



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

CONSTRUCCIÓN DEL DISTRIBUIDOR VIAL DE SANTA ANA

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA CIVIL**

PRESENTA:

Jeraldty Vazquez Perez

NOMBRE DEL ASESOR:

ING. NÉSTOR MANUEL REZZA DÍAZ

APIZACO, TLAX., MARZO 2026





Instituto Tecnológico de Apizaco
Ciencias de la Tierra

Apizaco, Tlaxcala, **02/marzo/2026**
Oficio No. C.T./112/2026
Asunto: Liberación de Proyecto
para Titulación integral

CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

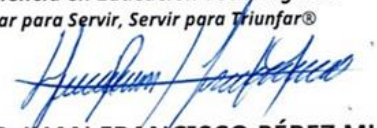
Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del Egresado:	JERALDY VÁZQUEZ PÉREZ
Carrera:	Ingeniería Civil
No. de Control:	21370029
NOMBRE DEL PROYECTO:	"CONSTRUCCIÓN DEL DISTRIBUIDOR VIAL DE SANTA ANA"
Producto:	Titulación Integral Informe de Residencia Profesional.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®


ING. JUAN FRANCISCO PÉREZ MUNGUÍA
JEFE DEPTO. CIENCIAS DE LA TIERRA


DR. NÉSTOR MANUEL REZZA DÍAZ
ASESOR

c.c.p. División de Estudios Profesionales (Comuníquese al interesado)
c.c.p. Servicios Escolares
c.c.p. Archivo
JFPM/JLMH



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DEPARTAMENTO DE
CIENCIAS DE LA TIERRA**



2026
año de
Margarita
Maza





Tzompantepec, Tlaxcala, **27/Marzo/2026**

JERALDY VÁZQUEZ PÉREZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
CON NÚMERO DE CONTROL 21370029.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"CONSTRUCCIÓN DEL DISTRIBUIDOR VIAL DE SANTA ANA"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



AGRADECIMIENTOS

A mis queridos **Padres y Hermanos**:

Escribo estas líneas como una de las partes más importantes de este trabajo, pues son ustedes la base y el motor que me han permitido llegar hasta este punto.

A mis Padres, Eric y Cecilia, mi agradecimiento más profundo e incondicional. Desde el inicio de esta jornada, creyeron en mi potencial y me brindaron el apoyo fundamental para emprender este camino. Cada sacrificio, cada consejo, cada palabra de aliento y la provisión inagotable de recursos han sido los pilares que sostuvieron mi formación. Este logro no es solo mío, sino la materialización de su esfuerzo y su amor incondicional. ¡Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia!

A mis Hermanos: Ceci, Eric y Lupita, gracias por ser mi refugio, mi primera audiencia y mis compañeros de vida. Su motivación constante, su comprensión durante los momentos de ausencia o estrés, y la alegría que siempre me brindaron, hicieron que la carga fuera más ligera. Saber que cuento con su cariño y apoyo inquebrantable me ha dado la fuerza para superar los obstáculos más complejos.

Este proyecto y todo lo que he alcanzado en mi camino es el resultado directo de crecer en un hogar lleno de amor, valores y apoyo. Ustedes no solo me apoyaron, sino que me inspiraron a ser la persona profesional que soy hoy.

Con todo mi amor y gratitud, este logro es de ustedes.

Atentamente,

Jeraldly Vazquez Perez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	X
Construcción del Viaducto de Santa Ana.....	X
JUSTIFICACIÓN.....	XI
Económica	XI
Social	XI
Ecológica	XII
Técnica	XII
OBJETIVOS	XIII
Objetivo general	XIII
Objetivos específicos	XIII
CAPÍTULO I ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO POR SOLUCIONAR	1
ANTECEDENTES	1
CAPITULO II PROCESO RESOLUTIVO DEL PROYECTO	9
Estudio de mecánica de suelos	9
Descripción del proyecto.....	9
Antecedentes geohidrológicos.....	10
Clima	11
Hidrografía	11
Fisiografía	12
Edafología.....	13
Descripción estratigráfica.....	13
Estudio de cimentación	14
Exploración y muestreo.....	14
Tipo de muestras.....	14
Pruebas de laboratorio efectuadas	14

ESTRATIGRAFÍA Y TIPO DE FORMACIÓN	15
Sondeo penetración estándar número uno (SPT-1).....	15
Sondeo penetración estándar numero dos (SPT-2).....	15
Sondeo penetración estándar número tres (SPT-3).....	16
Sondeo penetración estándar número cuatro (spt-4).....	17
Sondeo penetración estándar número cinco (spt-5)	18
Sondeo penetración estándar número seis (spt-6)	19
Sondeo penetracion estandar numero siete (spt-7)	20
Sondeo penetracion estandar numero ocho (spt-8).....	21
Sondeo penetración estándar número nueve (spt-9).....	22
Sondeo penetración estándar número diez (spt-10)	23
Sondeo penetración estándar número once (spt-a).....	23
Sondeo penetracion estandar numero doce (spt-b).....	24
Sondeo penetracion estandar numero trece (spt-c).....	26
Sondeo penetracion estandar numero catorce (spt-d).....	28
Sondeo penetracion estandar numero quince (spt-e).....	28
Sondeo penetracion estandar numero dieciseis (spt-f).....	29
Sondeo penetracion estandar numero diecisiete (spt-g)	30
Sondeo penetracion estandar numero dieciocho (spt-h)	31
Construcción de pilas.....	38
Proceso y descripción de las actividades realizadas	59
Cimentación Profunda: Ejecución de Pilas.....	59
Habilitado, armado e izaje del acero.....	59
Colado De Pilas	60
Excavación para zapatas y colado de plantilla.....	61
Colado de la Plantilla	62
Habilitado y colocación del armado de zapata.....	63
Armado de columnas octogonales.....	64
Colocación de Cimbra y Verificación	64

Colado de la Zapata	65
Cimbrado y Colado de Columnas Octogonales	66
Relleno y Compactación.....	67
Solución de Interferencias	68
Afloramiento y Control del Nivel Freático	68
Interferencia con Líneas de Alta Tensión (CFE)	68
CAPITULO III APORTACIONES	69
Aportaciones técnicas	69
Aportaciones metodológicas:.....	70
Aportaciones en seguridad y normatividad:.....	70
Aportaciones formativas y profesionales:	71
Aportación global del proyecto:	71
ANEXOS	72
Términos estructurales.....	72
Términos geotécnicos y de cimentación	72
Términos constructivos y de obra.....	72
Términos normativos (SCT, AASHTO, NOM).....	73
Resumen de Cimentaciones.....	73
Diseño Geotécnico de Cimentación Profunda	73
Verificación de Asentamientos	74
ANEXO DE PLANOS	75
ANEXO DE FOTOGRAFIAS DE SONDEOS PROFUNDOS TIPO SPT	81
BIBLIOGRAFIAS.....	83

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO I ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO POR SOLUCIONAR .	1
Imagen 1. Composición de la Red Nacional de Carreteras.....	1
Imagen 2. Ubicación del proyecto.....	3
Imagen 3. Vehículos estacionados en gaza.	3
Imagen 4. Entronque Santa Ana Gaza 1 Fuente: SICT, DGST.....	4
Imagen 5. Entronque Santa Ana Gaza 2 Fuente: SICT, DGST.....	5
Imagen 6. Entronque Santa Ana Gaza 3 Fuente: SICT, DGST.....	5
Imagen 7. Accidente en la zona de estudio Fuente: Generación Press. Tlaxcala	5
Imagen 8. Árbol de problemas Entronque Santa Ana. Fuente: Elaboración propia.....	6
CAPITULO II PROCESO RESOLUTIVO DEL PROYECTO	9
Imag. 9 Croquis de ubicación red de carreteras.....	9
Imag. 10 Ortofoto del sitio	9
Imag. 11 Corte en elevación viaducto Santa Ana	10
Imag. 12 Geología	10
Imag. 13 clima	11
Imag. 14 Hidrografía	12
Imag. 15 Fisiografía	12
Imag. 16	12
Imag. 17 Edafología.....	13
Imag. 18 Edafología.....	13
ESTRATIGRAFÍA Y TIPO DE FORMACIÓN.....	15
Imag. 19 Estratigrafía 1	40
Imag. 20 Estratigrafía 2	41
Imag. 21 Estratigrafía 3	42
Imag. 22 Estratigrafía 4Imag 23 Estratigrafía 5.....	43
Imag. 24 Estratigrafía 6	45

Imag. 25 Estratigrafía 7	46
Imag. 26 Estratigrafía 8	47
Imagen 27 Estratigrafía 9	48
Imag. 28 Estratigrafía 10	49
Imag. 29 Estratigrafía 11	50
Imag. 30 Estratigrafía 12	51
Imag. 31 Estratigrafía 13	52
Imag. 32 Estratigrafía 14	53
Imag. 33 Estratigrafía 15	54
Imag. 34 Estratigrafía 16	55
Imag. 35 Estratigrafía 17	56
Imag. 36 Estratigrafía 18	57
Imag. 37 Estratigrafía 19	58
Imag 38, fuente propia.....	59
Imagen 39, armado de pilas, fuente propia. Imagen 40. Izado de acero.....	60
Imagen 41. Colado de pila, fuente propia Imagen 42. Colado de pila.....	60
Imagen 43, Excavación de zapata, fuente propia.	62
Imagen 44, colado de plantilla, fuente propia.	63
Imagen 45, armado de parrilla inf. Para zapata, fuente propia	64
Imagen 46. Cimbrado de zapata, fuente propia.	65
Imagen 47, colado de zapata, fuente propia.	65
Imagen 48, cimbrado de columnas octogonales, fuente propia.	66
Imagen 49, colado de columnas octogonales, fuente propia.....	67
Imag. 50	67
Imagen 51, junta con CFE para reubicar línea de interferencia, fuente propia	68
CAPITULO III APORTACIONES.....	69
ANEXOS.....	72
Imag. 52 Zapata	75
Imag. 53 Refuerzo de zapata	76

Imag. 54 Refuerzo zapata	77
Imag. 55 Geometría de zapata	78
Imag 56 Detalle de armado de cimentación	79
Imag. 57 Geometría de pilas	80
Imag 58 Ejecución de la prueba SPT realizada	81
Imag 59 montaje y nivelación de la perforadora	81
Imag 60 ejecución de la prueba SPT	82
Imag 61 núcleos extraídos de la prueba SPT	82
BIBLIOGRAFÍAS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS .

Tabla 1. Accidentes en zonas urbanas y suburbanas en el área de estudio.....	4
Tabla 2. Accidentes en la carretera Puebla-Huajuapán de León	4
Tabla 3. Velocidad de operación situación actual.....	8
Tabla 5. comparativa de los estados límite de falla.....	36
Tabla 6 Límites máximos tolerables para la distorsión angular	37
Tabla 7.	37

ABSTRACT

The Santa Ana Interchange construction project is conceived to improve operational conditions and traffic continuity along Federal Highway MEX-121 Puebla–Belém, thereby reducing travel times and generalized travel costs (CGV). This initiative is aligned with the national objectives of enhancing mobility, safety, and competitiveness through the development of sustainable and efficient infrastructure. The scope of the project is limited to the intersection of MEX-121 and MEX-119, considering current and projected traffic flows, while excluding secondary roads not directly related to the problem. The justification for the project arises from the need to address traffic congestion, operational inefficiencies, and accident risks caused by the mixture of long-distance and local traffic. The expected outcomes include reductions in operating costs, improvements in road safety, and the promotion of regional socioeconomic development through enhanced connectivity. The construction process involves deep foundations with reinforced piles and footings, circular and octagonal columns, concrete caps, and beam fabrication, all under strict quality control and in compliance with structural standards (AASHTO and Mexican regulations).

INTRODUCCIÓN

La infraestructura de transporte constituye un eje fundamental para el desarrollo económico, social y territorial de cualquier nación, ya que facilita la movilidad de personas, mercancías y servicios, además de propiciar la integración regional y transfronteriza. En este contexto, el proyecto de construcción del Distribuidor Vial Santa Ana se concibe como una estrategia de modernización y optimización de las vías terrestres que conectan a los estados de Puebla y Tlaxcala, regiones con alta dinámica comercial, industrial y de servicios. El cruce de la carretera federal MEX-121 Puebla–Belén con la carretera federal MEX-119 Tlaxcala–Belén representa un punto estratégico de conexión, donde confluyen tanto el tránsito local como el de largo itinerario, generando una demanda creciente de capacidad y seguridad vial.

La problemática actual de este entronque radica en la insuficiencia de la infraestructura existente para atender los flujos vehiculares, lo que se traduce en altos costos generalizados de viaje, tiempos de recorrido prolongados, niveles de servicio deficientes y un incremento en la probabilidad de accidentes. Aunado a ello, el crecimiento vehicular proyectado a mediano plazo intensificará estas deficiencias, comprometiendo no solo la eficiencia del sistema de transporte, sino también la competitividad regional y la calidad de vida de los usuarios. En este sentido, la construcción del Distribuidor Vial Santa Ana responde a la necesidad de implementar una solución integral que atienda la movilidad de manera sostenible, segura y eficiente.

Este proyecto se encuentra alineado con los objetivos del Programa Nacional de Infraestructura, que busca consolidar una red intermodal eficiente y sostenible, garantizando condiciones de accesibilidad, seguridad, inclusión y calidad. La inversión en infraestructura vial, además de mejorar la competitividad, tiene efectos multiplicadores en sectores como el turismo, la industria y el comercio, al facilitar el intercambio de bienes y servicios y reducir los costos logísticos asociados al transporte.

El alcance del proyecto se delimita específicamente al área de influencia directa del cruce mencionado, sin considerar otros entronques cercanos que no inciden de manera significativa en la problemática descrita. Bajo este enfoque, el diseño geométrico y estructural se realiza conforme a las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la normatividad mexicana vigente, garantizando que la solución propuesta cumpla con los más altos estándares técnicos y de seguridad.

En suma, la construcción del Distribuidor Vial Santa Ana no solo constituye una respuesta a las necesidades actuales de movilidad, sino que se proyecta como una inversión estratégica de largo plazo, cuyo impacto se reflejará en la reducción de tiempos de traslado, el aumento de la seguridad vial, la disminución de la congestión vehicular y la potenciación del desarrollo socioeconómico regional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Construcción del Viaducto de Santa Ana

Las causas principales de la problemática existente en la carretera federal MEX 121 Puebla-Belén en el cruce con la carretera federal MEX-119 Tlaxcala-Belén, corresponde a la mezcla del tránsito de largo itinerario con el tránsito local, el cruce con 2 ciclos semafóricos y el crecimiento del tránsito vehicular, en consecuencia, se presentan condiciones de bajas velocidades de operación, niveles de servicio deficientes y riesgo de accidentes de tránsito.

Derivado de lo descrito anteriormente, se puede mencionar que las características físicas y geométricas del entronque de referencia, no permiten atender de manera adecuada las necesidades de tránsito actual y futuros incrementos de tránsito, en consecuencia, se presentan altos Costos Generalizados de Viaje para los usuarios.

Baja eficiencia:

- La infraestructura actual no es suficiente para gestionar el volumen de tráfico, lo que genera tiempos de traslado largos e ineficientes.

Problemas de seguridad vial:

- El cruce a nivel de la carretera federal 121 Puebla-Belén representa un riesgo constante para los conductores y peatones debido a la falta de funcionalidad y el alto flujo vehicular.

Demoras crónicas de movilidad:

- El tráfico constante causaba demoras significativas, afectando a miles de personas que se trasladaban diariamente entre la zona metropolitana de Tlaxcala y la ciudad de Puebla.

Impacto económico negativo:

- La ineficiencia del tránsito en esta vía clave repercutía en la economía de la región, afectando el traslado de mercancías y el tiempo de los trabajadores. Con la reducción del tiempo de traslado, se espera un ahorro significativo a nivel económico.

JUSTIFICACIÓN

La construcción del distribuidor vial en este cruce se justifica en la necesidad de mejorar las condiciones de operación, seguridad y servicio del tránsito en una de las principales vías de comunicación regional. Actualmente, la mezcla de tránsito de largo itinerario con tránsito local, aunada al crecimiento vehicular y a la insuficiencia del entronque existente, genera altos costos generalizados de viaje, bajas velocidades y un elevado riesgo de accidentes. La modernización de esta intersección permitirá reorganizar los flujos vehiculares mediante una infraestructura de tercer nivel, garantizando la continuidad del tránsito de largo recorrido y liberando la carga vehicular sobre los accesos locales. Con ello, se obtendrán beneficios significativos en términos de eficiencia, seguridad y desarrollo socioeconómico para la región.

Con la implementación del proyecto se logrará:

- ❖ Reducir tiempos de traslado y costos operativos para los usuarios.
- ❖ Disminuir la congestión vehicular y mejorar los niveles de servicio.
- ❖ Incrementar la seguridad vial al separar los diferentes tipos de tránsito.
- ❖ Impulsar el desarrollo económico y social de la región, al asegurar una mejor conectividad entre Tlaxcala, Puebla y zonas aledañas.

Económica

La construcción del distribuidor vial en la intersección de las carreteras federales MEX-121 Puebla–Belén y MEX-119 Tlaxcala–Belén representa una inversión estratégica orientada al fortalecimiento de la infraestructura de transporte regional. Este proyecto permitirá reducir los costos de operación vehicular (COV) y los tiempos de recorrido, contribuyendo a una mayor eficiencia en el traslado de personas y mercancías.

Durante la ejecución se han considerado los costos por molestias derivadas de la disminución temporal de la velocidad de circulación y del aumento en los tiempos de recorrido. Sin embargo, una vez en operación, los beneficios superarán ampliamente dichos costos. Se estima que en su primer año de funcionamiento, los usuarios experimentarán una reducción del 17.7% en los tiempos de recorrido, equivalente a un ahorro anual de aproximadamente 43.9 millones de pesos. Asimismo, el ahorro en costos de operación vehicular alcanzará el 10.6%, representando 47.62 millones de pesos anuales.

Adicionalmente, el proyecto generará un impacto positivo en la economía local y regional mediante la creación de 783 empleos (373 directos y 410 indirectos), promoviendo la dinamización del sector de la construcción, el comercio y los servicios conexos. De esta forma, la inversión en infraestructura se traduce en competitividad, productividad y desarrollo económico sostenible.

Social

Desde el punto de vista social, el proyecto responde a la necesidad de mejorar la movilidad y la seguridad vial en un punto estratégico de alto flujo vehicular. El distribuidor vial permitirá un tránsito más fluido y ordenado, reduciendo significativamente la congestión, los tiempos de espera y los riesgos de accidentes.

La obra beneficiará tanto a los usuarios de largo recorrido como a la población local, al ofrecer una infraestructura moderna y segura que facilitará el acceso a centros urbanos, industriales, educativos y de servicios. De igual manera, al mejorar la conectividad entre Puebla, Tlaxcala y Belén, se fortalecerán las relaciones sociales, laborales y turísticas, favoreciendo el bienestar y la calidad de vida de los habitantes de la región.

Ecológica

En el ámbito ecológico, la construcción del distribuidor vial considera medidas de mitigación orientadas a minimizar los impactos ambientales temporales durante la etapa de obra, tales como el control del polvo, ruido y residuos generados.

Una vez en operación, la mejora en la fluidez del tránsito vehicular se traducirá en una reducción de las emisiones contaminantes debido al menor tiempo de recorrido y al ahorro de combustible. Esto contribuirá a la disminución de la huella de carbono en la zona y al cumplimiento de los compromisos ambientales establecidos en las políticas nacionales de movilidad sostenible.

Además, el proyecto busca integrarse armónicamente al entorno, promoviendo un diseño vial que favorezca la eficiencia energética y el uso racional de los recursos, asegurando la sustentabilidad del sistema carretero a largo plazo.

Técnica

Desde el punto de vista técnico, el proyecto se sustenta en criterios de ingeniería moderna, seguridad estructural y funcionalidad vial. La solución adoptada consiste en una estructura en tercer nivel con una longitud total de 694.48 metros, conformada por 18 claros apoyadas sobre travesaños pretensados tipo AASHTO y Nebraska-220.

La sección transversal de 18.0 metros de ancho permitirá alojar cuatro carriles de circulación de 3.5 metros cada uno, acotamientos exteriores de 1.1 metros, parapetos de 0.4 metros y una barrera separadora central de 1.0 metro, garantizando la estabilidad y seguridad del tránsito. Los movimientos direccionales se resolverán mediante carriles laterales de 5.5 metros de ancho, lo que facilitará el flujo local y los accesos secundarios.

La solución estructural propuesta es técnicamente viable y se ajusta a las normas y especificaciones vigentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), asegurando una vida útil prolongada, bajo mantenimiento y alto desempeño funcional.

OBJETIVOS

Objetivo general

La construcción del Distribuidor Vial Santa Ana permitirá dar continuidad y ofrecer mejores condiciones de operación al tránsito que circula a través de la carretera federal MEX-121 Puebla-Belén, lo que permitirá a los usuarios reducir sus tiempos de recorrido y consecuentemente los costos generalizados de viaje (CGV).

Objetivos específicos

- “Mejorar la movilidad de personas y mercancías en todo el territorio nacional y transfronterizo, incrementando la competitividad del país mediante la consolidación de una red intermodal de infraestructura para un transporte eficiente, sostenible y seguro.”
- “Fomentar la construcción, modernización y conservación de la infraestructura de transporte para garantizar la movilidad de personas, bienes, servicios y turistas nacionales e internacionales, asegurando condiciones de seguridad vial, accesibilidad, eficiencia, sostenibilidad, calidad, inclusión e igualdad”.
- “Mantener al Estado con comunicaciones terrestres dignas y accesibles”
- “Fortalecer y proteger, vías de comunicación terrestres en el Estado, generando programas interestatales de conectividad”.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO POR SOLUCIONAR

ANTECEDENTES

El desarrollo de una sociedad implica que se incremente la necesidad de movilidad, por lo que la demanda de transporte aumenta. Esta necesidad de transporte se atiende en un mayor porcentaje por infraestructura carretera. En el ámbito carretero circula el 56.1% (534.5 millones de toneladas) del transporte de carga y el 96.3% (3,147.0 millones de pasajeros al año) de los pasajeros que transitan por las diversas regiones del país según el Anuario estadístico Sector Comunicaciones y Transportes, de ahí la importancia de que México cuente con una Red Nacional de Carreteras que atienda las necesidades de transporte actuales y futuras.

