL DE ARCILLA DE LOS ESTRATOS E:1 Y E:2 EN TODA EL AREA DE PROYECTO DE LA NAVE.
 - C. **TERRAPLÉN:** CONFORMADO POR MATERIAL SELECCIONADO DEL CORTE (NO ARCILLA NEGRA), PARA QUE CUMPLA CON CALIDAD DE SUBRASANTE SEGÚN NORMA SCT CORRESPONDIENTE.
SE DISPONE PARA ALCANZAR LOS NIVELES REQUERIDOS POR EL PROYECTO EN LAS ZONAS QUE ASÍ LO REQUIERAN COLOCÁNDOSE EN CAPAS DE 20cm COMPACTADAS AL 98% DE SU PVS M AASHTO ESTÁNDAR CON 3%DE HUMEDAD SUPERIOR A LA ÓPTIMA .
 - D. **PROYECCION DE COLUMNAS.** SE CONSIDERÓ UNA DISTRIBUCIÓN SIMILAR A LA INDICADA EN EL SEMBRADO DE LA NAVE 2 EN SECCION LONGITUDINAL, SEPARADAS A CADA 24.0m .
 - E. **CIMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS:** SE REALIZARÁ CON ZAPATAS AISLADAS O ZAPATAS CORRIDAS DESPLANTADAS AL MENOS A 0.80m DE PROFUNDIDAD RESPECTO AL NIVEL DE PISO TERMINADO DE LA NAVE SOBRE LOS ESTRATOS E:4, E:3 O EN TERRAPLÉN COMPACTADO (E:C).
- LA EXCAVACIÓN SE REALIZARA ENTRE TALUDES VERTICALES, SE LIMPIARÁ EL FONDO DE LA EXCAVACIÓN MANUALMENTE Y SE PROCEDERÁ A REALIZAR EL COLADO DE UNA PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE DE 5.0cm DE ESPESOR, CON RESISTENCIA F'C=100 kg/cm². CUANDO EL CONCRETO DE LA PLANTILLA ALCANCE SU FRAGUADO INICIAL, SE PROCEDERÁ A REALIZAR EL ARMADO, CIMBRADO Y COLADO DE LAS CIMENTACIONES, DE ACUERDO CON LO SEÑALADO EN EL PROYECTO ESTRUCTURAL CORRESPONDIENTE.
- DURANTE EL ARMADO DE LAS ZAPATAS SE DEBERÁN DEJAR LAS PREPARACIONES NECESARIAS PARA LIGAR DICHS ELEMENTOS CON LAS COLUMNAS Y MUROS DE LA ESTRUCTURA.
- UNA VEZ QUE EL CONCRETO DE LAS CIMENTACIONES ALCANCE POR LO MENOS EL 80% DE SU RESISTENCIA DE PROYECTO, SE PROCEDERÁ CON EL RELLENO DE LAS CEPAS, PARA LO CUAL SE DEBERÁ OCUPAR MATERIAL DEL CORTE CON TAMAÑOS DE ROCA MENORES A 7.5cm, COLOCÁNDOLO EN CAPAS DE 0.15m DE ESPESOR SUELTO Y COMPACTÁNDOLO CUANDO MENOS HASTA ALCANZAR EL 95% DE SU PESO VOLUMÉTRICO SECO MÁXIMO PROCTOR ESTÁNDAR.
- F. **ESTRUCTURA DE PISOS AL INTERIOR DE LA NAVE.**
 - G. **ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PATIO DE MANIOBRAS.**
 - H. **MURO DE CONTENCIÓN.** SE CONSTRUYE CON CONCRETO REFORZADO CON IMPERMEABILIZANTE INTEGRAL COLOCÁNDOSE PARA CONTENER EL TERRENO NATURAL SOBRE LOS LINDEROS ESTE Y SUR, DE SER REQUERIDO, ASÍ COMO PARA CONTENER EL TERRAPLÉN O TERRENO NATURAL PARA LA ZONA DE CARGA Y DESCARGA.
 - I. **RELLENO FLUIDO VRS=60%.** SE EMPLEA PARA RELLENAR LA SOBREEXCAVACIÓN EN LOS MUROS DE CONTENCIÓN Y AISLAR ESTE MISMO DEL TERRENO NATURAL. SE COLARA 15cm POR ARRIBA DEL TERRENO NATURAL PARA DAR PENDIENTE FUERA DEL MURO DE CONTENCIÓN. ANTES DE RECIBIR EL EL RELLENO FLUIDO SE COLOCARÁ SOBRE TODO EL EXTERIOR DEL MURO DE CONTENCIÓN UNA GEOMEMBRANA DE HDPE. DE 0.75mm. DE ESPESOR, TERMOFUSIONADA.
 - J. **SISTEMA DE DRENAJE EN TALUDES.** CONFORME EL PROYECTO CORRESPONDIENTE. SE ASUME QUE ESTÁ RESUELTO EL DRENAJE PLUVIAL Y SANITARIO DE TODO EL DESARROLLO PARA EVITAR LA SATURACIÓN DEL TERRENO NATURAL QUE PONGA EN RIESGO LA ESTABILIDAD DE TALUDES A CONFORMAR.