Asimismo, la Red Nacional de Carreteras en su conjunto tiene la finalidad de enlazar en forma rápida, segura, y con menores costos de operación vehicular a las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como a los centros poblacionales y turísticos.

Durante los últimos años la Red Nacional de Carretera se ha desarrollado de manera gradual permitiendo la comunicación directa con casi todas las regiones y comunidades del país; actualmente se estima que existen 407,783 kilómetros de carreteras, de los cuales 12.7% corresponde a la Red Federal, 34.1% a la Red Alimentadora, y 53.2% a la Red Rural, conforme a lo siguiente:

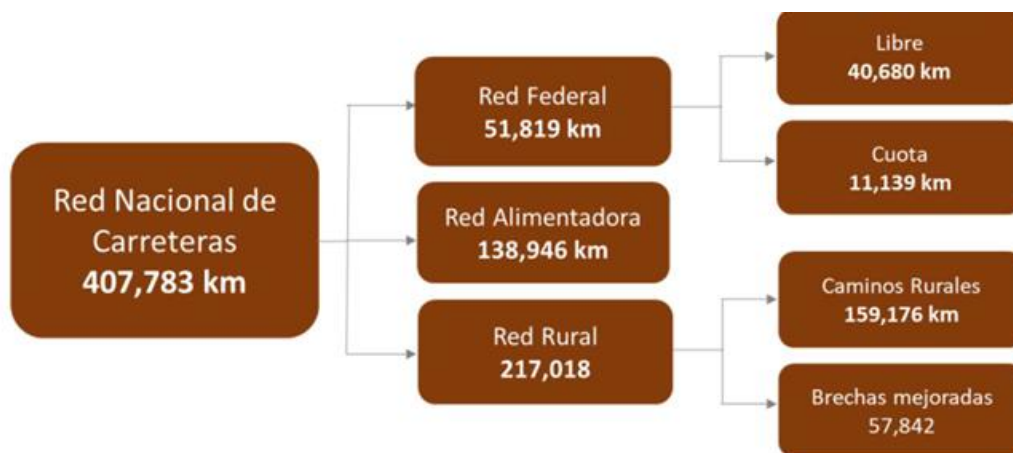


Imagen 1. Composición de la Red Nacional de Carreteras.

Fuente: Elaboración propia con base en información de "Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transportes 2023", de Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2023.

Una de las principales vías para el Estado de Tlaxcala, es la carretera federal MEX-121 Puebla-Belen, comúnmente conocida como la "Vía Corta", que conecta la ciudad de Puebla con Santa Ana Chiautempan en el Estado de Tlaxcala.

Esta vialidad inicia en el entronque con la Autopista Puebla-Orizaba en la Zona de Villa Frontera en el municipio de Puebla, después llega a la zona de la Central de Abastos de Puebla, tras unos minutos llega los límites con Tlaxcala en San Pablo

del Monte para continuar por los municipios del sur y centro de Tlaxcala. En el kilómetro 26 se encuentra con el entronque del Periférico de Tlaxcala (Libramiento Tlaxcala) y continúa, llegando posteriormente a la ciudad de Santa Ana Chiautempan, cruza la ciudad para concluir en el entronque de la Carretera Federal 117D.

A lo largo de los años, la carretera ha sido objeto de diversas mejoras y ampliaciones para atender el creciente flujo vehicular y mejorar la conectividad entre Puebla y Tlaxcala, debido a que es considerada una arteria vital para el comercio y el tránsito diario entre ambos Estados, facilitando el desplazamiento eficiente de personas y mercancías en la región.

Con esta perspectiva, el “Distribuidor Vial Santa Ana” se convierte en un nodo donde convergen dos vialidades principales; la vialidad principal, que cruza de Norte a Sur el estado de Tlaxcala y la vialidad que conecta a dos de las ciudades más importantes del Estado, Tlaxcala y Chiautempan. Dicho entronque presenta serios conflictos viales entre los diferentes orígenes y destinos, el mismo es una zona que funciona como un centro generador y a tractor de movilidad, por las diversas actividades que se realizan en la zona, motivo por el cual se generan altos movimientos de tránsito y transporte, trayendo consigo el propósito de mejorar la movilidad de bienes y personas en una zona urbana y suburbana en la que se encuentra.

En la vialidad se encuentran definidos los sentidos de circulación, semaforizados dos carriles por sentido de circulación. Se encuentran definidas las gasas de incorporación y de desincorporación hacia la Carretera Federal MEX-121 Puebla – Belén.

En el sentido perpendicular a la Carretera Federal MEX-121 Puebla – Belén se encuentra construido y habilitado a la circulación un PIV Vehicular sobre la Carretera Federal MEX-119 Tlaxcala – Belén.

Como parte de las necesidades del tráfico de la zona, se habilitó un tercer cuerpo de circulación.

- ❖ En el sentido 1 (Puebla – Tlaxcala), se encuentra ubicado en la extrema izquierda, con la finalidad de que los usuarios que se dirigen hacia la Ciudad de Tlaxcala se incorporen a la carretera Tlaxcala – Belén, este cuerpo cuenta con dos carriles de circulación en el mismo sentido.
- ❖ En la incorporación a la Carretera Federal MEX-121, Puebla – Belén, (Santa Ana – Apizaco) se encuentra un cuerpo con carril de circulación Mixto, la finalidad es dar salida y entrada en el sentido Apizaco – Santa Ana).

En los dos casos anteriores se realiza un cruce semaforizado entre el sentido 1 y el sentido 2. Lo anterior genera tres zonas semaforizadas en el mismo entronque, esto genera dos puntos de parada en el mismo movimiento direccional, provocando que el tránsito de largo itinerario quede en medio de dos ciclos de semáforos.

Para ambos sentidos de la Carretera Federal MEX-119, Tlaxcala-Belén no se presentan congestionamientos importantes, esto derivado a que se encuentra aislado de los movimientos direccionales.

En la gasa sentido Apizaco -Tlaxcala se encuentran dos carriles, sin embargo, uno de ellos es usado como estacionamiento por los negocios locales. El hecho de que exista solo un carril de circulación habilitado genera un cuello de botella importante ya que se unen el tránsito proveniente del sentido Apizaco Tlaxcala con el del sentido Puebla-Tlaxcala.



Imagen 2. Ubicación del proyecto



Imagen 3. Vehículos estacionados en gaza.

Fuente: SICT, DGST

Actualmente, el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) que converge en la intersección de referencia supera los 100 mil vehículos por día, lo cual denota la importancia del entronque en la zona. Esta situación, en combinación con las características geométricas de la intersección y la problemática ya descrita, indica la necesidad de realizar acciones tendientes a mejorar operativamente el entronque, a fin de que cumpla el propósito de hacer más seguro y eficiente el movimiento de bienes y personas, cuya operación impacta directamente las carreteras federales y los corredores carreteros de la SICT en el Estado de Tlaxcala.

En cuanto al tema de seguridad vial tenemos que durante el año 20231 en el Estado de Tlaxcala se presentaron 1,674 accidentes en zonas urbanas y suburbanas, en los cuales se tuvieron 386 heridos y en 79 muertos.

Para el caso específico de la zona de estudio, en el municipio de Chiautempan durante el año 20232 ocurrieron 9 accidentes en zonas urbanas y suburbanas, en los cuales se presentó 1 defunción y 9 lesionados.

Tabla 1. Accidentes en zonas urbanas y suburbanas en el área de estudio

Municipio	Accidentes	Muertos	Heridos
Chiautempan	9	1	9
Total	9	1	9

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Durante el año 20233 en la Ruta MEX-121 Puebla-Belem hubo 21 accidentes, con un saldo de 1 muerto y 3 lesionados.

Tabla 2. Accidentes en la carretera Puebla-Huajuapán de León

Nº de ruta	Nombre de la ruta	Longitud (km)	SalDOS					Índices¹		
			Colisiones	Colisiones con víctimas	Muertos en el sitio	Lesionados	Daños materiales (miles de dólares)	Siniestralidad	Mortalidad	Morbilidad
MEX-121	Puebla - Belem	48.2	21	3	1	3	3,664.5	3.9	0.2	0.6

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte Documento Técnico 93

Con respecto a la carpeta asfáltica, esta no cuenta con las características óptimas para que el usuario transite de manera segura y eficiente debido al deterioro normal del pavimento; además de no contar con un señalamiento óptimo.

Las siguientes fotografías muestran la problemática del tramo actual.



Imagen 4. Entronque Santa Ana Gaxa 1 Fuente: SICT, DGST



Imagen 5. Entronque Santa Ana Giza 2 Fuente: SICT, DGST



Imagen 6. Entronque Santa Ana Giza 3 Fuente: SICT, DGST



Imagen 7. Accidente en la zona de estudio Fuente: Generación Press. Tlaxcala

Con base en lo anterior, y con el objetivo de identificar el problema, así como sus causas y efectos en la situación actual, se llevó a cabo una "tormenta de ideas" enfocada en los principales problemas observados en la carretera federal MEX-121, Puebla-Belén, específicamente en el Entronque Santa Ana. Este ejercicio permitió identificar cuatro situaciones problemáticas comunes que afectan al tramo en análisis, las cuales se describen a continuación:

- Tránsito de largo itinerario atrapado en 2 ciclos semafóricos.
- Convivencia con el tránsito local.
- Altos volúmenes vehiculares que convergen al entronque y crecimiento futuro del mismo, característica que sumadas a las dos anteriores derivan en un bajo nivel de servicio causando escasa libertad de maniobra a los conductores.
- Bajas velocidades de operación.

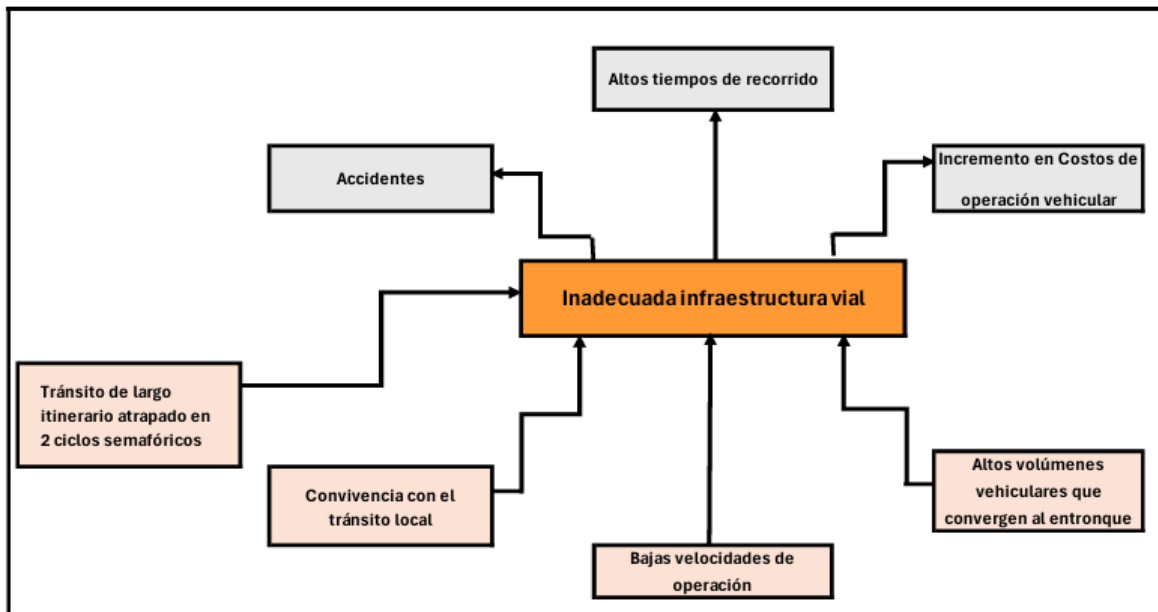


Imagen 8. Árbol de problemas Entronque Santa Ana. Fuente: Elaboración propia.

El árbol de problemas elaborado revela que las causas principales de la problemática son la del tránsito de largo itinerario con el tránsito local, las bajas velocidades de operación el hecho de que el tránsito de largo itinerario se quede atrapado en 2 ciclos semafóricos y el crecimiento del tránsito vehicular. En la parte superior del árbol se identifican los efectos de esta situación, que incluyen un mayor número de accidentes, altos costos de operación vehicular y tiempos de recorrido más prolongados, lo que incrementa los costos generalizados de viaje (CGV).

En el nivel central del árbol se observa que la problemática principal radica en que la vía de comunicación no cuenta con las adecuadas para el tipo y volumen de tránsito que circula por ella. Esto se debe a que, además del tránsito local, la carretera soporta un tránsito regional de largo alcance, el cual exige mayores velocidades para reducir los tiempos de desplazamiento hacia los destinos.

Con el propósito de contribuir a la integración nacional y al fortalecimiento de la economía regional, se busca mejorar la infraestructura de transporte y fomentar la articulación de las cadenas productivas. En este contexto, el Gobierno Federal, en coordinación con el Gobierno del Estado de Tlaxcala, identificó este proyecto con el objetivo de ofrecer a los usuarios de largo y mediano itinerario mejores condiciones de operación. Esto permitirá un tránsito más fluido, con velocidades óptimas y disminuyendo los costos generalizados de viaje.

Para conocer de manera específica las características de la red de análisis, se hizo necesario dividirla por tramos, y obtener así los resultados por trayectos con características semejantes. Los criterios para la tramificación se basaron en las diferencias físicas del terreno y en las características operativas de la infraestructura existente, así como en la localización de entronques, accesos y salidas, de la red. Para tal fin se analizaron las siguientes características de las vialidades:

Características físicas y geométricas del tramo

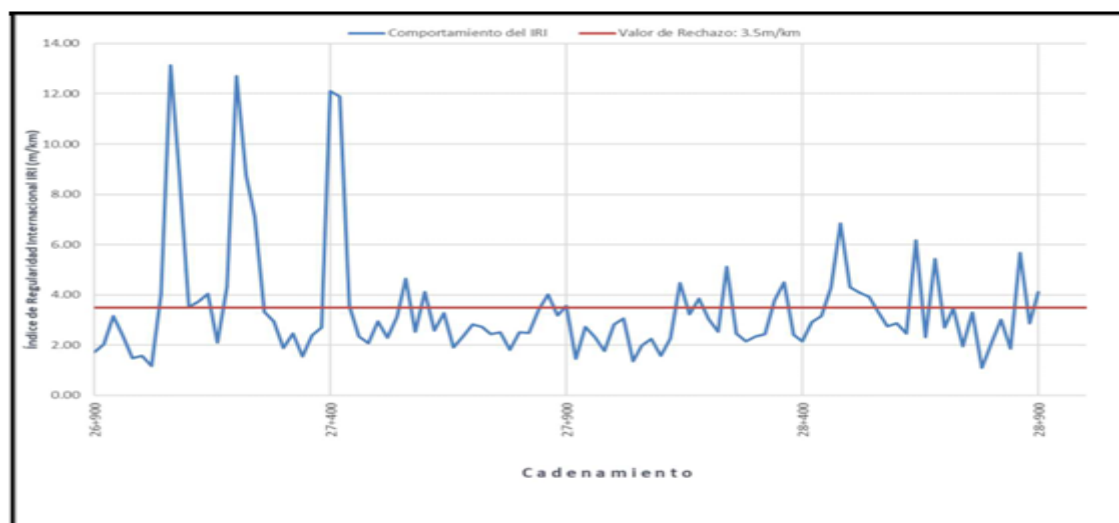
- Número de carriles,
- Ancho de sección,
- Tipo de terreno

Tipo de vialidad

- Carretera,
- Autopista,
- Vialidad urbana

Demanda

- TPDA
- Composición
- “El Índice Internacional constituye una medida de la rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino, con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto, una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida y el Índice Internacional de Rugosidad puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud de este, su unidad de medida es m/km”



Grafica 1. IRI por tramo, Puebla - Belem

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGST de SCT.

Tal como se puede observar en la figura anterior el IRI de las ramas que integran el entronque en un buen porcentaje superan el valor de rechazo que es 2.5 m/Km lo que implica que el estado superficial del tramo es “No Satisfactorio”, siendo su valor promedio va del 3.7 al 4.16 m/Km. Este valor indica la necesidad de una intervención al pavimento a fin de

mejorarlo, pues su estado actual provoca incrementos en los costos de operación vehicular de los usuarios que circulan por el tramo.

La velocidad de operación se estimó mediante método del vehículo flotante, para lo cual las distancias de recorrido se midieron mediante odómetro de alta precisión y se determinaron los tiempos de recorrido promedio.

El método del vehículo flotante es ampliamente utilizado en estudios de ingeniería de tránsito para evaluar el comportamiento de los conductores y las condiciones operativas de las vías y consiste en usar un vehículo que se desplaza por la vía en estudio, tratando de mantener una posición representativa dentro del flujo vehicular, sin adelantarse ni quedarse demasiado rezagado respecto al resto de los vehículos.

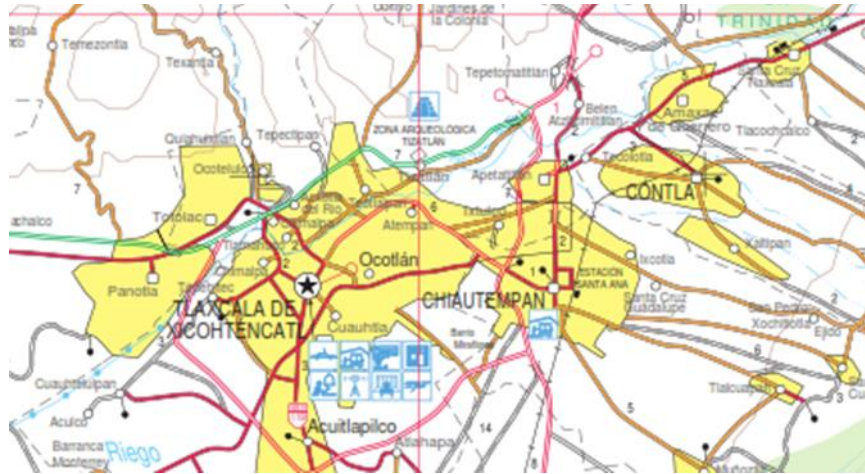
Tabla 3. Velocidad de operación situación actual

Movimiento direccional	Velocidad Con congestión	Velocidad Sin congestión
Vueltas Derechas	36	49
Santa Ana-Ixtulco de Frente	57	64
Puebla-Apizaco-Laterales frente	36	49
Puebla-Apizaco Centrales de frente	49	53
Vueltas Izquierdas	33	39
Retornos	27	37

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II PROCESO RESOLUTIVO DEL PROYECTO

Estudio de mecánica de suelos



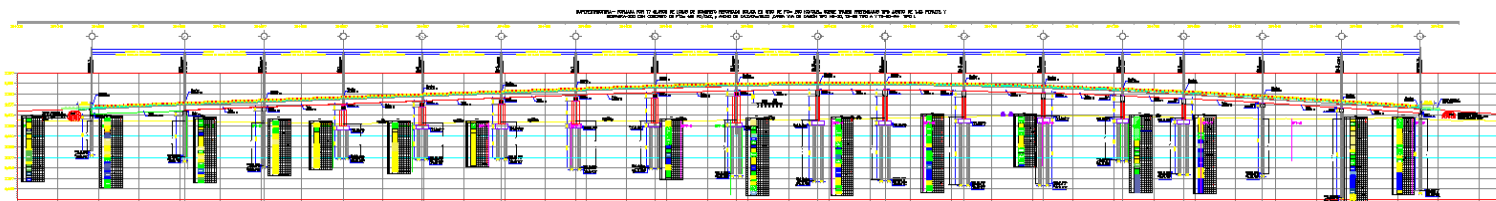
Imag. 9 Croquis de ubicación red de carreteras



Imag. 10 Ortofoto del sitio

Descripción del proyecto

Se construirá un viaducto con una súper-estructura formada por 18 claros, sobre losas de concreto reforzado de 20 cm de espesor sobre traveses pretensados tipo AASHTO VI y Nebraska-220 de 1.83 y 2.20 m de peralte respectivamente, ancho de calzada de 18.00 m. La subestructura será apoyada mediante cimentación profunda a base de pilotes de 1.20 m y 1.50 m de diámetro.



Imag. 11 Corte en elevación viaducto Santa Ana

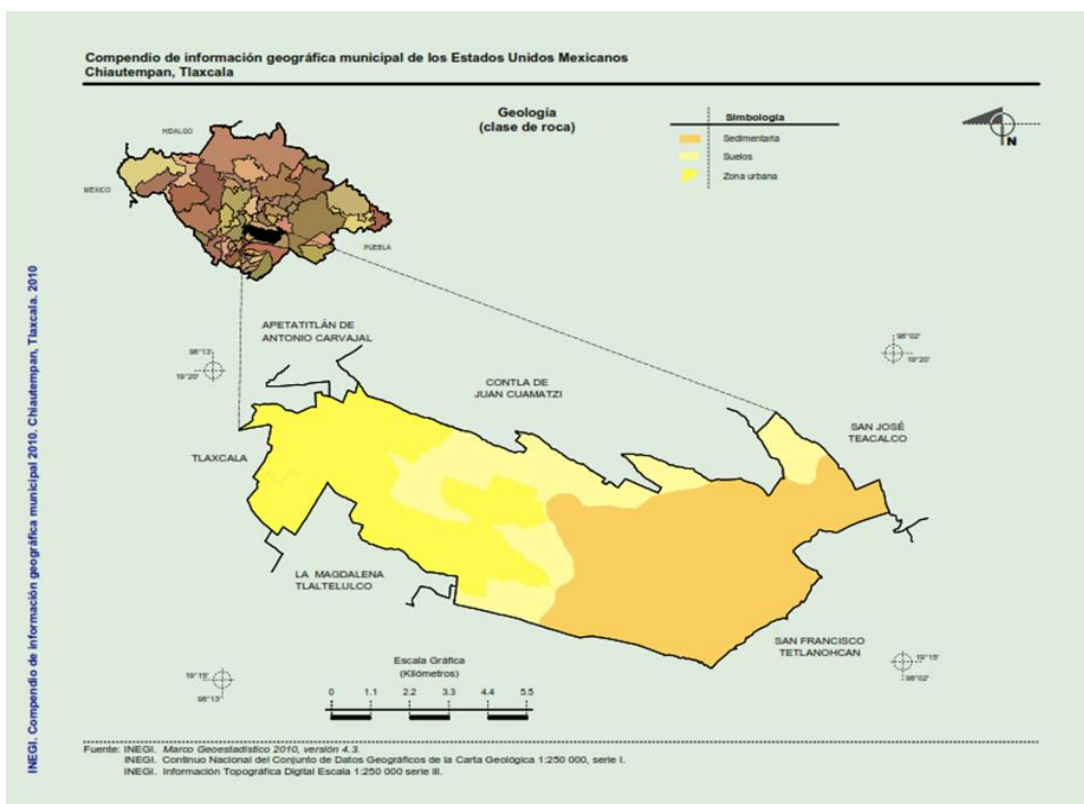
Antecedentes geohidrológicos

La obra se encuentra dentro del municipio de Santa Ana Chiautempan, el cual se ubica en el Altiplano central mexicano a 2 300 metros sobre el nivel del mar, el municipio de Santa Ana Chiautempan se sitúa en un eje de coordenadas geográficas entre los 19 grados 15 minutos latitud norte y 98 grados 12 minutos longitud oeste.