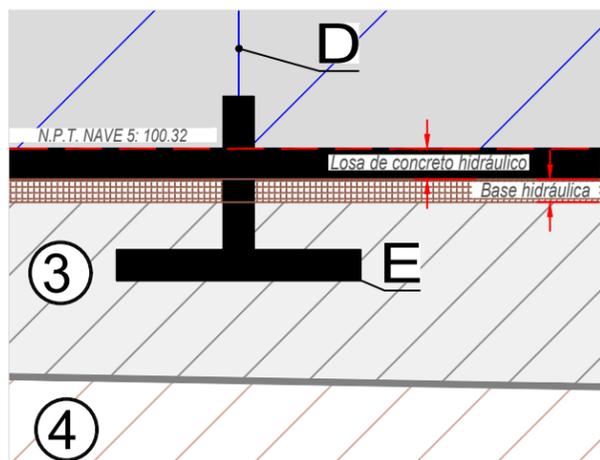
DETALLE : 1
ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS



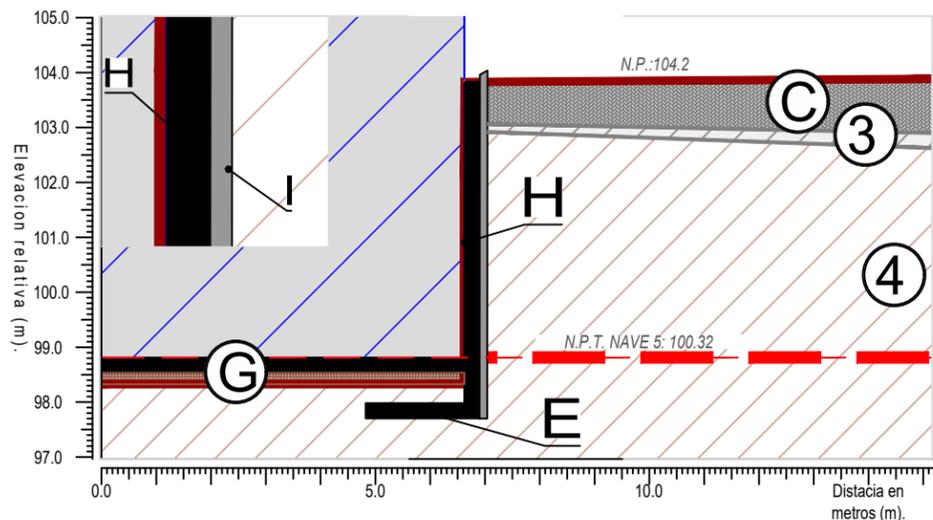
DETALLE : 2



DETALLE : 3



DETALLE : 4



REVISIONES:

REV:	FECHA:	DE SCRIPCIÓN :	DIBUJÓ:	APROBÓ:

DIBUJÓ:	Brenda Mejia C.
REVISÓ:	
APROBÓ:	
FECHA:	

SECCIÓN CONSTRUCTIVA (EJEMPLO NAVE 5)

DESARROLLO DE UN ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA UN CONJUNTO DE NAVES INDUSTRIALES

PLANO:	PL05	HOJA:	10/10	REV:	0
--------	------	-------	-------	------	---