Localizado en la parte central del estado de Tlaxcala, el municipio de santa Ana Chiautempan colinda al norte con los municipios de Apetatitlán de Antonio Carvajal, Contla de Juan Cuamatzi y San Jose Teacalco, al este con los municipios de San Jose Teacalco y San Francisco Tetlanohacan, al sur San Francisco Tetlanohacan, la Magdalena Tlatelulco, al oeste con los municipios de La Magdalena Tlatelulco y Tlaxcala.

Geología:

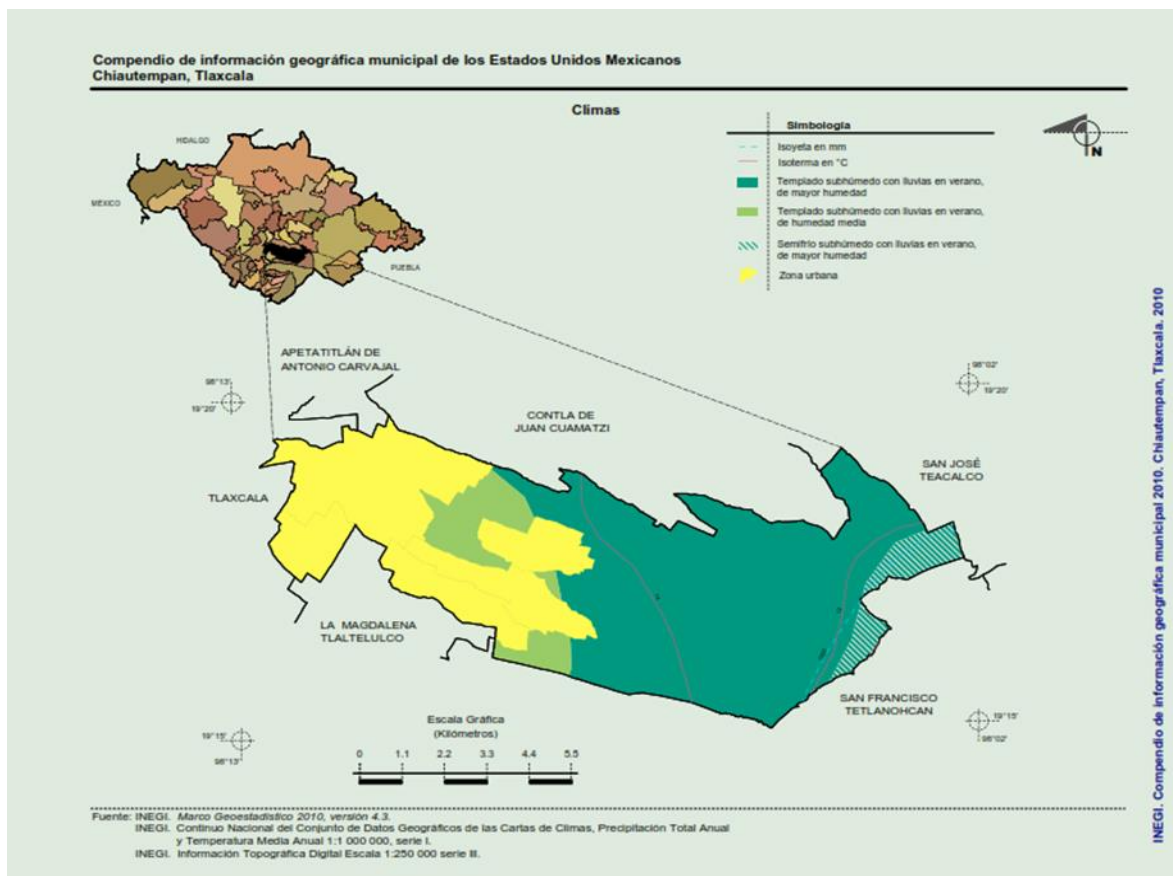
La geología del municipio pertenece al periodo Neógeno (44.99%) y Cuaternario (22.59%) Sedimentaria: brecha sedimentaria (44.99%) Suelo: aluvial (22.59%)



Imag. 12 Geología

Clima

En la mayor parte del municipio predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Igualmente, la temperatura promedio máxima anual es de 24.3 grados centígrados y la mínima de 7.2 grados centígrados. La precipitación promedio mínima registrada es de 6.3 milímetros, y la máxima de 165.0 milímetros.



Imag. 13 clima

El presente capítulo describe el proceso resolutivo del proyecto del distribuidor Santa Ana, detallando las actividades constructivas, procedimientos técnicos y métodos empleados para la ejecución de cada una de las etapas que conforman la obra. A través de este desarrollo se busca mostrar la secuencia lógica y técnica que permitió materializar la infraestructura, garantizando su funcionalidad estructural, seguridad y durabilidad.

Hidrografía

Los recursos hidrológicos son pocos, existen arroyos de caudal permanente como lo son el río Atoyac y el río Zahuapan, que pertenecen a la región hidrológica del Balsas. En temporada de lluvias solo aparecen tres manantiales y pozos para la extracción de agua potable y riego.

Hidrografía	Región hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Corrientes de agua	Cuerpos de agua
	Balsas (100%)	R. Atoyac (100%)	R. Zahuapan (100%)	Intermitentes	No disponible

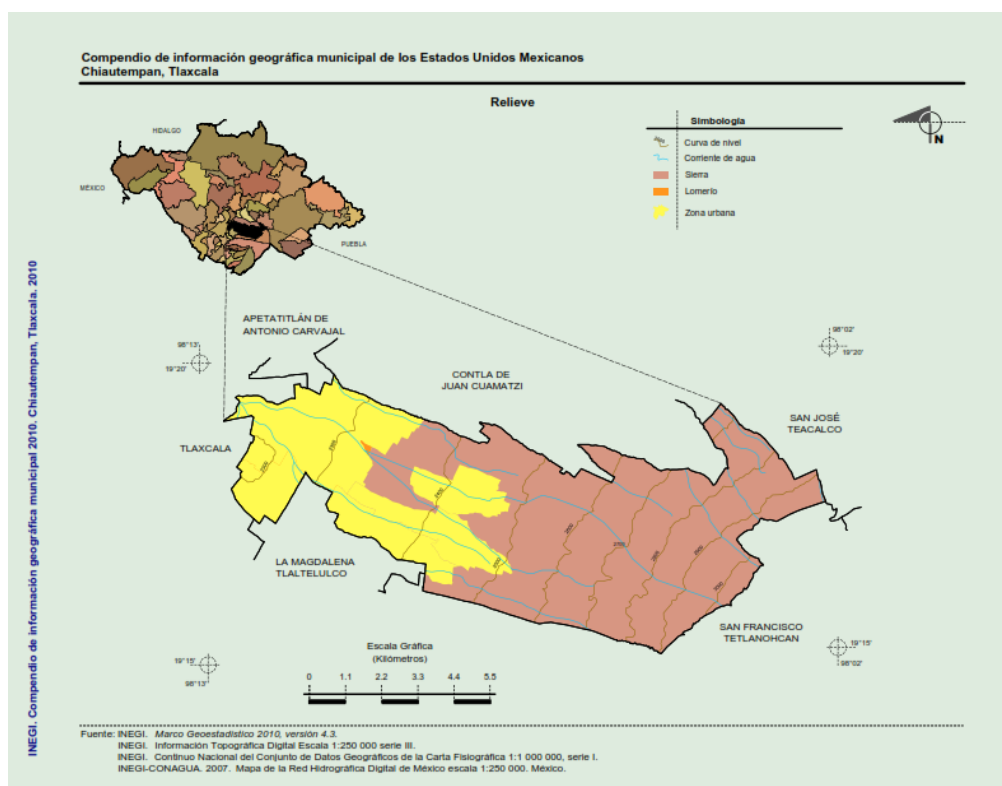
Imag. 14 Hidrografía

Fisiografía

El relieve está distribuido en zonas planas, que abarcan el 65.0 por ciento de la superficie. Zonas semiplanas, que integran el 25.0 por ciento de la superficie total. Zonas accidentadas, que comprenden el 10.0 por ciento restante de la superficie, localizadas en la parte oriente y en cañadas.

Fisiografía	Provincia	Subprovincia	Sistemas de topoformas
	Eje Neovolcánico (100%)	Lagos y Volcanes de Anáhuac (100%)	Sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (63.38%), Lomerio de tobas (14.30%) y Llanura aluvial con lomerio de piso rocoso o cementado (2.32%)

Imag. 15 Fisiografía



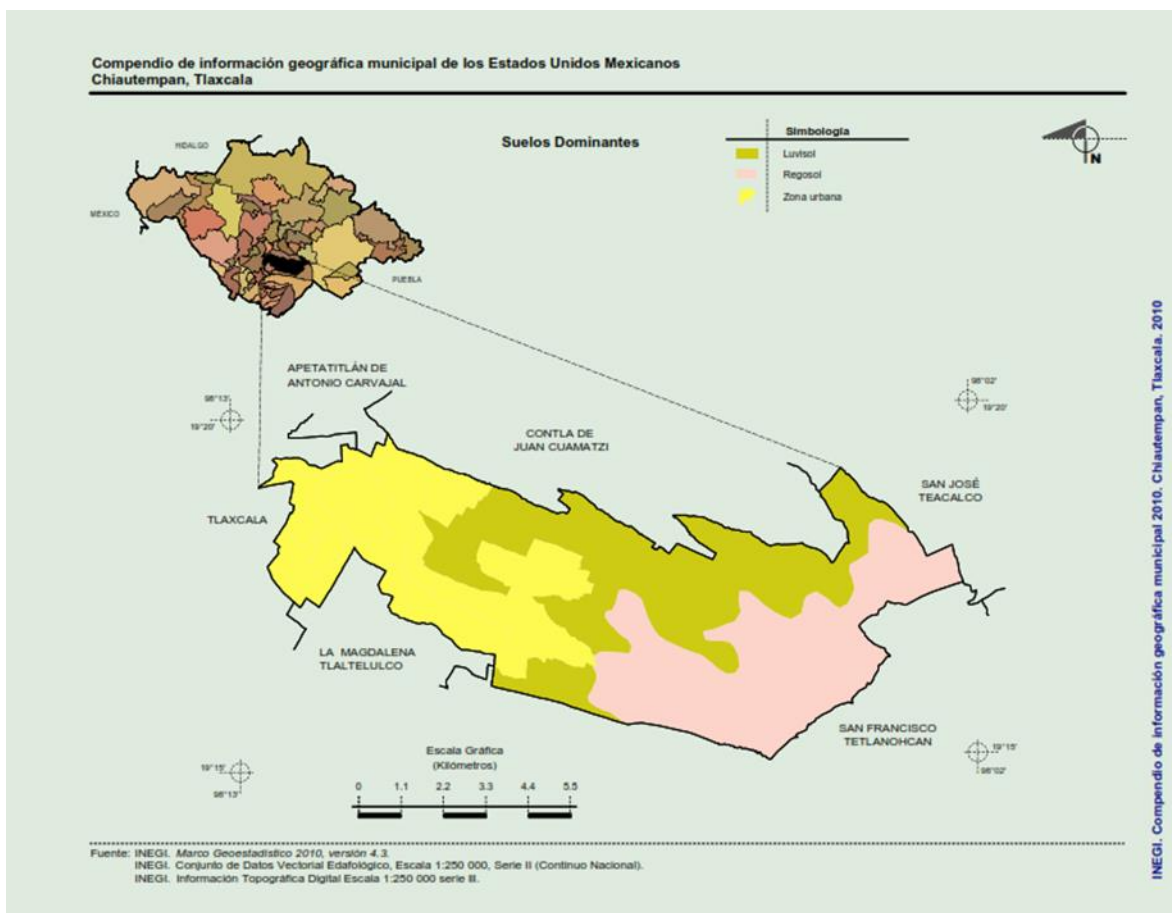
Imag. 16 fuente: INEGI

Edafología

En la mayoría de la superficie se encuentran el tipo de suelo luvisol (35.57%) y regosol(32.01%).

Edafología	Suelo dominante
	Luvisol (35.57%) y Regosol (32.01%)

Imag. 17 Edafología



Imag. 18 Edafología, fuente; INEGI

Descripción estratigráfica

Las muestras obtenidas en los sondeos se transportaron al laboratorio para su análisis realizando los siguientes ensayos:

- Identificación visual y al tacto
- Contenido natural de agua
- Separación por tamaño de partículas (granulometría)
- Límites de consistencia

De lo valores obtenidos de las pruebas ya mencionadas, como también así de las correlaciones que existen en la literatura técnica en donde se emplea el número de golpes que se necesita para que las medias cañas se hinquen en el suelo 30 cm en la prueba de penetración estándar realizaremos el diseño geotécnico de la cimentación.

Estudio de cimentación

Datos de la obra

Tipo de obra	Viaducto
Camino	Puebla-Belén
Tramo	Tlaxcala-Belén
Localización	28+800 – 30+180 Origen: Tlaxcala

Exploración y muestreo

Se realizaron 19 sondeos profundos con recuperación de muestras mediante prueba de penetración estándar y se denominaron, SPT-1, SPT-2, SPT-3, SPT-4, SPT-5, SPT-6, SPT-7, SPT-8, SPT-9 y SPT-10, SPT-A, SPT-B, SPT-C, SPT-D, SPT-E, SPT-F, SPT-G, SPT-H, SPT-I; Los cuales se llevaron a cabo a una profundidad variada descrita a continuación.

Tipo de muestras

Las muestras se obtuvieron con tubo partido (TP)

Pruebas de laboratorio efectuadas

Humedad natural	(x)	Compresión simple	()
Límites de plasticidad	(x)	Compresión triaxial rápida	()
Granulometría por mallas	(x)	Compresión triaxial rápida consolidada	()
Porcentaje de finos	(x)	Compresión triaxial lenta	()
Peso específico relativo	()	Compresión unidimensional	()
Peso volumétrico en estado natural	()	resistencia al corte con torcómetro de bolsillo	()

ESTRATIGRAFÍA Y TIPO DE FORMACIÓN

Sondeo penetración estándar número uno (SPT-1)

El sondeo SPT-1 del Viaducto Santa Ana se realizó a una distancia de 17.74 m en el lado derecho de la Carretera: Puebla-Belén, a la altura del km 29+452.28 a una profundidad de 20.4 metros.

Se encontraron tres (3) unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD de 0.00-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 25.27%, un límite líquido de 36.78%, un límite plástico de 21.55%, e índice plástico de 15.23%.

Unidad 2.-SC ARENA ARCILLOSA de 3.00-4.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 17.92%, un límite líquido de 29.11%, un límite plástico de 20.90%, e índice plástico de 8.21%.

Unidad 3.- SM ARENA LIMOSA de 4.20-20.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 14.62-27.98%, un límite líquido de entre 24.09-28.45%, un límite plástico de entre 22.81-25.86%, e índice plástico de entre 1.28-2.64%.

Sondeo penetración estándar numero dos (SPT-2)

El sondeo SPT-2 del Viaducto Santa Ana se realizó a una distancia de 11.96 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+492.80 a una profundidad de 20.35 metros.

Se encontraron nueve unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD de 0.00-3.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 28.90%, un límite líquido de 31.26%, un límite plástico de 18.80%, e índice plástico de 12.46%.

Unidad 2.-SM ARENA LIMOSA de 3.60-5.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 17.94%, un límite líquido de 27.34%, un límite plástico de 25.40%, e índice plástico de 1.95%.

Unidad 3.- CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD de 5.40-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.00%, un límite líquido de 33.45%, un límite plástico de 20.17%, e índice plástico de 13.28%.

Unidad 4.-SM ARENA LIMOSA de 7.20-8.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 16.27%, un límite líquido de 21.95%, un límite plástico de 21.34%, e índice plástico de 0.61%.

Unidad 5.- SC ARENA ARCILLOSA de 8.40-11.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.32%, un límite líquido de 34.96%, un límite plástico de 21.24%, e índice plástico de 13.72%.

Unidad 6.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 11.40- 13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 51.90%, un límite líquido de 67.14%, un límite plástico de 35.71%, e índice plástico de 31.43%.

Unidad 7.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 13.20-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 42.43-55.35%, un límite líquido de entre 53.21-123.27%, un límite plástico de entre 32.51-56.72%, e índice plástico de entre 20.70-66.55%.

Unidad 8.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 17.40-19.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 22.85%, un límite líquido de 38.74%, un límite plástico de 24.18%, e índice plástico de 14.57%.

Unidad 9.- CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 19.20-20.35 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.01%, un límite líquido de 28.18%, un límite plástico de 20.15%, e índice plástico de 8.03%.

Sondeo penetración estándar número tres (SPT-3)

El sondeo SPT- 3 del Viaducto se realizó a una distancia de 14.78 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+546.94 a una profundidad de 27.00 metros.

Se encontraron nueve unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SM ARENA LIMOSA de 0.00-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 13.31%, un límite líquido de 26.08%, un límite plástico de 24.04%, e índice plástico de 2.04%

Unidad 2.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD con arena que va de 3.00-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 34.39-24.47%, un límite líquido de entre 35.54-39.37%, un límite plástico de entre 21.43-22.61%, e índice plástico de entre 14.11-16.76%.

Unidad 3.-CL ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 7.20-11.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 31.48-32.88%, un límite líquido de entre 33.50-38.98%, un límite plástico de entre 22.45-24.89%, e índice plástico de entre 11.05-14.09%.

Unidad 4.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 11.40-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 117.80%, un límite líquido de 106.71%, un límite plástico de 50.00%, e índice plástico de 56.71%.

Unidad 5.- MI LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 13.20-15.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.73%, un límite líquido de 31.99%, un límite plástico de 27.63%, e índice plástico de 4.36%.

Unidad 6.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 15.00-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.33%, un límite líquido de 51.49%, un límite plástico de 34.62%, e índice plástico de 16.87%.

Unidad 7.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 17.40-20.72 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 74.65-83.95%, un límite líquido de entre 113.98-157.99%, un límite plástico de entre 68.52-75.00%, e índice plástico de entre 45.46-82.99%.

Unidad 8.- SM ARENA LIMOSA que va de 20.72-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 22.15%, un límite líquido de 26.51%, un límite plástico de 24.84%, e índice plástico de 1.68%.

Unidad 9.- MI LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 23.40-27.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 27.88-35.27%, un límite líquido de entre 37.29-43.54%, un límite plástico de entre 27.68-36.97 %, e índice plástico de entre 6.57-9.61 %.

Sondeo penetración estándar número cuatro (spt-4)

El sondeo SPT-4 del Viaducto se realizó a una distancia de 4.64 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+621.35 a una profundidad de 35.12 metros.

Se encontraron trece unidades estratigráficas de acuerdo a la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.- MI LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 14.82-15.12%, un límite líquido de entre 34.24-36.34%, un límite plástico de 26.56-26.83%, e índice plástico de entre 7.68-9.51%.

Unidad 2.- CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 4.80-8.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 15.12-21.63%, un límite líquido de entre 35.10-37.53%, un límite plástico de entre 22.76-22.83%, e índice plástico de entre 12.34-14.71%.

Unidad 3.- SM ARENA LIMOSA que va de 8.40-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 35.61%, un límite líquido de 26.95%, un límite plástico de 23.23%, e índice plástico de 3.72%.

Unidad 4.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 10.80-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 29.44%, un límite líquido de 39.42%, un límite plástico de 25.26%, e índice plástico de 14.16 %.

Unidad 5.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 13.20-14.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 38.78%, un límite líquido de 68.31%, un límite plástico de 45.35%, e índice plástico de 22.96 %.

Unidad 6.-ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 14.40-16.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 29.58%, un límite líquido de 32.20%, un límite plástico de 29.71%, e índice plástico de 2.49 %.

Unidad 7.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 16.80-19.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 52.48%, un límite líquido de 59.19%, un límite plástico de 32.61%, e índice plástico de 26.58 %.

Unidad 8.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 19.20-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 55.41%, un límite líquido de 44.36%, un límite plástico de 25.00%, e índice plástico de 19.36 %.

Unidad 9.-SM ARENA LIMOSA que va de 21.00-22.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 149.93%, un límite líquido de 117.17%, un límite plástico de 60.47%, e índice plástico de 56.71%.

Unidad 10.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 22.80-27.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 120.38-166.80 %, un límite líquido de entre 114.67-142.23%, un límite plástico de entre 64.52-95.83 %, e índice plástico de 46.40-51.34 %.

Unidad 11.-SM ARENA LIMOSA que va de 27.60-31.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.90%, un límite líquido de 34.58%, un límite plástico de 30.57%, e índice plástico de 4.01 %.

Unidad 12.-ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 31.20-34.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 31.58-33.49%, un límite líquido de entre 37.27-45.23%, un límite plástico de entre 29.96-33.33%, e índice plástico de entre 7.31-11.89 %.

Sondeo penetración estándar número cinco (spt-5)

El sondeo SPT-5 del Viaducto se realizó a una distancia de 4.00 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+666.48 a una profundidad de 35.23 metros.

Se encontraron trece unidades estratigráficas de acuerdo a la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-5.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 19.24-24.32%, un límite líquido de entre 27.94-40.67%, un límite plástico de entre 24.18-35.53%, e índice plástico de entre 3.75-5.15 %.

Unidad 2.-CL ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 5.40-6.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.35%, un límite líquido de 38.85%, un límite plástico de 23.89%, e índice plástico de 14.95 %.

Unidad 3.-ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 6.60-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 22.39-22.57%, un límite líquido de entre 27.77-36.18%, un límite plástico de entre 23.38-27.19%, e índice plástico de entre 4.39-8.99 %.

Unidad 4.-ML LIMO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 10.80-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 38.59%, un límite líquido de 45.20%, un límite plástico de 29.81%, e índice plástico de 12.69 %.

Unidad 5.-SM ARENA LIMOSA que va de 13.20-15.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 73.98%, un límite líquido de 26.22 %, un límite plástico de 23.01%, e índice plástico de 3.21 %.

Unidad 6.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 15.00-16.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 69.95%, un límite líquido de 75.08%, un límite plástico de 38.64%, e índice plástico de 36.44 %.

Unidad 7.-ML LIMO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 16.20-18.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.64%, un límite líquido de 28.10%, un límite plástico de 23.70%, e índice plástico de 4.40 %.

Unidad 8.-ML LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 18.60-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 36.08%, un límite líquido de 47.73%, un límite plástico de 29.07%, e índice plástico de 18.66 %.

Unidad 9.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 21.00-22.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 50.18%, un límite líquido de 58.28%, un límite plástico de 38.54%, e índice plástico de 19.73 %.

Unidad 10.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 22.80-25.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 56.33%, un límite líquido de 93.95 %, un límite plástico de 47.86%, e índice plástico de 46.09 %.

Unidad 11.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 25.20-30.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 98.08-104.44%, un límite líquido de entre 139.09-173.51%, un límite plástico de entre 77.27-110.00 %, e índice plástico de entre 60.82-63.51 %.

Unidad 12.-SM ARENA LIMOSA que va de 30.60-33.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 32.25%, un límite líquido de 33.80%, un límite plástico de 24.93%, e índice plástico de 8.86 %.

Unidad 13.-ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 33.00-35.23 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 32.96% un límite líquido de 38.14 %, un límite plástico de 26.61%, e índice plástico de 11.54 %.

Sondeo penetración estándar número seis (spt-6)

El sondeo SPT-6 del Viaducto se realizó a una distancia de 3.82 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén a la altura del km 29+725.00 a una profundidad de 23.40 metros.

Se encontraron nueve unidades estratigráficas de acuerdo a la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 18.78%, un límite líquido de 32.12 %, un límite plástico de 17.29%, e índice plástico de 14.83 %.

Unidad 2.-SC ARENA ARCILLOSA que va de 3.00-5.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.96 %, un límite líquido de 36.85%, un límite plástico de 20.28%, e índice plástico de 16.57 %.

Unidad 3.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 5.40-9.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 28.32-29.51 %, un límite líquido de entre 31.34-34.93 %, un límite plástico de entre 19.21-20.93 %, e índice plástico de entre 12.13-14.00 %.

Unidad 4.-SC ARENA ARCILLOSA que va de 9.00-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 28.86-33.42 %, un límite líquido de entre 26.11-35.73%, un límite plástico de entre 17.92-20.99 %, e índice plástico de entre 8.19-14.74 %.

Unidad 5.-SM ARENA LIMOSA que va de 13.20-15.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 45.25 %, un límite líquido de 39.06%, un límite plástico de 35.37%, e índice plástico de 3.69 %.

Unidad 6.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 15.00-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 37.85-41.12 %, un límite líquido de entre 31.74-35.02%, un límite plástico de entre 20.26-21.95%, e índice plástico de entre 9.79-14.76%.

Unidad 7.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 17.40-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 54.12 %, un límite líquido de 40.50%, un límite plástico de 20.92%, e índice plástico de 19.58 %.

Unidad 8.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 21.00-22.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 34.41 %, un límite líquido de 41.70%, un límite plástico de 29.21%, e índice plástico de 12.49 %.

Unidad 9.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 22.80-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 53.16 %, un límite líquido de 53.23%, un límite plástico de 30.87%, e índice plástico de 22.35 %.

Sondeo penetracion estandar numero siete (spt-7)

El sondeo SPT-7 del Viaducto se realizó a una distancia de 0.49 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+803.03 a una profundidad de 35.40 metros.

Se encontraron once unidades estratigráficas de acuerdo a la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SM ARENA LIMOSA que va de 0.00-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 21.59 %, un límite líquido de 34.39%, un límite plástico de 25.71%, e índice plástico de 8.68 %.

Unidad 2.-SC ARENA LIMOSA que va de 3.00-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 23.23-26.48 %, un límite líquido de entre 32.74-35.64 %, un límite plástico de entre 22.27-22.81%, e índice plástico de entre 10.46-12.83 %.

Unidad 3.ML LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 7.20-9.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 25.92 %, un límite líquido de 22.57%, un límite plástico de 21.88%, e índice plástico de 0.69 %.

Unidad 4.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 9.00-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 36.33%, un límite líquido de 35.75 %, un límite plástico de 23.26 %, e índice plástico de 12.50 %.

Unidad 5.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 10.80-12.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 39.37 %, un límite líquido de 58.49%, un límite plástico de 32.60%, e índice plástico de 25.89 %.

Unidad 6.-MH-LIMO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 12.60-15.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.37 %, un límite líquido de 72.26 %, un límite plástico de 39.37%, e índice plástico de 32.90 %.

Unidad 7.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 15.00-16.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 34.16 %, un límite líquido de 52.11%, un límite plástico de 30.23%, e índice plástico de 21.88 %.

Unidad 8.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 16.80-19.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 99.35 %, un límite líquido de 76.12%, un límite plástico de 38.60%, e índice plástico de 37.53 %.

Unidad 9.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 19.20-24.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 47.15-77.87 %, un límite líquido de entre 63.03-101.24%, un límite plástico de entre 33.54-58.39%, e índice plástico de entre 24.86-42.85%.

Unidad 10.-SM-ARENA LIMOSA que va de 24.00-28.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 29.67-106.85 %, un límite líquido de entre 33.45-149.67 %, un límite plástico de entre 32.08-74.00 %, e índice plástico de entre 1.37-75.67 %.

Unidad 11.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 28.80-35.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 126.09-133.91 %, un límite líquido de entre 128.89-174.60 %, un límite plástico de entre 82.23-117.78%, e índice plástico de entre 46.06-56.95 %.

Sondeo penetracion estandar numero ocho (spt-8)

El sondeo SPT-8 del Viaducto se realizó a una distancia de 2.62 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+847.62 a una profundidad de 19.80 metros.

Se encontraron ocho unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 0.00-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad que va de 11.07-17.77 %, un límite líquido de entre 25.57-27.36 %, un límite plástico de 24.16 a 23.09 %, e índice plástico de entre 2.48-3.99 %.

Unidad 2.-SM-ARENA LIMOSA que va de 7.20-9.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.98 %, un límite líquido de 26.67 %, un límite plástico de 23.79 %, e índice plástico de 2.87 %.

Unidad 3.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 9.00-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 29.92 %, un límite líquido de 27.03 %, un límite plástico de 16.20 %, e índice plástico de 10.83 %.

Unidad 4.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 10.80-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 30.27 %, un límite líquido de 21.29%, un límite plástico de 20.87 %, e índice plástico de 0.41 %.

Unidad 5.-SM-ARENA LIMOSA que va de 13.20-13.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.47 %, un límite líquido de 25.87 %, un límite plástico de 23.02 %, e índice plástico de 2.85%.

Unidad 6.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 13.80-16.95 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 34.80 %, un límite líquido de 26.80%, un límite plástico de 23.45 %, e índice plástico de 3.35 %.

Unidad 7.-SM-ARENA LIMOSA que va de 16.95-18.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.88 %, un límite líquido de 31.34 %, un límite plástico de 25.51 %, e índice plástico de 5.83%.

Unidad 8.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 18.60-19.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 41.78 %, un límite líquido de 33.80 %, un límite plástico de 21.43 %, e índice plástico de 12.37%.

Sondeo penetración estándar número nueve (spt-9)

El sondeo SPT-9 del Viaducto se realizó a una distancia de 4.83 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén a la altura del km 29+907.29 a una profundidad de 35.40 metros.

Se encontraron diez unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 19.21-27.59 %, un límite líquido de entre 27.33-30.53 %, un límite plástico de entre 19.55-19.82 %, e índice plástico de entre 7.78-10.71%.

Unidad 2.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 4.80-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 13.90 %, un límite líquido de 26.02 %, un límite plástico de 23.22 %, e índice plástico de 2.79%.

Unidad 3.-SM-ARENA LIMOSA que va de 7.20-12.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 14.68-27.32 %, un límite líquido de entre 24.47-26.55%, un límite plástico de entre 22.60-23.14%, e índice plástico de entre 1.87-3.41%.

Unidad 4.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 12.60-15.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 37.35 %, un límite líquido de 25.65 %, un límite plástico de 23.58 %, e índice plástico de 2.08 %.

Unidad 5.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 15.00-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 38.01 %, un límite líquido de 25.91 %, un límite plástico de 23.02 %, e índice plástico de 2.89%.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA que va de 17.40-19.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.60%, un límite líquido de 25.97 %, un límite plástico de 22.95%, e índice plástico de 3.02%.

Unidad 7.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 19.20-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.89 %, un límite líquido de 30.22 %, un límite plástico de 24.32 %, e índice plástico de 5.90%.

Unidad 8.-SM-ARENA LIMOSA que va de 21.00-25.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 18.44-29.18 %, un límite líquido de entre 23.81-26.72 %, un límite plástico de entre 22.46-23.15 %, e índice plástico de entre 1.35- 3.57 %.

Unidad 9.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 25.80-33.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 102.64-113.66 %, un límite líquido de entre 116.48-162.70%, un límite plástico de entre 75.00-85.19 %, e índice plástico de entre 19.65-43.12%.

Unidad 10.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 33.60-35.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.64 %, un límite líquido de 31.69 %, un límite plástico de 22.62 %, e índice plástico de 9.07%.

Sondeo penetración estándar número diez (spt-10)

El sondeo SPT-10 del Viaducto se realizó a una distancia de 0.40 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+968.92 a una profundidad de 21.00 metros.

Se encontraron seis unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SM-ARENA LIMOSA que va de 0.00-1.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 17.92 %, un límite líquido de 30.30 %, un límite plástico de 24.77 %, e índice plástico de 5.53 %.

Unidad 2.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 1.80-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de 20.23 %, un límite líquido de 36.60 %, un límite plástico de 26.35 %, e índice plástico de 10.25%.

Unidad 3.-SM-ARENA LIMOSA que va de 3.00-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 15.19-18.42 %, un límite líquido de entre 25.43-26.51 %, un límite plástico de entre 24.09-23.57 %, e índice plástico de entre 1.86- 2.45 %.

Unidad 5.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 10.80-12.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 41.82%, un límite líquido de 46.08 %, un límite plástico de 38.62 %, e índice plástico de 7.46 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA que va de 12.60-19.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 18.72-34.58 %, un límite líquido de entre 25.52-26.45 %, un límite plástico de entre 22.89-23.43 %, e índice plástico de entre 2.22- 3.56 %.

Unidad 7.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 19.80-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 28.51 %, un límite líquido de 25.93 %, un límite plástico de 23.13 %, e índice plástico de entre 2.80 %.

Sondeo penetración estándar número once (spt-a)

El sondeo SPT-A del Viaducto se realizó a una distancia de 16.99 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+222.51 a una profundidad de 30.00 metros.

Se encontraron catorce unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

unidad 1.-cl arcilla arenosa de baja plasticidad que va de 0.00-1.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.90 %, un límite líquido de 36.46 %, un límite plástico de 22.41 %, e índice plástico de 14.04%.

Unidad 2.-SM-ARENA LIMOSA que va de 1.80-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 15.83- 27.08 %, un límite líquido de 26.38 %, un límite plástico de entre 23.23-24.22 %, e índice plástico de entre 2.17-3.15%.

Unidad 3.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 4.80-6.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 55.15 %, un límite líquido de 64.94 %, un límite plástico de 46.67 %, e índice plástico de 18.27%.

Unidad 4.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 6.00-7.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 21.51 %, un límite líquido de 27.61 %, un límite plástico de 17.26 %, e índice plástico de 10.35%.

Unidad 5.-SM-ARENA LIMOSA que va de 7.20-9.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 25.68 %, un límite líquido de 25.55 %, un límite plástico de 23.08 %, e índice plástico de 2.47 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 9.60-14.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 13.05-14.04%, un límite líquido de entre 22.72-23.48 %, un límite plástico de entre 21.98-22.13 %, e índice plástico de entre 0.58-1.50 %.

Unidad 7.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 14.40-15.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.43 %, un límite líquido de entre 30.17 %, un límite plástico de 18.85 %, e índice plástico de 11.33 %.

Unidad 8.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 15.60-20.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 21.83-40.09 %, un límite líquido de entre 26.57-38.22 %, un límite plástico de entre 23.24-25.91 %, e índice plástico de entre 3.33-12.31 %.

Unidad 9.-SM-ARENA LIMOSA que va de 20.40-21.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 38.85 %, un límite líquido de entre 28.77 %, un límite plástico de 24.02 %, e índice plástico de 4.75 %.

Unidad 10.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 21.60-22.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 25.15 %, un límite líquido de entre 28.04 %, un límite plástico de 23.39 %, e índice plástico de 4.64 %.

Unidad 11.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 22.80-25.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 12.41-24.92 %, un límite líquido de entre 34.02-36.16 %, un límite plástico de entre 21.70-22.73 %, e índice plástico de entre 12.32-13.43 %.

Unidad 12.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 25.20-27.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 40.96 %, un límite líquido de entre 52.42 %, un límite plástico de 35.53 %, e índice plástico de 16.89 %.

Unidad 13.-MH-LIMO ARENOSO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 27.00-28.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.71 %, un límite líquido de entre 53.09 %, un límite plástico de 34.56 %, e índice plástico de 18.53 %.

Unidad 13.-ML-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 28.20-30.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.50 %, un límite líquido de entre 54.11 %, un límite plástico de 32.68 %, e índice plástico de 21.43 %.

Sondeo penetración estándar número doce (spt-b)

El sondeo SPT-B del Viaducto se realizó a una distancia de 18.00 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+261.28 a una profundidad de 33.00 metros.

Se encontraron dieciocho unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-1.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.55 %, un límite líquido de 40.25 %, un límite plástico de 21.59 %, e índice plástico de 18.66%.

Unidad 2.-SC-ARENA ARCILLOSA CON GRAVA que va de 1.80-3.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 18.99 %, un límite líquido de 39.94 %, un límite plástico de 20.25 %, e índice plástico de 19.69%.

Unidad 3.-SM-ARENA LIMOSA que va de 3.60-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.66 %, un límite líquido de 31.94 %, un límite plástico de 23.53 %, e índice plástico de 8.41 %.

Unidad 4.-GC-GRAVA ARCILLOSA CON ARENA que va de 4.80-6.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 9.12 %, un límite líquido de 39.50 %, un límite plástico de 21.72 %, e índice plástico de 17.77 %.

Unidad 5.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON GRAVA Y ARENA que va de 6.60-7.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 130.32 %, un límite líquido de 79.05 %, un límite plástico de 43.42 %, e índice plástico de 35.63 %.

Unidad 6.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 7.80-9.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 89.63 %, un límite líquido de 79.25 %, un límite plástico de 43.69 %, e índice plástico de 35.56 %.

Unidad 7.-SC-ARENA ARCILLOSA CON GRAVA que va de 9.60-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 28.14 %, un límite líquido de 30.97 %, un límite plástico de 17.80 %, e índice plástico de 13.17 %.

Unidad 8.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 10.80-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 14.73 %, un límite líquido de 25.87 %, un límite plástico de 23.58 %, e índice plástico de 2.30 %.

Unidad 9.-SM-ARENA que va de 13.20-15.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 12.72- 15.09 %, un límite líquido de entre 22.55- 26.22 %, un límite plástico de entre 21.90-23.17 %, e índice plástico de entre 0.65-3.05 %.

Unidad 10.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 15.60-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 19.98 %, un límite líquido de 23.01 %, un límite plástico de 21.95 %, e índice plástico de 1.05 %.

Unidad 11.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 17.40-18.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 30.28 %, un límite líquido de 30.91 %, un límite plástico de 18.38 %, e índice plástico de 12.52 %.

Unidad 12.-CL- ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 18.60-20.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.66 %, un límite líquido de 29.86 %, un límite plástico de 18.69 %, e índice plástico de 11.16 %.

Unidad 13.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 20.40-21.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 35.78 %, un límite líquido de 69.38 %, un límite plástico de 34.38 %, e índice plástico de 35.00 %.

Unidad 13.-CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 21.60-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 30.53 %, un límite líquido de 67.71 %, un límite plástico de 27.17 %, e índice plástico de 40.54 %.

Unidad 14.-CH-ARCILLA ARENOSA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 23.40-24.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.02 %, un límite líquido de 64.94 %, un límite plástico de 27.41 %, e índice plástico de 37.52 %.

Unidad 15.-CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 24.60-25.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 43.61 %, un límite líquido de 68.10 %, un límite plástico de 27.23 %, e índice plástico de 40.86 %.

Unidad 16.-CH-ARCILLA ARENOSA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 25.80-27.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 37.25 %, un límite líquido de 52.96 %, un límite plástico de 28.77 %, e índice plástico de 24.19 %.

Unidad 17.-CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 27.60-28.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 37.56 %, un límite líquido de 54.26 %, un límite plástico de 28.757 %, e índice plástico de 25.68 %.

Unidad 18.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 28.80-33.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 30.78-44.34%, un límite líquido de entre 45.65- 49.84 %, un límite plástico de entre 26.09- 26.87%, e índice plástico de entre 19.57- 22.97 %.

Sondeo penetracion estandar numero trece (spt-c)

El sondeo SPT-C del Viaducto se realizó a una distancia de 16.19 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+311.28 a una profundidad de 30.00 metros.

Se encontraron diecisiete unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-3.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 24.25-26.18 %, un límite líquido de entre 36.46-36.51 %, un límite plástico de entre 21.31- 21.74 %, e índice plástico de entre 14.77-15.15%.

Unidad 2.-SC- ARENA ARCILLOSA que va de 3.60-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.42 %, un límite líquido de 36.46%, un límite plástico de 23.91% e índice plástico de 12.55 %.

Unidad 3.-CL- ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 4.80-6.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.87 %, un límite líquido de 38.52 %, un límite plástico de 22.03% e índice plástico de 16.49 %.

Unidad 4.-MH- LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 6.00-7.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.89 %, un límite líquido de 57.21 %, un límite plástico de 37.68 % e índice plástico de 19.53 %.

Unidad 5.-SM- ARENA LIMOSA que va de 7.80-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 16.84- 25.20 %, un límite líquido de entre 26.27- 27.88 %, un límite plástico de entre 23.17-24.73 % e índice plástico de entre 2.29- 3.32 %.

Unidad 6.-SM- ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 13.20-14.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 15.19 %, un límite líquido de 27.40 %, un límite plástico 23.98 % e índice plástico de 3.42 %.

Unidad 7.-ML- LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 14.40-16.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.96 %, un límite líquido de 26.27 %, un límite plástico de 23.23 % e índice plástico de 3.04 %.

Unidad 8.-SM- ARENA LIMOSA que va de 16.20-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 15.83 %, un límite líquido de 28.31 %, un límite plástico 24.58 % e índice plástico de 3.73 %.

Unidad 9.-SM- ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 17.40-19.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 16.44 %, un límite líquido de 28.05 %, un límite plástico 24.04 % e índice plástico de 4.01 %.

Unidad 10.-SM- ARENA LIMOSA que va de 19.20-20.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 17.87 %, un límite líquido de 25.71 %, un límite plástico 22.37 % e índice plástico de 3.34 %.

Unidad 11.-ML-LIMO DE BAJA PASTICIDAD CON ARENA que va de 20.40-21.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.45 %, un límite líquido de 33.01 %, un límite plástico 25.86 % e índice plástico de 7.15%.

Unidad 12.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 21.60-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 45.66 %, un límite líquido de 33.98 %, un límite plástico 25.94 % e índice plástico de 8.03 %.

Unidad 13.-CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 23.40-25.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 41.50 %, un límite líquido de 63.55 %, un límite plástico 28.42 % e índice plástico de 35.13 %.

Unidad 14.-CH-ARCILLA ARENOSA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 25.20-26.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 30.28 %, un límite líquido de 63.26 %, un límite plástico 29.25 % e índice plástico de 34.01 %.

Unidad 15.-SM-ARENA LIMOSA que va de 26.40-27.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 21.81 %, un límite líquido de 28.11 %, un límite plástico 25.00 % e índice plástico de 3.11 %.

Unidad 16.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 27.60-28.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.85 %, un límite líquido de 41.51 %, un límite plástico 29.24 % e índice plástico de 12.27 %.

Unidad 17.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 28.80-30.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.75 %, un límite líquido de 30.66 %, un límite plástico 24.14 % e índice plástico de 6.52 %.

Sondeo penetracion estandar numero catorce (spt-d)

El sondeo SPT-D del Viaducto se realizó a una distancia de 15.64 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+341.20 a una profundidad de 25.20 metros.

Se encontraron siete unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-2.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 18.95 %, un límite líquido de 38.09 %, un límite plástico 25.81 % e índice plástico de 12.28 %.

Unidad 2.-GC-GRAVA ARCILLOSA que va de 2.40-3.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 20.32 %, un límite líquido de 32.10 %, un límite plástico 16.85 % e índice plástico de 15.25 %.

Unidad 3.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 3.60-6.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 20.20-21.96 %, un límite líquido de entre 32.23-36.56 %, un límite plástico entre 18.36-20.26 % e índice plástico de entre 13.87- 16.29 %.

Unidad 4.-SM-ARENA LIMOSA que va de 6.00-9.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 22.49-24.01 %, un límite líquido de entre 25.84-30.23 %, un límite plástico entre 22.94-25.90 % e índice plástico de entre 2.90- 4.32 %.

Unidad 5.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 9.00-11.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 13.99 %, un límite líquido de 21.73 %, un límite plástico de 21.08 % e índice plástico de 0.65 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA que va de 11.40-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 15.68-39.19 %, un límite líquido de entre 21.47-44.32 %, un límite plástico entre 21.34-37.40 % e índice plástico de entre 0.13- 6.92 %.

Unidad 7.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 23.40-25.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.42 %, un límite líquido de 36.51 %, un límite plástico de 22.41 % e índice plástico de 14.09 %.

Sondeo penetracion estandar numero quince (spt-e)

El sondeo SPT-E del Viaducto se realizó a una distancia de 15.69 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+375.45 a una profundidad de 21.40 metros.

Se encontraron siete unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SM-ARENA LIMOSA que va de 0.00-1.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 22.65 %, un límite líquido de 22.74 %, un límite plástico de 21.25 % e índice plástico de 1.49 %.

Unidad 2.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 1.80-4.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad entre 15.92-23.46 %, un límite líquido de entre 26.58-33.48 %, un límite plástico de entre 24.14-25.42 % e índice plástico de entre 2.44- 8.06 %.

Unidad 3.-SM-ARENA LIMOSA que va de 4.20-10.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad entre 16.50-26.68%, un límite líquido de entre 26.59-28.52 %, un límite plástico de entre 23.81- 25.00 % e índice plástico de entre 1.57- 4.71 %.

Unidad 4.-GM-GRAVA LIMOSA CON ARENA que va de 10.20-13.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 13.40 %, un límite líquido de 27.66 %, un límite plástico de 23.81 % e índice plástico de 3.85 %.

Unidad 5.-SM-ARENA LIMOSA que va de 13.80-16.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad entre 21.16-21.50 %, un límite líquido de entre 27.14-27.92 %, un límite plástico de entre 24.66- 24.79 % e índice plástico de entre 2.48- 3.13 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 16.80-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 17.62 %, un límite líquido 28.27 %, un límite plástico de 25.93 % e índice plástico de 2.34 %.

Unidad 7.-SM-ARENA LIMOSA que va de 17.40-21.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 20.19 %, un límite líquido de entre 24.58-28.22 %, un límite plástico de entre 21.53- 25.00 % e índice plástico de entre 3.05-3.22 %.

Sondeo penetracion estandar numero dieciseis (spt-f)

El sondeo SPT-F del Viaducto se realizó a una distancia de 6.78 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+414.53 a una profundidad de 23.40 metros.

Se encontraron siete unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-2.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 12.65 %, un límite líquido de 24.25 %, un límite plástico de 22.31 % e índice plástico de 1.93 %.

Unidad 2.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 2.40-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 17.95 %, un límite líquido de 35.21 %, un límite plástico de 17.44 % e índice plástico de 17.77 %.

Unidad 3.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 3.00-4.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 13.20 %, un límite líquido de 22.91 %, un límite plástico de 22.08 % e índice plástico de 0.83 %.

Unidad 4.-SM-ARENA LIMOSA que va de 4.20-9.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 14.41-25.60 %, un límite líquido de entre 25.77- 26.17 %, un límite plástico de entre 22.86-23.22 % e índice plástico de entre 2.89- 2.95 %.

Unidad 5.-SM-ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 9.60-13.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad 14.53 %, un límite líquido de 25.81 %, un límite plástico de 22.96 % e índice plástico de 2.84 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA que va de 13.80-21.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 15.16-21.32 %, un límite líquido de entre 23.20- 27.61 %, un límite plástico de entre 21.11-25.00 % e índice plástico de entre 1.99- 3.63 %.

Unidad 7.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 21.00-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 21.45 %, un límite líquido de 24.13 %, un límite plástico de 13.22 % e índice plástico de 10.91%.

Sondeo penetracion estandar numero diecisiete (spt-g)

El sondeo SPT-G del Viaducto se realizó a una distancia de 16.10 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+571.43 a una profundidad de 35.18 metros.

Se encontraron diecisiete unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad1. -SM ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 0.00-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 6.93-7.49 %, un límite líquido de entre 22.38-22.93 %, un límite plástico de entre 21.23-21.60 % e índice plástico de entre 1.14-1.33 %.

Unidad 2. -CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 3.00-4.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.54 %, un límite líquido de 27.23 %, un límite plástico de 17.39 % e índice plástico de 9.83 %.

Unidad 3. -ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 4.80-6.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.59 %, un límite líquido de 29.15 %, un límite plástico de 25.21 % e índice plástico de 3.94 %.

Unidad 4. -ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 6.60-8.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.64 %, un límite líquido de 29.15 %, un límite plástico de 23.73 % e índice plástico de 5.42 %.

Unidad 5. -CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 8.40-9.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.30 %, un límite líquido de 70.00 %, un límite plástico de 26.60 % e índice plástico de 43.40 %.

Unidad 6. -CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 9.60-12.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 33.47 %, un límite líquido de 35.00 %, un límite plástico de 23.18 % e índice plástico de 11.82 %.

Unidad 7.-MH-L-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 12.00-13.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 86.36 %, un límite líquido de 76.01 %, un límite plástico de 38.61 % e índice plástico de 37.40 %.

Unidad 8.-SM-ARENA LIMOSA que va de 13.20-15.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 22.02 %, un límite líquido de 23.87 %, un límite plástico de 21.30 % e índice plástico de 2.57 %.

Unidad 9.-CL ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 15.60-17.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 36.07%, un límite líquido de 47.28 %, un límite plástico de 25.18 % e índice plástico de 22.10 %.

Unidad 10.-SM-ARENA LIMOSA que va de 17.40-21.00metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 27.22- 38.43 %, un límite líquido de entre 23.83-25.71 %, un límite plástico de entre 21.53-23.97 % e índice plástico de entre 1.00- 2.70 %.

Unidad 11.-CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 21.00-24.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 61.60 %, un límite líquido de 106.76 %, un límite plástico de 42.35 % e índice plástico de 64.41%.

Unidad 12 ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 24.00-26.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 22.51 %, un límite líquido de 23.21 %, un límite plástico de 21.18 % e índice plástico de 2.03%.

Unidad 13.-SM-ARENA LIMOSA que va de 26.40-28.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 31.78 %, un límite líquido de 26.45 %, un límite plástico de 24.37 % e índice plástico de 2.08%.

Unidad 14 ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 28.20-29.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.03 %, un límite líquido de 25.05 %, un límite plástico de 22.28 % e índice plástico de 2.77%.

Unidad 15.-SM-ARENA LIMOSA que va de 29.40-31.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 29.57-34.00 %, un límite líquido de entre 37.02-38.35 %, un límite plástico de entre 26.92-26.98 % e índice plástico de entre 10.04-11.42%.

Unidad 16.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 31.20-33.96 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 19.56-29.15 %, un límite líquido de entre 33.34-42.95 %, un límite plástico de entre 17.68-24.32 % e índice plástico de entre 15.66-18.63%.

Unidad 17 CH-ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 33.96-35.18 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.24 %, un límite líquido de 96.01%, un límite plástico de 35.71 % e índice plástico de 60.30 %.

Sondeo penetracion estandar numero dieciocho (spt-h)

El sondeo SPT-H del Viaducto se realizó a una distancia de 6.48 m en el lado derecho de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+768.54 a una profundidad de 36.00 metros.

Se encontraron once unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 0.00-10.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 0.69-27.30 %, un límite líquido de entre 27.96- 34.91 %, un límite plástico de entre 15.82- 21.78 % e índice plástico de entre 9.89- 13.13 %.

Unidad 2.-SC- ARENA ARCILLOSA que va de 10.80-14.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 23.93-33.41 %, un límite líquido de entre 41.68- 42.53 %, un límite plástico de entre 23.58-25.00 % e índice plástico de entre 16.68- 18.95 %.

Unidad 3.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 14.80-16.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 30.56-41.00 %, un límite líquido de entre 30.98- 47.88 %, un límite plástico de entre 23.46- 29.41 % e índice plástico de entre 7.53- 18.47 %.

Unidad 4.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 16.20-18.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 111.42 %, un límite líquido de 46.59 %, un límite plástico 29.41 % e índice plástico de 17.18 %.

Unidad 5.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 18.60-19.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 28.81 %, un límite líquido de 30.47 %, un límite plástico 22.16 % e índice plástico de 8.31 %.

Unidad 6.-SM-ARENA LIMOSA que va de 19.80-22.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 24.00 %, un límite líquido de 22.54 %, un límite plástico 21.60 % e índice plástico de 0.94 %.

Unidad 7.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 22.20-23.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 36.32 %, un límite líquido de 37.06 %, un límite plástico 21.87 % e índice plástico de 15.19 %.

Unidad 8.-CL-ARCILLA ARENOSA DE BAJA PLASTICIDAD que va de 23.40-24.75 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 26.42 %, un límite líquido de 36.81 %, un límite plástico 21.88 % e índice plástico de 14.94 %.

Unidad 9.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 24.75-27.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 14.06- 31.38 %, un límite líquido de entre 27.26- 45.27 %, un límite plástico de entre 22.91- 34.44 % e índice plástico de entre 4.35-10.84 %.

Unidad 10.-MH-LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 27.60-36.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 79.09- 216.94 %, un límite líquido de entre 89.75- 116.98 %, un límite plástico de entre 52.94-68.29 % e índice plástico de entre 36.80-56.11 %.

Sondeo penetracion estandar numero diecinueve (spt-i)

El sondeo SPT-I del Viaducto se realizó a una distancia de 1.41 m en el lado izquierdo de la Carretera Puebla-Belén, a la altura del km 29+874.66 a una profundidad de 38.40 metros.

Se encontraron dieciséis unidades estratigráficas de acuerdo con la clasificación del SUCS con las siguientes características:

Unidad 1.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 0.00-1.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 13.29 %, un límite líquido de 26.54 %, un límite plástico 18.97 % e índice plástico de 7.57 %.

Unidad 2.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 1.20-3.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 13.59 %, un límite líquido de 29.49 %, un límite plástico 19.64 % e índice plástico de 9.76 %.

Unidad 3.- SC-ARENA ARCILLOSA que va de 3.00-5.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 13.10 %, un límite líquido de 27.48 %, un límite plástico 18.36 % e índice plástico de 9.12 %.

Unidad 4.- SM ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 5.40-7.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 9.15-11.49 %, un límite líquido de entre 23.83-23.98 %, un límite plástico de entre 21.26-21.98 % e índice plástico de entre 2.00- 2.57 %.

Unidad 5.- SM ARENA LIMOSA que va de 7.80-12.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 21.37-26.36 %, un límite líquido de entre 22.71-24.83 %, un límite plástico de entre 21.74-23.15 % e índice plástico de entre 0.95- 1.69%.

Unidad 6.- SM ARENA LIMOSA CON GRAVA que va de 12.00-14.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 18.95 %, un límite líquido de 23.10 %, un límite plástico de 22.17% e índice plástico de 1.64 %.

Unidad 7.- SM ARENA LIMOSA que va de 14.40-15.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 23.21 %, un límite líquido de 25.10 %, un límite plástico de 22.44% e índice plástico de 2.66 %.

Unidad 8.-ML-LIMO DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 15.60-16.80 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 30.50 %, un límite líquido de 28.02%, un límite plástico de 23.50 % e índice plástico de 4.52 %.

Unidad 9.-ML-LIMO ARENOSO DE BAJA PLASTICIDAD que va de 16.80-18.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 27.09 %, un límite líquido de 25.32%, un límite plástico de entre 23.68 % e índice plástico de 1.64 %.

Unidad 10.-CL-ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 18.60-22.20 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 20.55-28.79 %, un límite líquido de entre 30.94-39.60%, un límite plástico de entre 17.37-20.14 % e índice plástico de entre 13.57-20.92 %.

Unidad 11.-CH ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 22.20-24.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 40.15 %, un límite líquido de 62.93 %, un límite plástico de 31.13 % e índice plástico de 31.80 %.

Unidad 12.-CH ARCILLA ARENOSA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 24.60-26.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 43.39%, un límite líquido de 68.46 %, un límite plástico de 32.58 % e índice plástico de 35.87 %.

Unidad 13.-CH ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD que va de 26.40-27.60 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 46.41%, un límite líquido de 66.02 %, un límite plástico de 29.03 % e índice plástico de 36.99 %.

Unidad 14.-MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD que va de 27.60-33.00 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 67.84-113.33 %, un límite líquido de entre 105.87-117.68 %, un límite plástico de entre 46.74-58.54 % e índice plástico de entre 54.13-60.62 %.

Unidad 15.- MH LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON ARENA que va de 33.00-35.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de 38.96%, un límite líquido de 99.94 %, un límite plástico de 49.07 % e índice plástico de 50.86 %.

Unidad 16.-SC-ARENA ARCILLOSA que va de 35.40-38.40 metros de profundidad que presenta un contenido de humedad de entre 23.25-25.01 %, un límite líquido de entre 32.99-33.16 %, un límite plástico de entre 19.51-22.14 % e índice plástico de entre 11.03-13.48%.

CÁLCULOS

1.- Capacidad de carga:	(x)
Superficial	(X) Pilotes de fricción y punta (x)
Compresión parcial	() Cilindros ()
Compresión total	()
Pilastrones colados en el lugar con excavación previa	(x)
2.- Módulo de reacción	(x)
3.- Asentamientos de cimentaciones	(x)
4.- Estabilidad de taludes de corte	()

Conclusiones y recomendaciones

La obra se encuentra en la zona sísmica C de acuerdo con el manual de diseño de obras civiles de CFE.

El periodo natural del suelo es de 0.66 s, una velocidad de propagación de ondas de cortante de aproximadamente 214.39 m/s. El tipo de suelo se considera tipo II.

La cimentación se construirá mediante cimentación profunda a base de pilas de 1.20 m y 1.50 m de diámetro desplantadas a la profundidad indicada.

Para la determinación de la capacidad de carga admisible se hicieron las siguientes consideraciones:

La capacidad de carga admisible es la suma de la capacidad de carga por punta más la capacidad de carga por fricción lateral

I. La capacidad de carga por punta se calculó de la siguiente manera

a) Para suelos cohesivos: $q_{max} = N^*c C_u$

Ec. 6.72 de la Guía de exploración y elaboración de estudios y proyectos para la cimentación de puentes 2014

Los suelos cohesivos son aquellos formados por partículas muy pequeñas (como arcillas y limos) que tienen la capacidad de mantenerse unidas gracias a fuerzas electromagnéticas y la presencia de agua, incluso sin una carga externa.

Características Principales

- Plasticidad: Pueden deformarse sin romperse cuando tienen el contenido de agua adecuado.
- Permeabilidad baja: El agua circula muy lentamente a través de ellos debido al tamaño minúsculo de sus poros.
- Capacidad de asentamiento: Bajo cargas pesadas, tienden a consolidarse (comprimirse) lentamente a lo largo del tiempo.

Clasificación según Consistencia

- La firmeza de estos suelos varía drásticamente según su humedad, lo que se mide mediante los Límites de Atterberg.
- Duros: Tienen alta resistencia cuando están secos.
- Plásticos/Blandos: Se moldean fácilmente.
- Semilíquidos: Pierden su forma y fluyen si el exceso de agua es muy alto.

b) Para suelos friccionantes
$$C_p = (\bar{p}_v N_q^* F_R + p_v) A_p$$

Ec 3.5.7 de las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones 2017

Los suelos friccionantes (también llamados granulares o no cohesivos) son aquellos cuya resistencia al corte depende exclusivamente del roce y el entrelazamiento entre sus partículas. A diferencia de las arcillas, carecen de cohesión natural, por lo que sus granos se separan fácilmente cuando están secos.

Tipos de Suelos Friccionantes

Estos suelos se clasifican principalmente por el tamaño grueso de sus granos:

- Arenas: Partículas de tamaño intermedio, ásperas al tacto.
- Gravas: Fragmentos de roca más grandes y pesados.
- Mezclas de grava y arena: Comunes en depósitos aluviales y lechos de ríos.

Comportamientos

- Zapatas: Son ideales para cimentaciones superficiales debido a su estabilidad.
- Pilotes de fricción: En casos de suelos menos firmes, se utilizan pilotes que transfieren la carga a través del roce entre la superficie del pilote y el suelo circundante.

Tabla 5. comparativa de los estados límite de falla.

RESUMEN DE LA REVISION DE LOS ESTADOS LÍMITES DE FALLA VIADUCTO CHIAUTEMPAN							
No: APOYO	DIAMETRO	PROF. DE DESP.	CAP CARGA. PUNTA	CAP CARGA. FUSTE	CAP CARGA. ADM.	CARGA FACT.	ESTATUS.
DESCRIPCION	m	ton x PILA	ton x PILA			ton x PILA	
CABALLETE 1	1.50	14.25	338.52	182.05	520.58	410.47	OK
PILA 2	1.50	16.88	575.64	270.77	846.41	682.90	OK
PILA 3	1.50	20.60	602.09	221.26	823.35	804.18	OK
PILA 4	1.50	16.00	529.24	143.05	672.28	510.22	OK
PILA 5	1.50	17.05	559.61	155.89	715.50	519.97	OK
PILA 6	1.50	17.01	522.34	120.68	643.02	518.11	OK
PILA 7	1.50	22.04	578.63	382.33	960.96	549.77	OK
PILA 8	1.50	22.01	577.91	382.65	960.55	578.36	OK
PILA 9	1.50	25.19	590.72	355.96	946.69	595.49	OK
PILA 10	1.50	28.81	692.27	441.94	1134.21	749.63	OK
PILA 11	1.50	29.12	728.75	442.23	1170.98	743.99	OK
PILA 12	1.50	32.04	458.03	442.47	900.50	774.58	OK
PILA 13	1.50	32.00	457.54	457.37	914.90	767.21	OK
PILA 14	1.50	20.51	503.82	273.08	776.90	661.96	OK
PILA 15	1.50	26.55	319.36	436.38	755.74	688.76	OK
PILA 16	1.50	26.14	314.86	450.43	765.29	699.76	OK
PILA 17	1.50	37.11	564.60	501.56	1066.16	749.44	OK
PILA 18	1.50	34.11	645.05	423.66	1068.71	474.53	OK

E.3.3. Límites máximos tolerables de la distorsión angular (δ'/l)

E.3.3.1. Se calculará la distorsión angular (δ'/l), usando la siguiente expresión:

$$\text{Distorsión Angular } (\delta'/l) = \frac{\delta'}{l}$$

Donde:

δ' =Asentamiento diferencial entre zapatas adyacentes o entre dos puntos de la cimentación, (m)

l =Distancia centro a centro entre zapatas adyacentes o de los puntos de la cimentación, (m)

E.3.3.2. Los límites máximos tolerables de la distorsión angular (δ'/l) para puentes y estructuras similares, así como para edificaciones, serán los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

Tabla 6 Límites máximos tolerables para la distorsión angular

Tipo de estructura	Elementos	Límite adimensional
Puentes y estructuras similares ⁽¹⁾	Con traveses simplemente apoyados	0,005
	Con traveses continuos	0,004

Tabla 7. Bajo estas condiciones, se espera un asentamiento máximo de 16.82 cm que se presentara de manera gradual durante la construcción de la obra

RESUMEN DE LA REVISION DE LOS ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO VIADUCTO CHIAUTEMPAN					
No: APOYO	ASENTAMIENTO	DIFERENCIAL	LONGITUD ENTRE APOYOS	DISTORSION ANGULAR	ESTATUS
DESCRIPCION	cm	m			
CABALLETE 1	9.24				
PILA 2	16.73	0.0749	45.12	0.002	OK
PILA 3	16.56	-0.0017	38.16	0.000	OK
PILA 4	12.08	-0.0448	38.16	-0.002	OK
PILA 5	13.03	0.0095	38.16	0.000	OK
PILA 6	14.55	0.0152	38.16	0.000	OK
PILA 7	13.28	-0.0127	35.70	0.000	OK
PILA 8	13.97	0.0069	38.16	0.000	OK
PILA 9	22.36	0.0839	39.30	0.002	OK
PILA 10	19.57	-0.0279	39.30	0.000	OK
PILA 11	19.43	-0.0014	32.31	0.000	OK
PILA 12	20.84	0.0141	38.16	0.000	OK
PILA 13	20.81	-0.0003	38.16	0.000	OK
PILA 14	18.36	-0.0245	38.16	0.000	OK
PILA 15	13.67	-0.0469	29.16	-0.001	OK
PILA 16	13.53	-0.0014	38.16	0.000	OK
PILA 17	22.02	0.0849	38.16	0.002	OK
PILA 18	12.35	-0.0967	38.16	-0.002	OK

Construcción de pilas

La perforación requerirá estabilizarla con lodo común o bentonítico o con ademe. Antes del colado, se procederá a la inspección directa o indirecta del fondo de la perforación para verificar que las características del estrato de apoyo son satisfactorias y que todos los azolves han sido removidos. El colado se realizará por procedimientos que eviten la segregación del concreto y la contaminación del mismo con el lodo estabilizador de la perforación o con derrumbes de las paredes de la excavación. Se llevará un registro de la localización de los pilotes o pilas, las dimensiones relevantes de las perforaciones, las fechas de perforación y de colado, la profundidad y los espesores de los estratos y las características del material de apoyo. Cuando la construcción de una cimentación requiera del uso de lodo bentonítico, el constructor no podrá verterlo en el drenaje urbano, por lo que deberá destinar un área para recolectar dicho lodo después de usarlo y transportarlo a algún tiradero ex profeso. No deben construirse campanas bajo agua o lodos, ya que los sistemas empleados para esta operación no garantizan la colocación de concreto sano en esta zona que es donde se desarrollará la capacidad de carga.

Otros aspectos a los que deberá prestarse atención son el método y equipo para la eliminación de azolves, la duración del colado, así como el recubrimiento y la separación mínima del acero de refuerzo con relación al tamaño del agregado. Para desplantar la cimentación sobre el concreto sano de la pila, se deberá dejar en la parte superior una longitud extra de concreto, equivalente al 90 por ciento del diámetro de la misma; este concreto, que acarrea las impurezas durante el proceso de colado, podrá ser removido con equipo neumático hasta 20 cm arriba de la cota de desplante de la cimentación; estos últimos 20 cm se deberán quitar en forma manual procurando que la herramienta de ataque no produzca fisuras en el concreto que recibirá la cimentación. En cualquier tipo de pila, será necesario construir un brocal antes de iniciar la perforación a fin de preservar la seguridad del personal y la calidad de la pila por construir.

Respecto a la localización de las pilas se aceptará una tolerancia del 10 por ciento de su diámetro. La tolerancia en la verticalidad de una pila será de 2 por ciento de su longitud hasta 25 m de profundidad y de 3 por ciento para mayor profundidad.

Muros

Los muros incluirán un sistema de drenaje adecuado que impida el desarrollo de empujes superiores a los de diseño por efecto de presión del agua. Para ellos, los muros de contención deberán siempre dotarse de un filtro colocado atrás del muro con lloraderos y/o tubos perforados.

Los rellenos no incluirán materiales degradables ni compresibles y deberán compactarse y verificarse mediante la prueba Proctor estándar la 90 % de su PVSM.

En caso de construir los muros de contención y zapatas con mampostería deberá satisfacer los requisitos siguientes:

Su resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación sea de 15 MPa (150 kg/cm²).

Su resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación sea de 10 MPa (100 kg/cm²).

La absorción máxima sea de 4 %

Su resistencia al intemperismo, medida como la máxima pérdida de peso después de cinco ciclos en solución saturada de sulfato de sodio sea del 10 %.

Las piedras no necesitarán ser labradas, pero se evitará, en lo posible, el empleo de piedras de formas redondeadas y de cantos rodados. Por lo menos, el 70 % del volumen del elemento estará constituido por piedras con un peso mínimo de 30 kg cada una.

Al realizarse excavaciones las paredes de los cortes se realizarán con un talud de 1:1, de no cumplir con esta condición se deberá estabilizar la excavación mediante puntales o tablescado.

Las excavaciones realizadas deberán ser conservadas secas; en caso de lluvia la excavación deberá ser protegida.

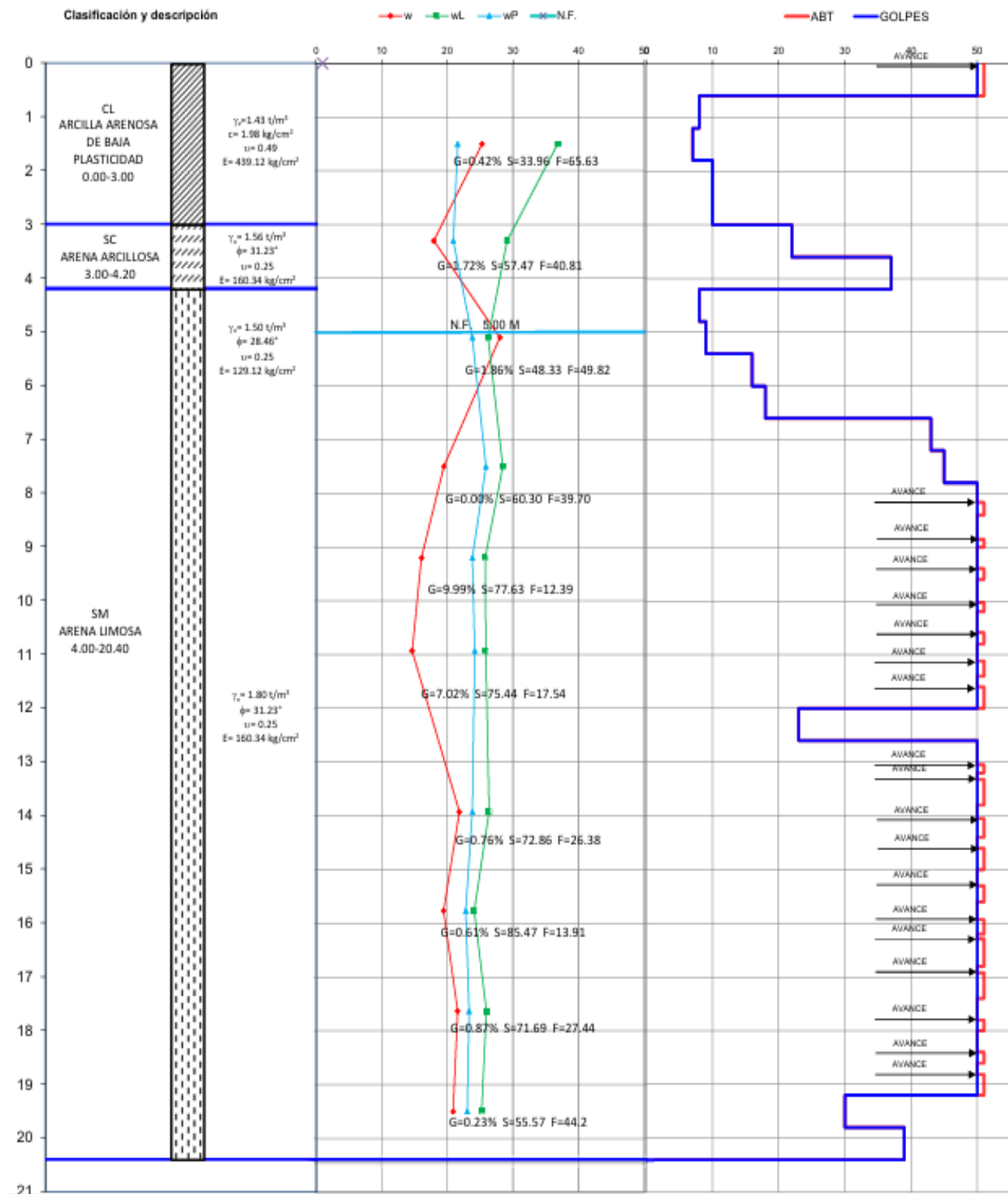
El desplante de la cimentación se hará a la profundidad señalada en el presente estudio de mecánica de suelos de acuerdo a la capacidad de carga requerida.

Se tomarán todas las medidas necesarias para evitar que en la superficie de apoyo de la cimentación se presente alteración del suelo durante la construcción por saturación o remoldeo.

Las superficies de desplante estarán libres de cuerpos extraños o sueltos, y la cama del corte deberá de ser compactada con vibrocompactador manual (bailarina)

En el caso de elementos de cimentación de concreto reforzado se aplicarán plantilla de 5 cm de espesor para garantizar el recubrimiento requerido para proteger el acero de refuerzo. Así mismo durante el colado se evitará que el concreto se mezcle o contamine con partículas de suelo o con agua freática, que puedan afectar sus características de resistencia y durabilidad.

Imag. 19 Estratigrafía 1



Imag. 20 Estratigrafía 2

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-2

20.35

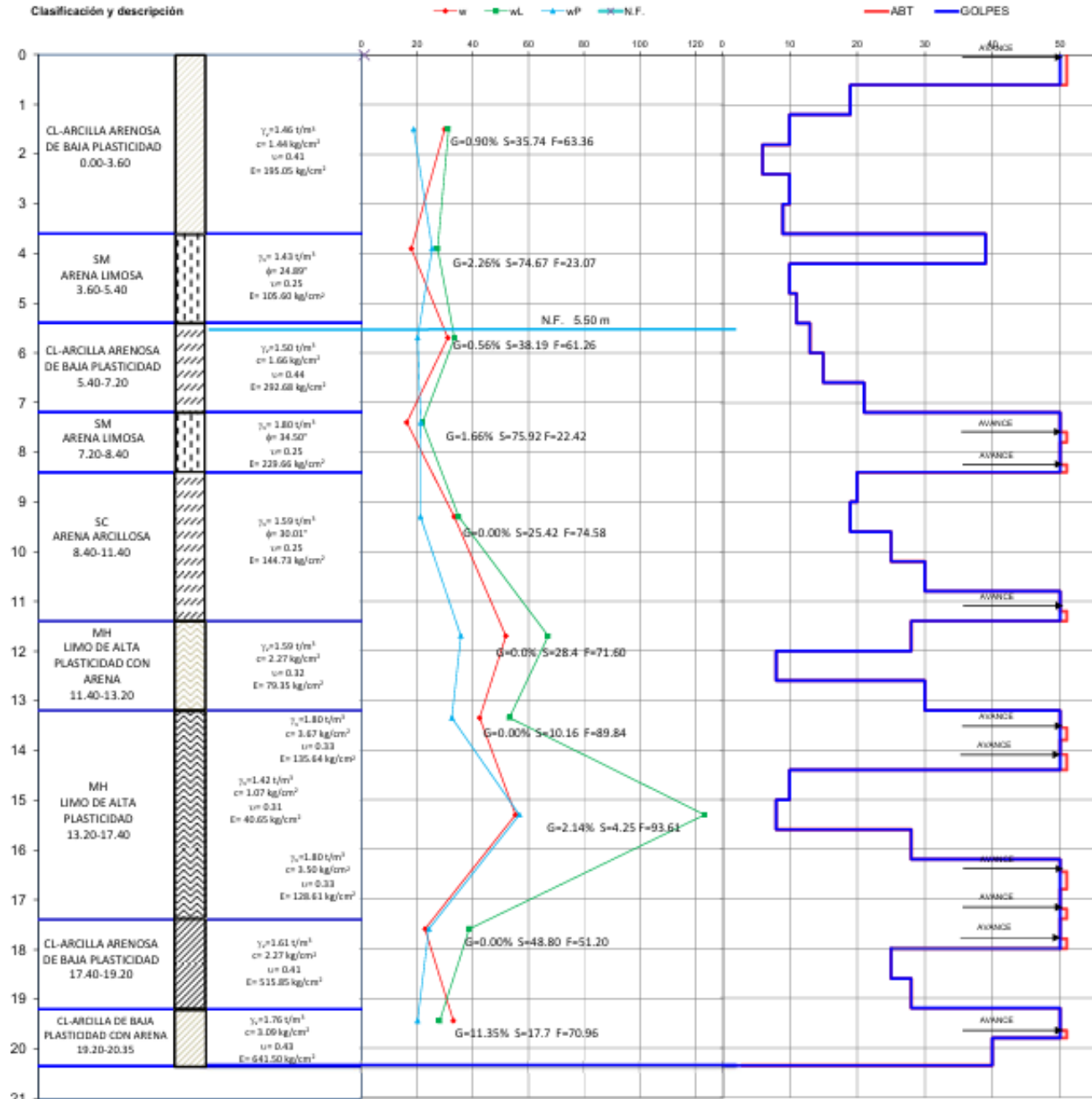
Fecha: 25/11/2022

Tramo: Tlaxcala-Belen

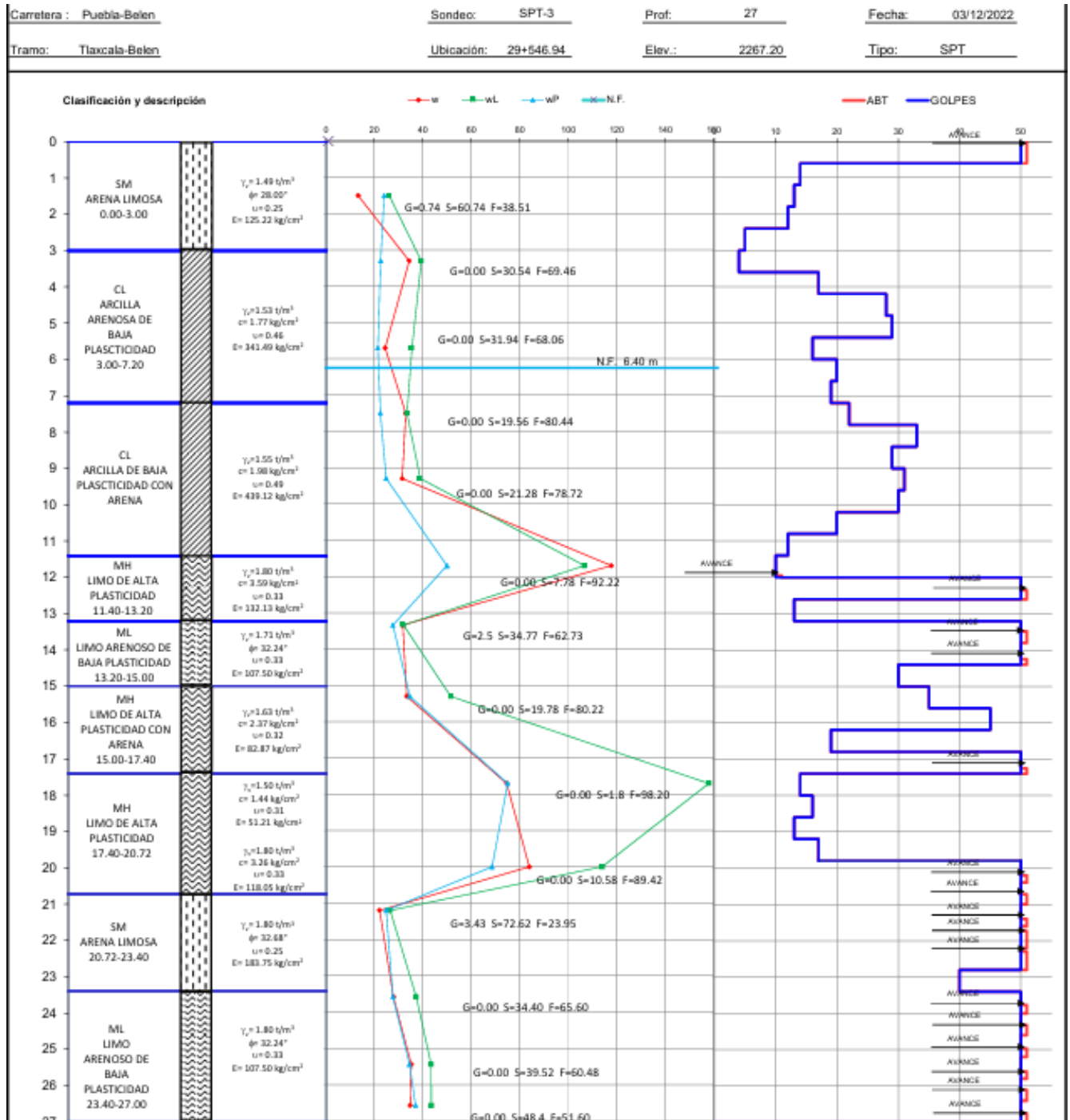
Ubicación: 29+492.80

Elev.: 2266.69

Tipo: SPT

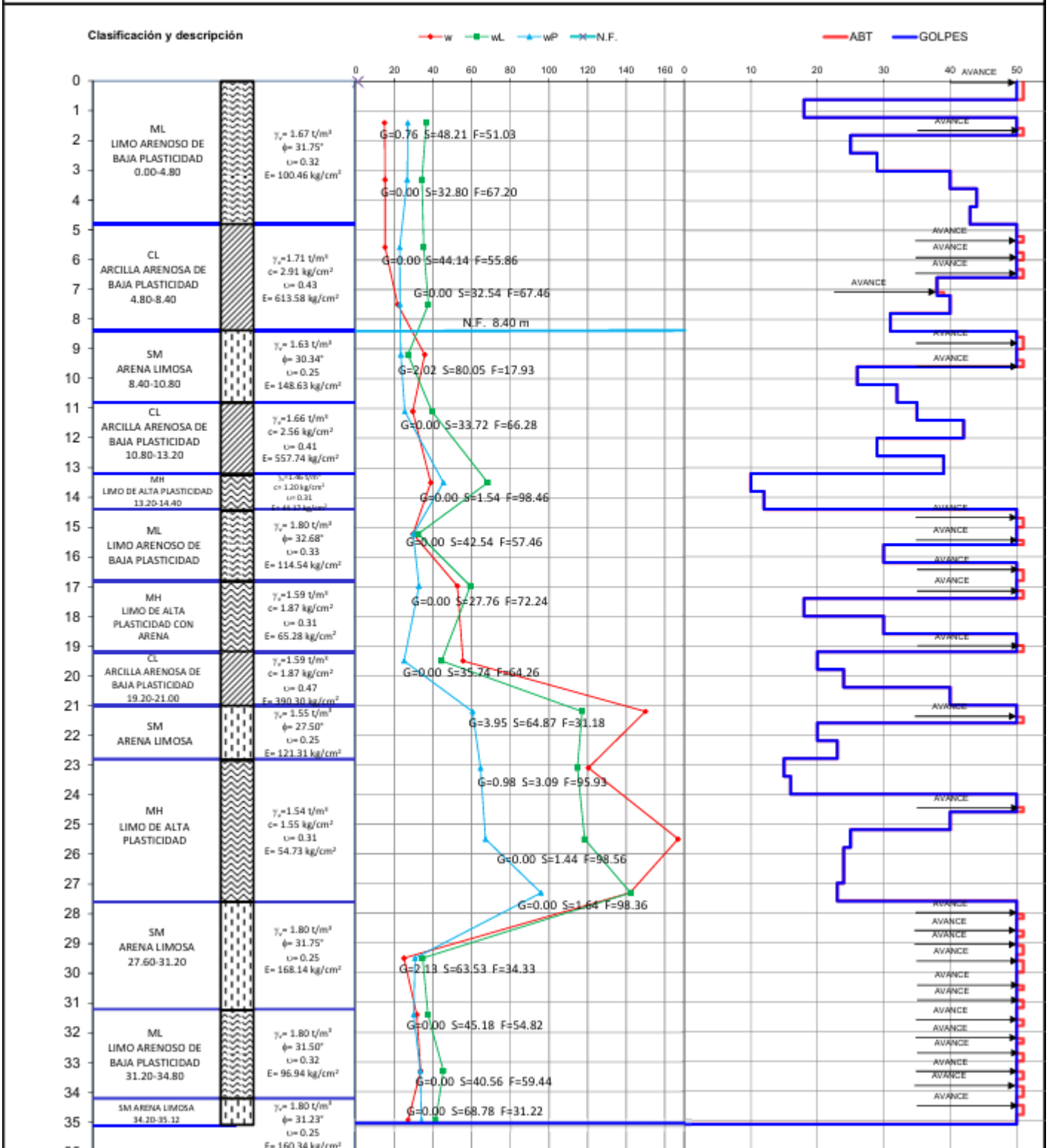


Imag. 21 Estratigrafía 3



Imag. 22 Estratigrafía 4

Carretera: Puebla-Belen Sondeo: SPT-4 Prof.: 35.12 Fecha: 06/12/2022
 Tramo: Tlaxcala-Belen Ubicación: 29+621.35 Elev.: 2268.13 Tipo: SPT



Imag 23 Estratigrafía 5

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-5

Prof: 35.23

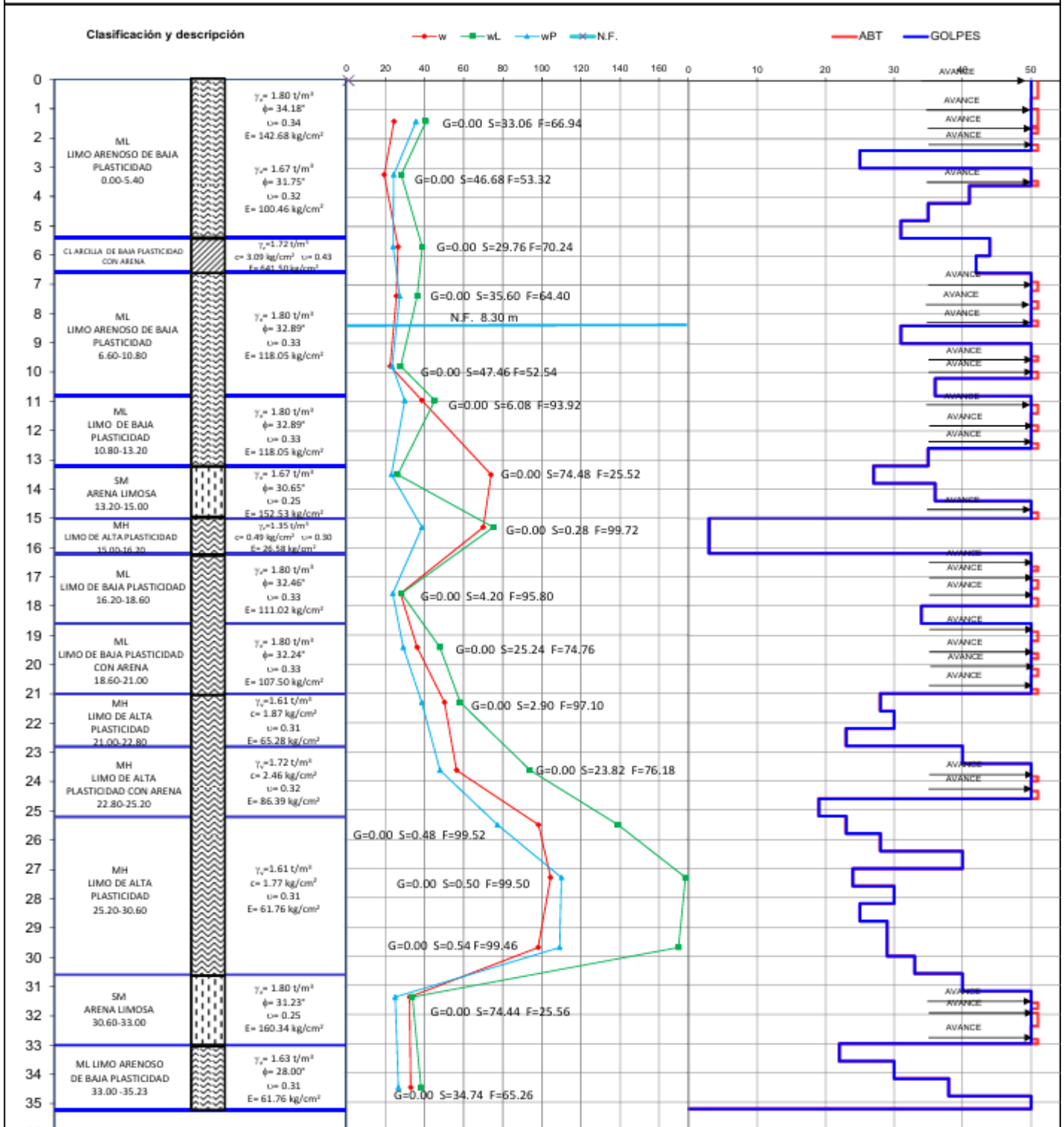
Fecha: 13/12/2022

Tramo: Tlaxcala-Belen

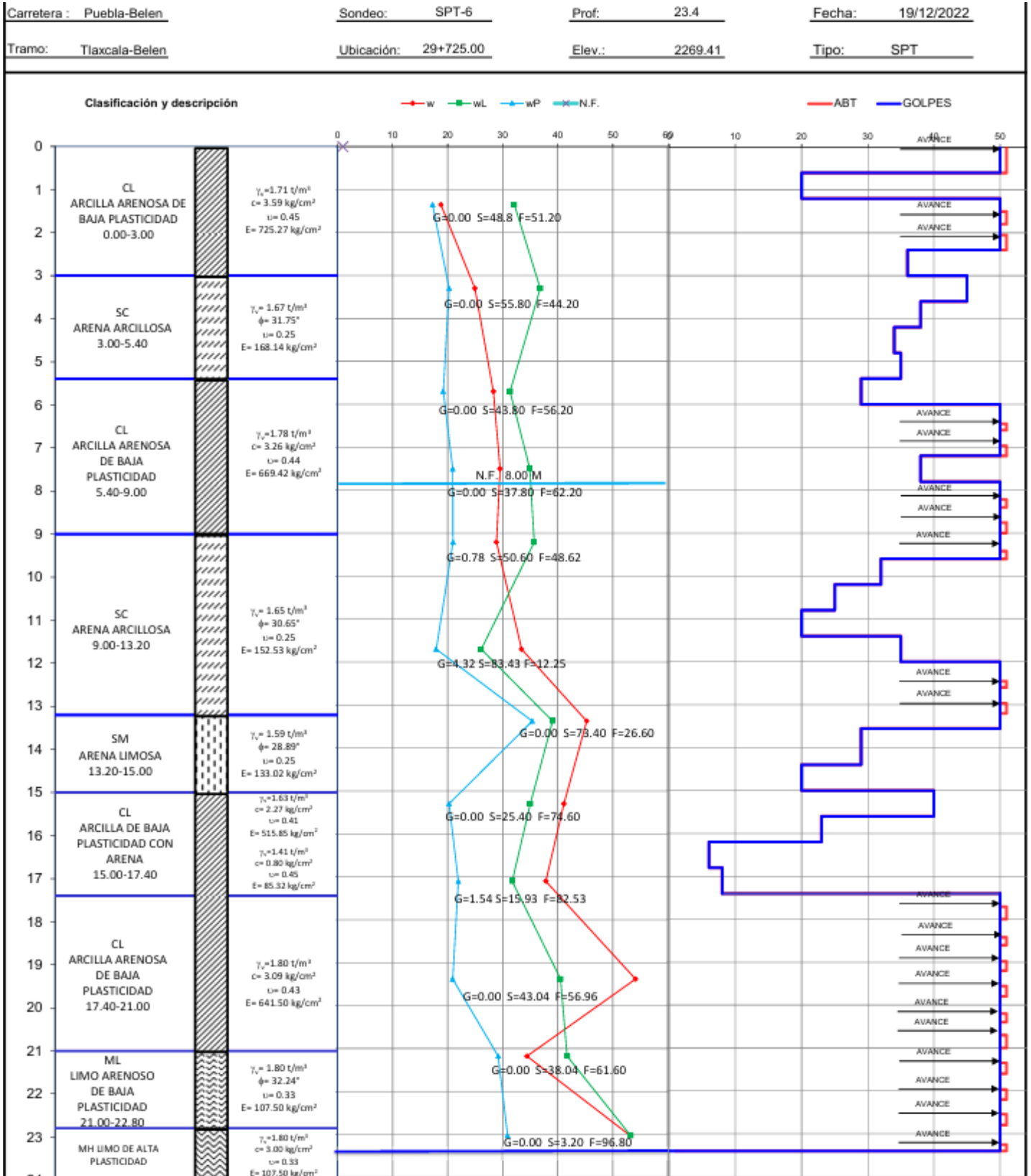
Ubicación: 29+666.48

Elev.: 2268.83

Tipo: SPT



Imag. 24 Estratigrafia 6



Imag. 25 Estratigrafía 7

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-7

Prof: 23.4

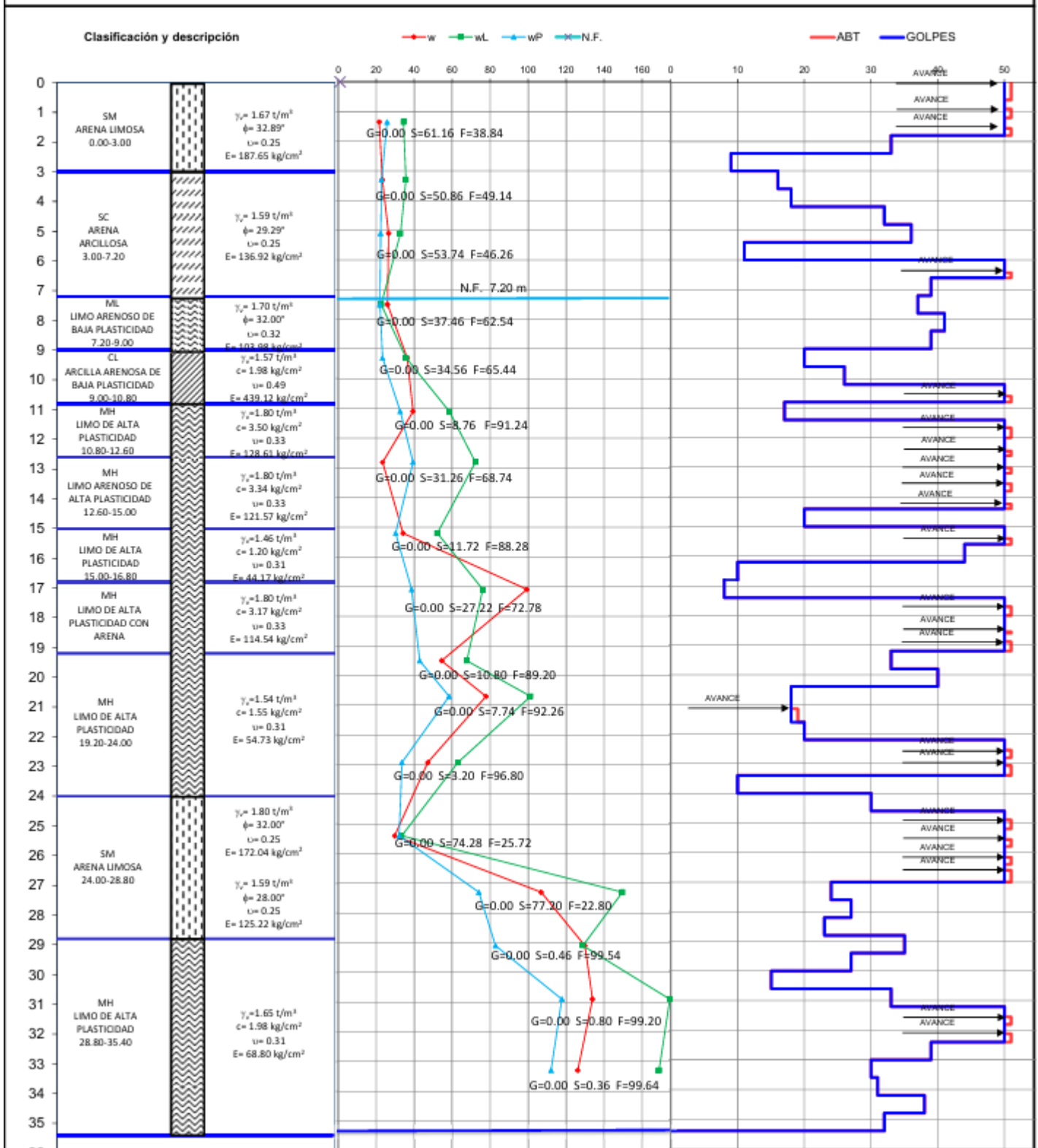
Fecha: 24/12/2022

Tramo: Tlaxcala-Belen

Ubicación: 29+803.03

Elev.: 2268.96

Tipo: SPT



Imag. 26 Estratigrafía 8

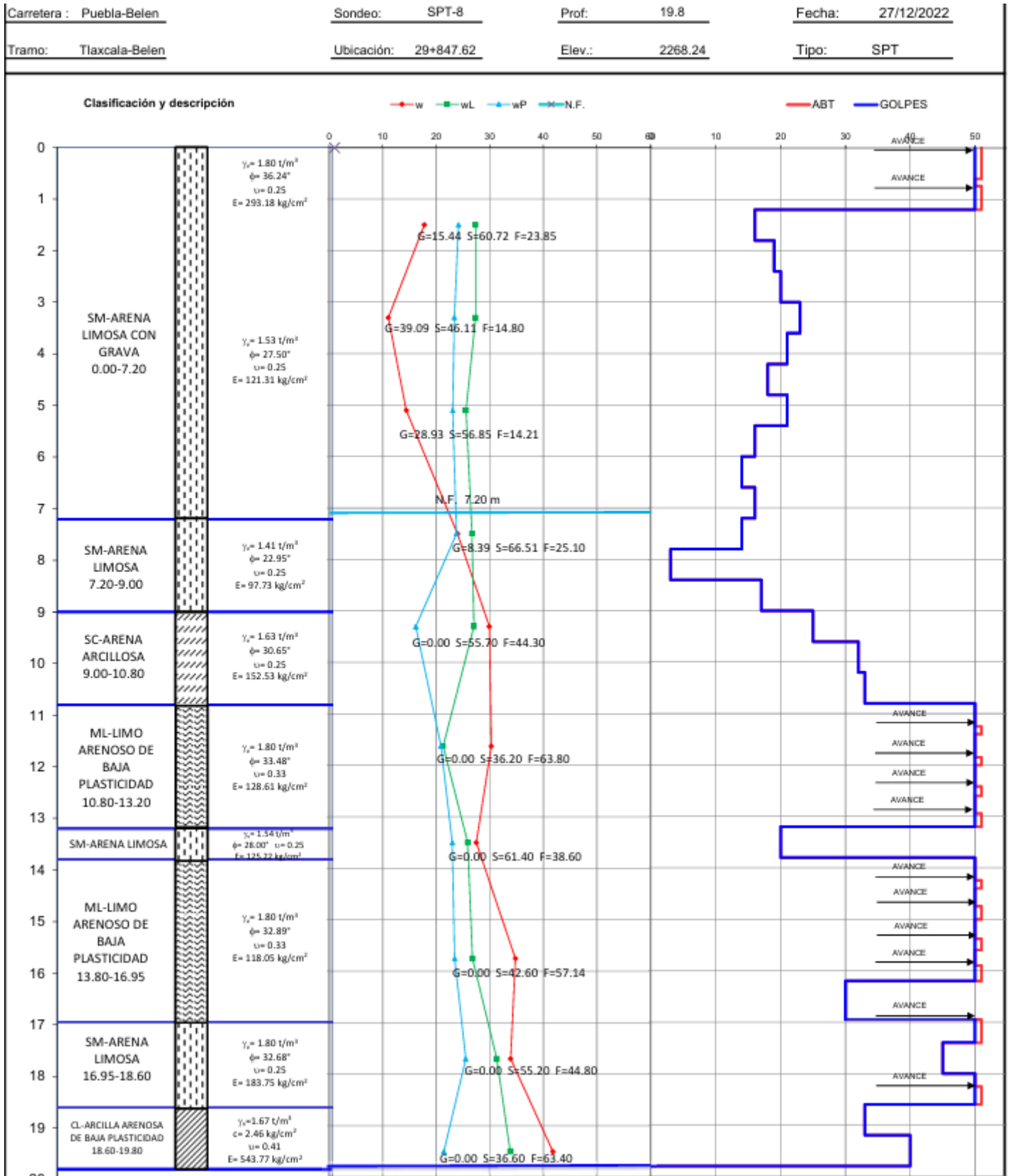
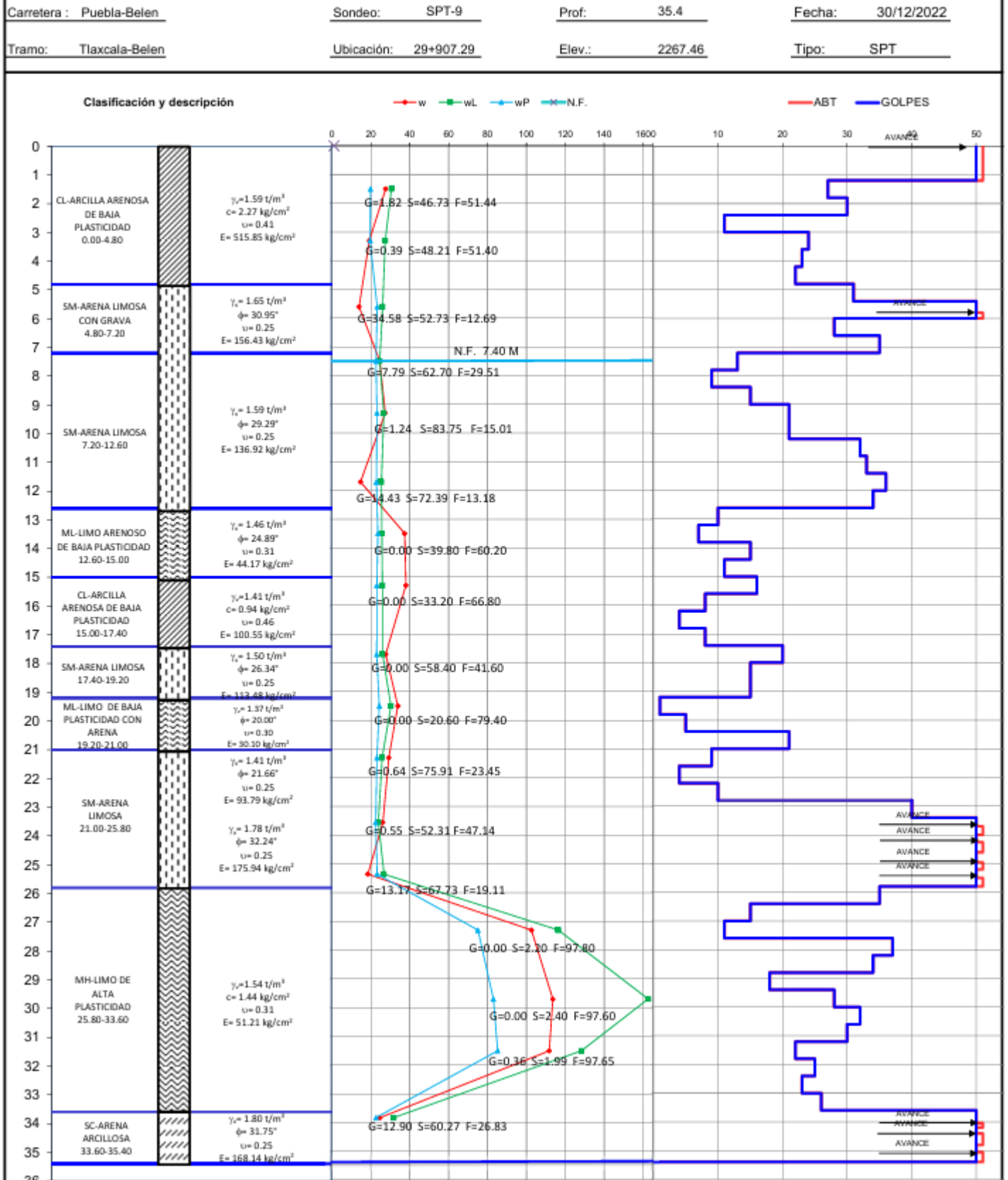
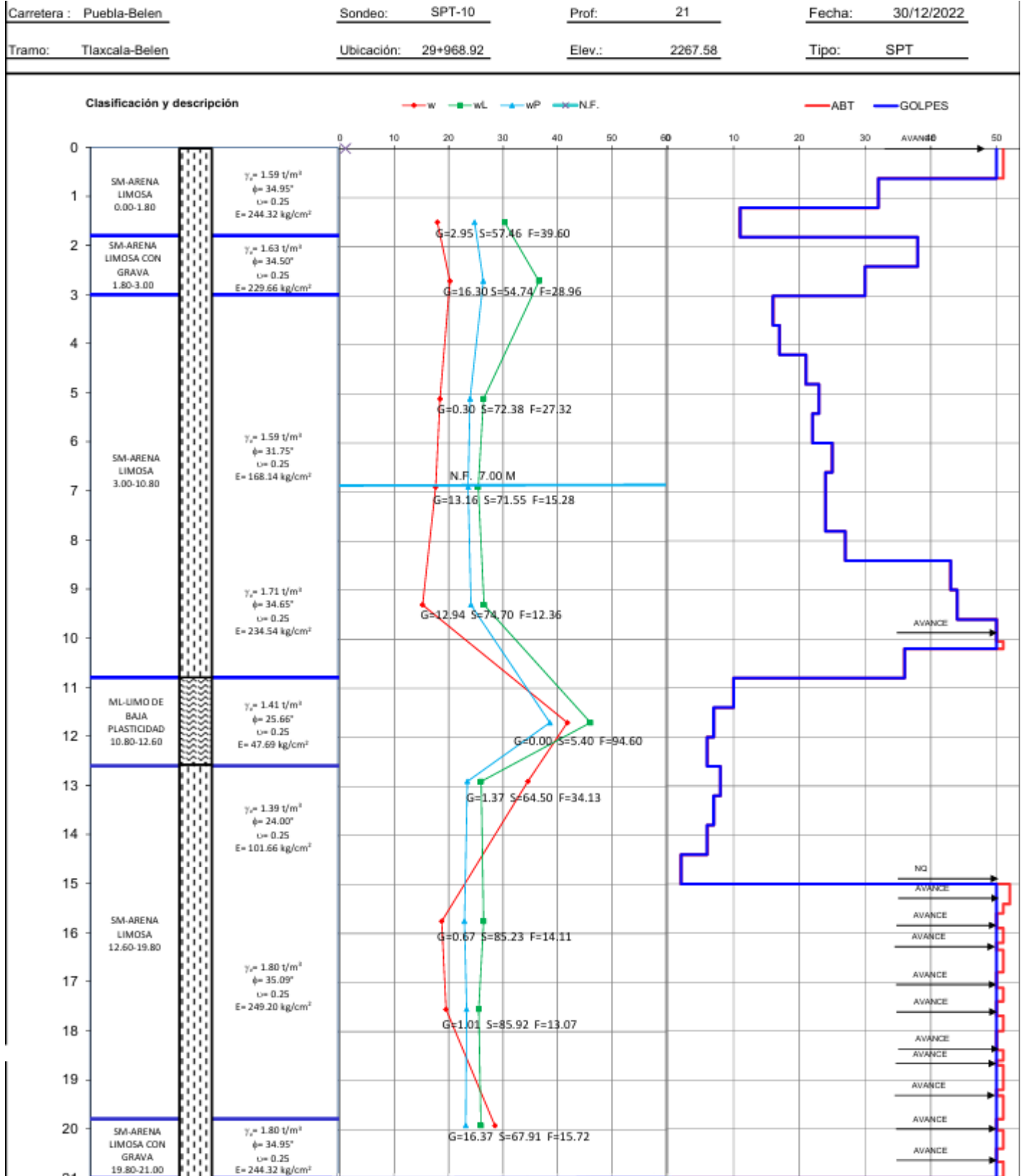


Imagen 27 Estratigrafía 9



Imag. 28 Estratigrafía 10



Imag. 29 Estratigrafía 11

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-A

Prof: 30

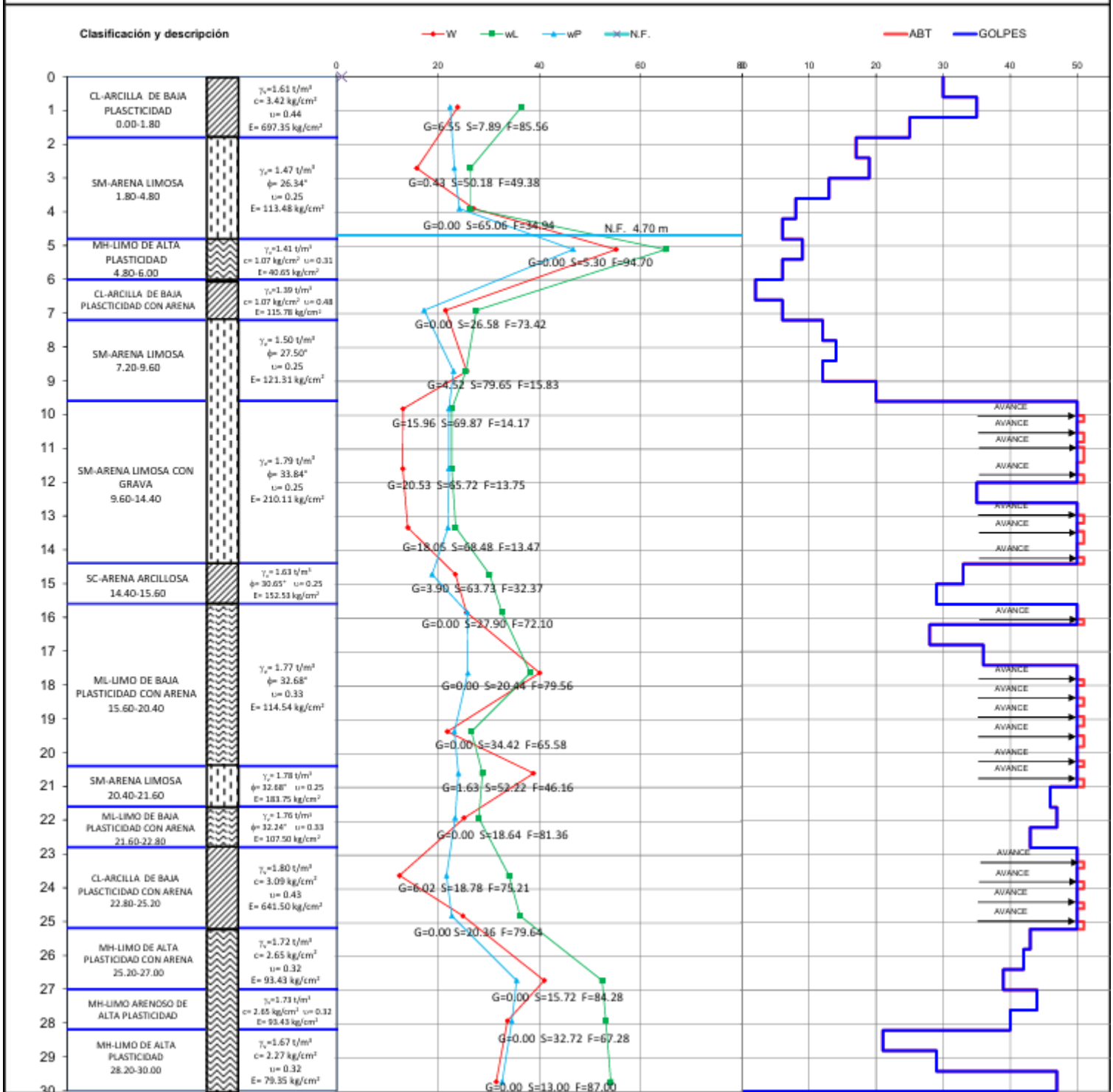
Fecha: 25/06/2025

Tramo: Tlaxcala-Belen

Ubicación: 29+222.51

Elev.: 2268.49

Tipo: SPT



Imag. 30 Estratigrafía 12

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-B

Prof: 33

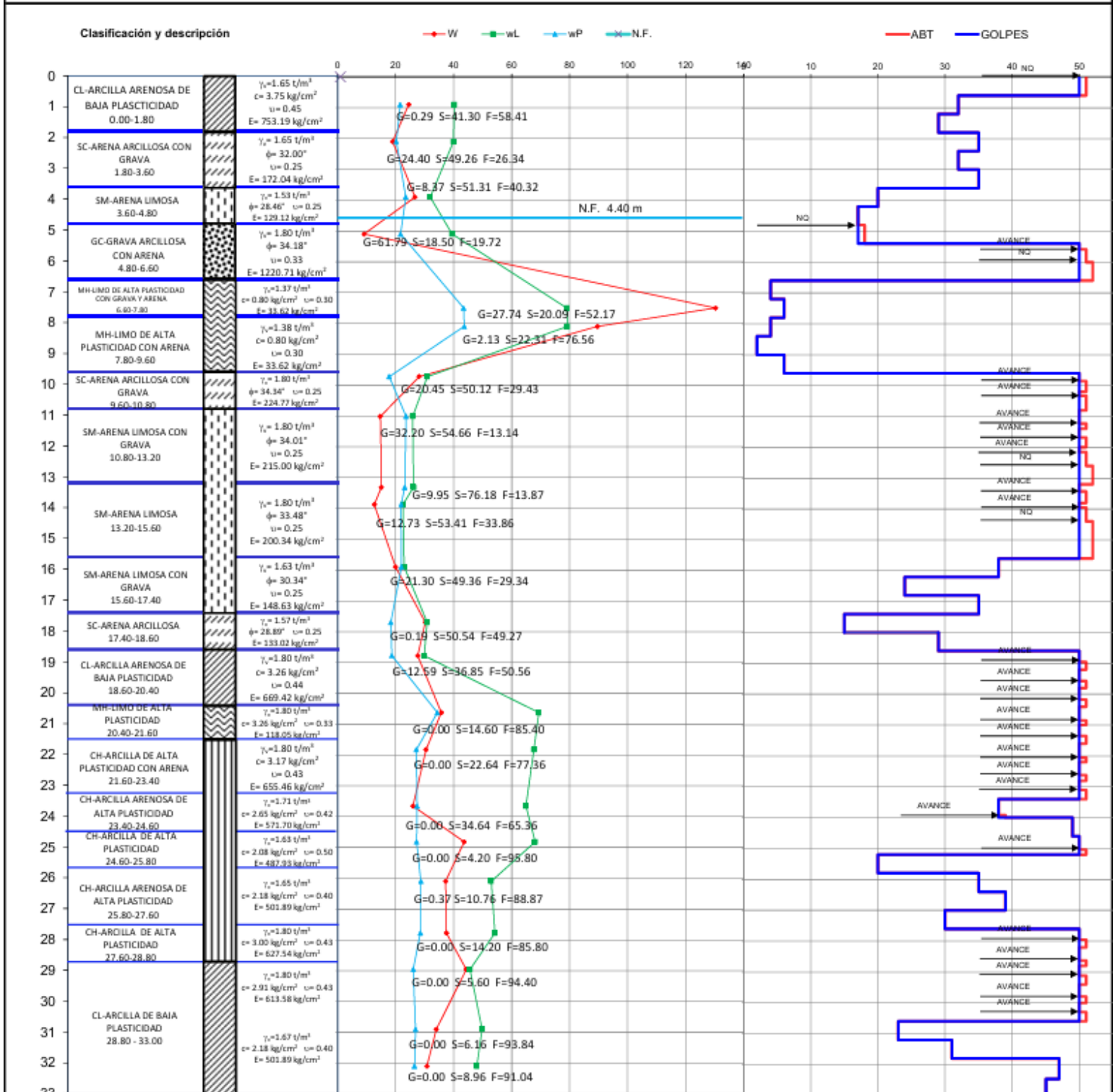
Fecha: 26/06/2025

Tramo: Tlaxcala-Belen

Ubicación: 29+261.28

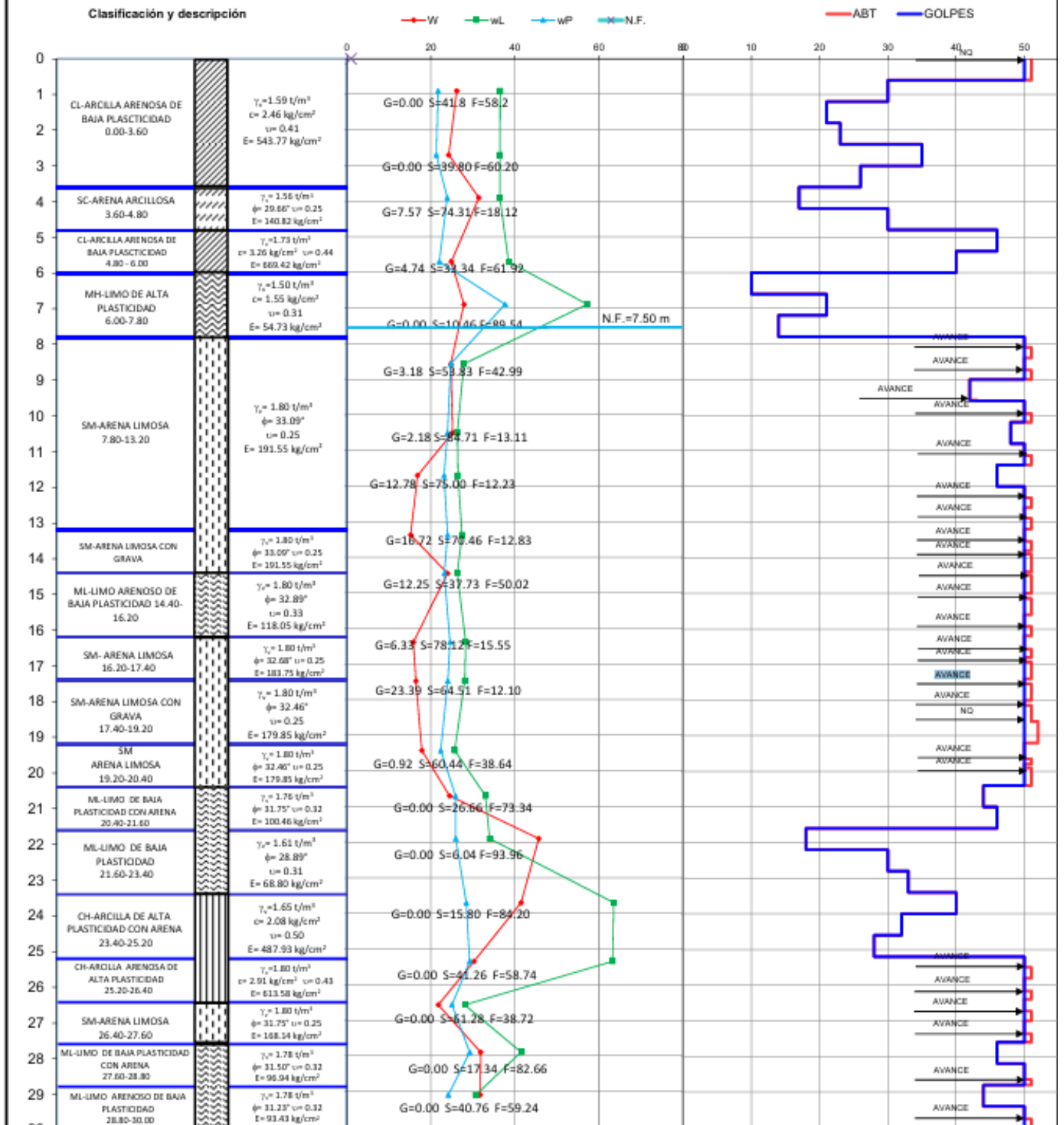
Elev.: 2268.47

Tipo: SPT

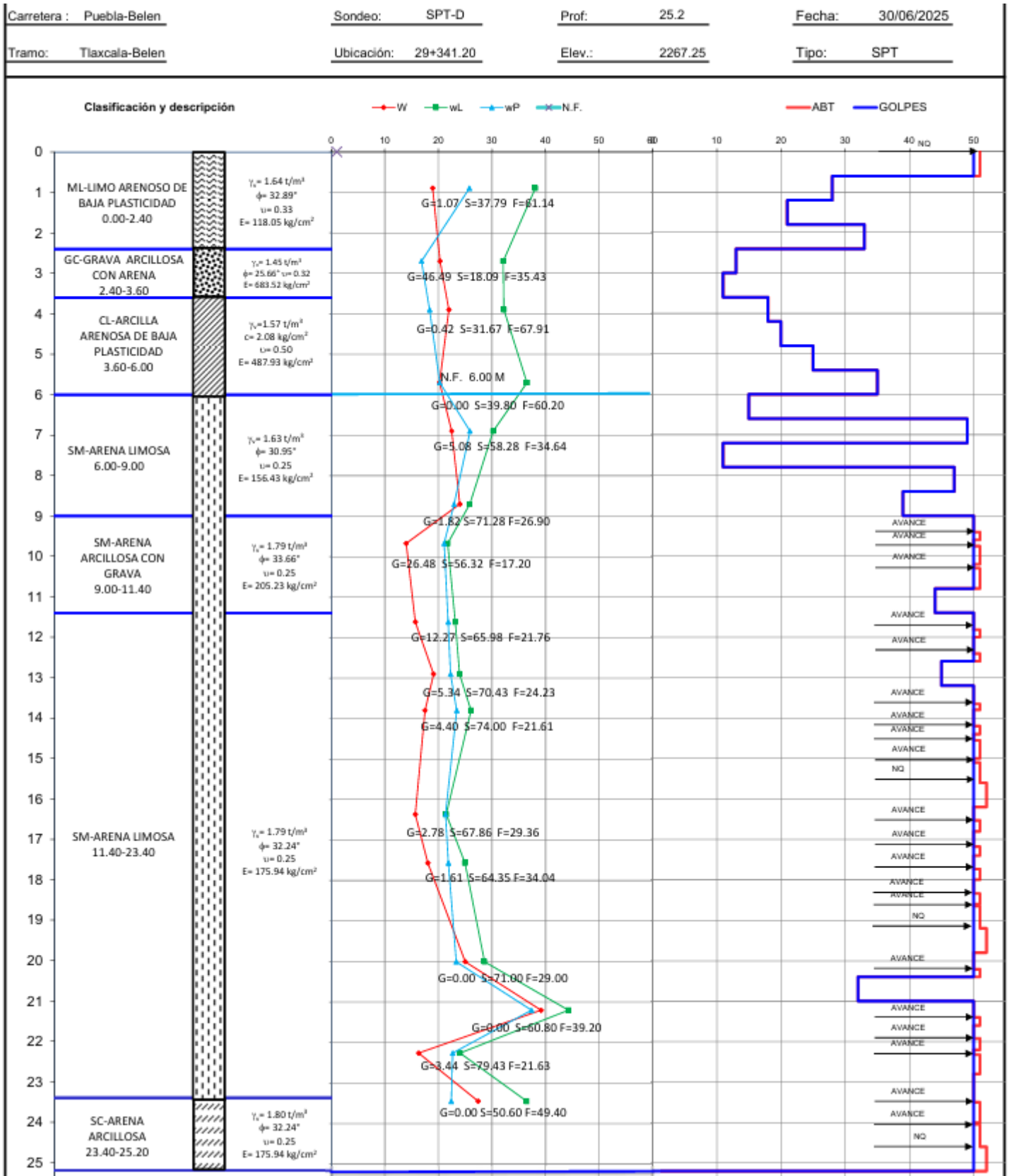


Imag. 31 Estratigrafía 13

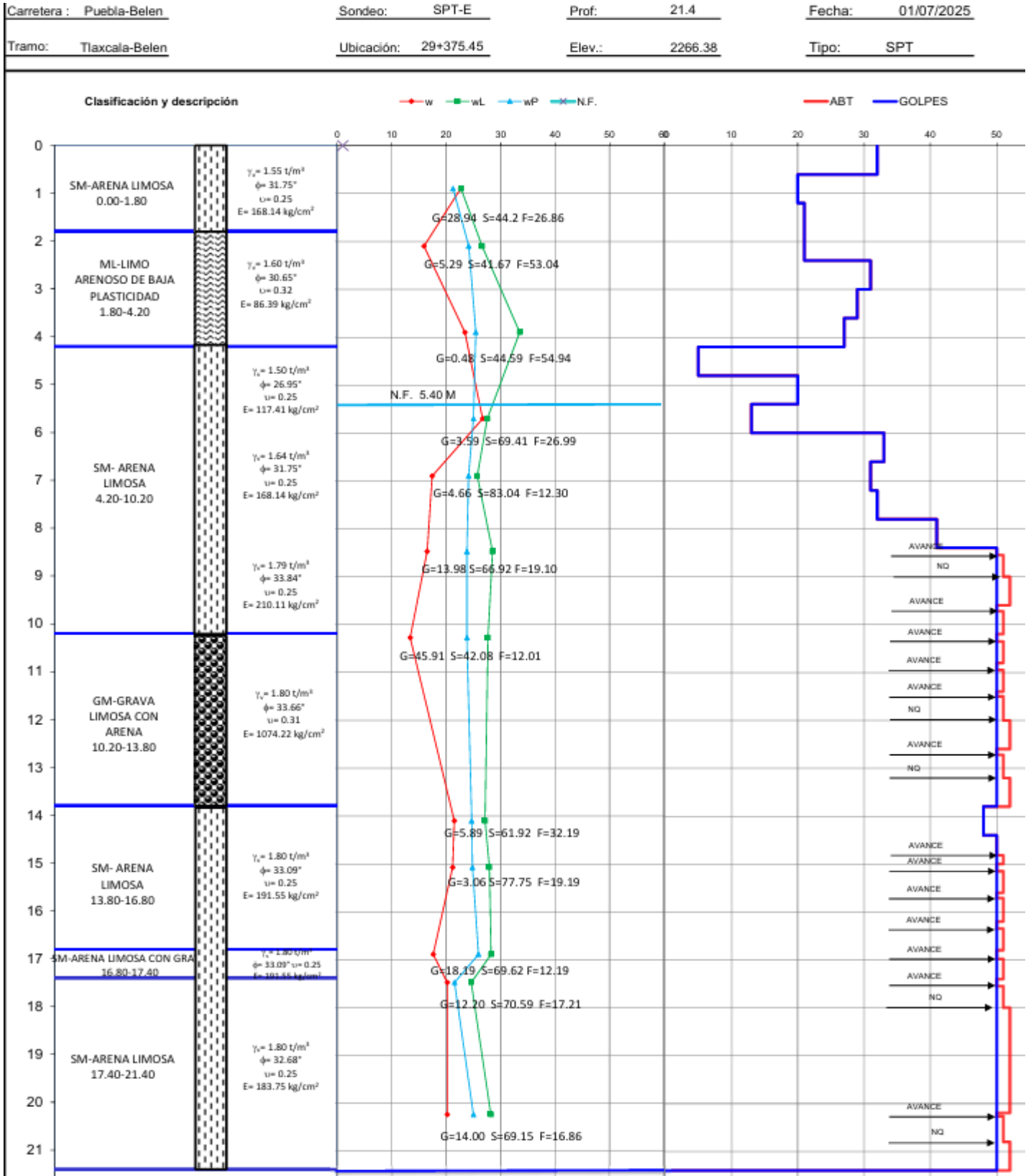
Carretera : Puebla-Belen	Sondeo: SPT-C	Prof: 30	Fecha: 28/06/2025
Tramo: Tlaxcala-Belen	Ubicación: 29+311.28	Elev.: 2267.97	Tipo: SPT



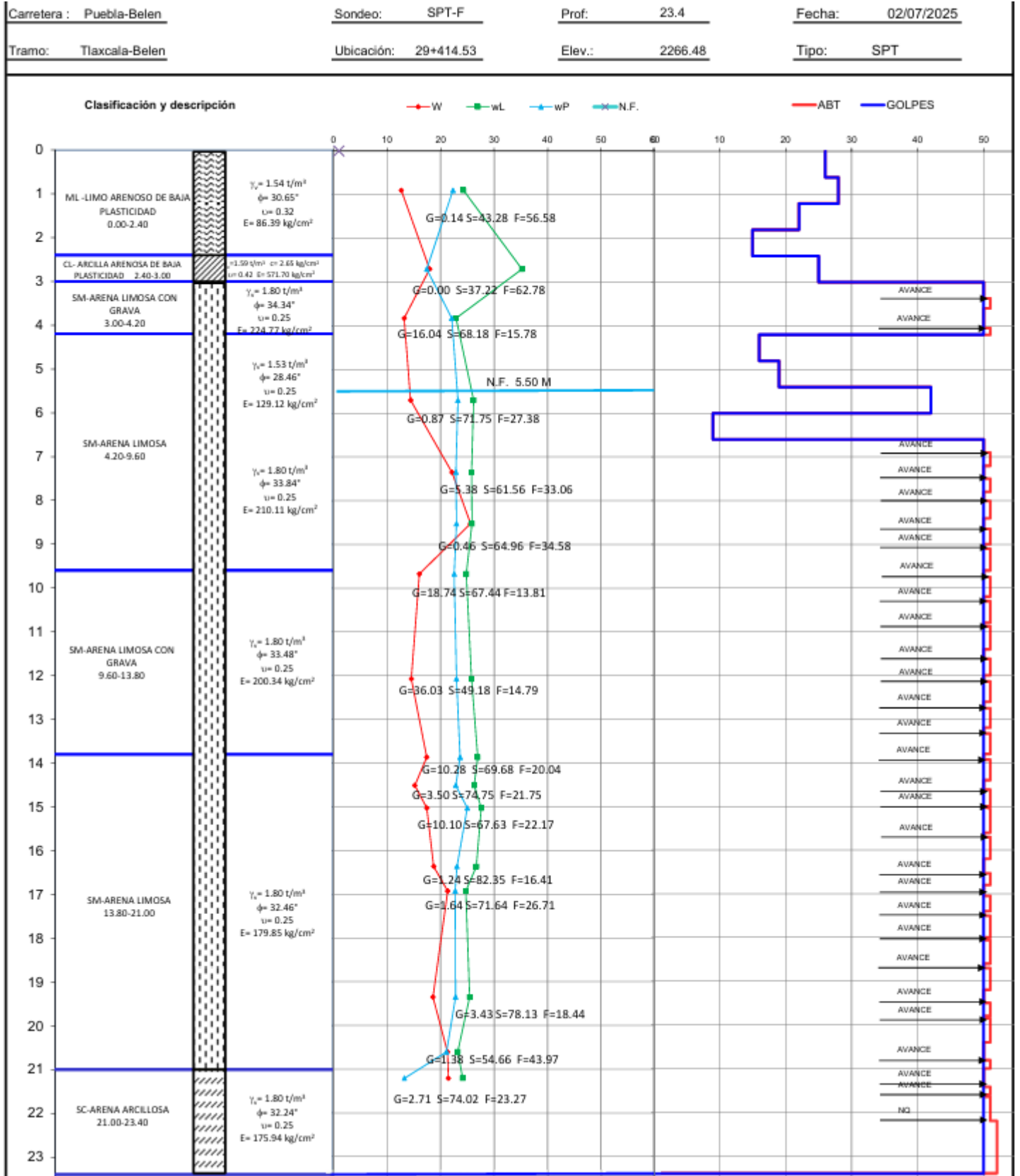
Imag. 32 Estratigrafía 14



Imag. 33 Estratigrafía 15



Imag. 34 Estratigrafía 16



Imag. 35 Estratigrafia 17

Carretera : Puebla-Belen

Sondeo: SPT-G

Prof: 35.18

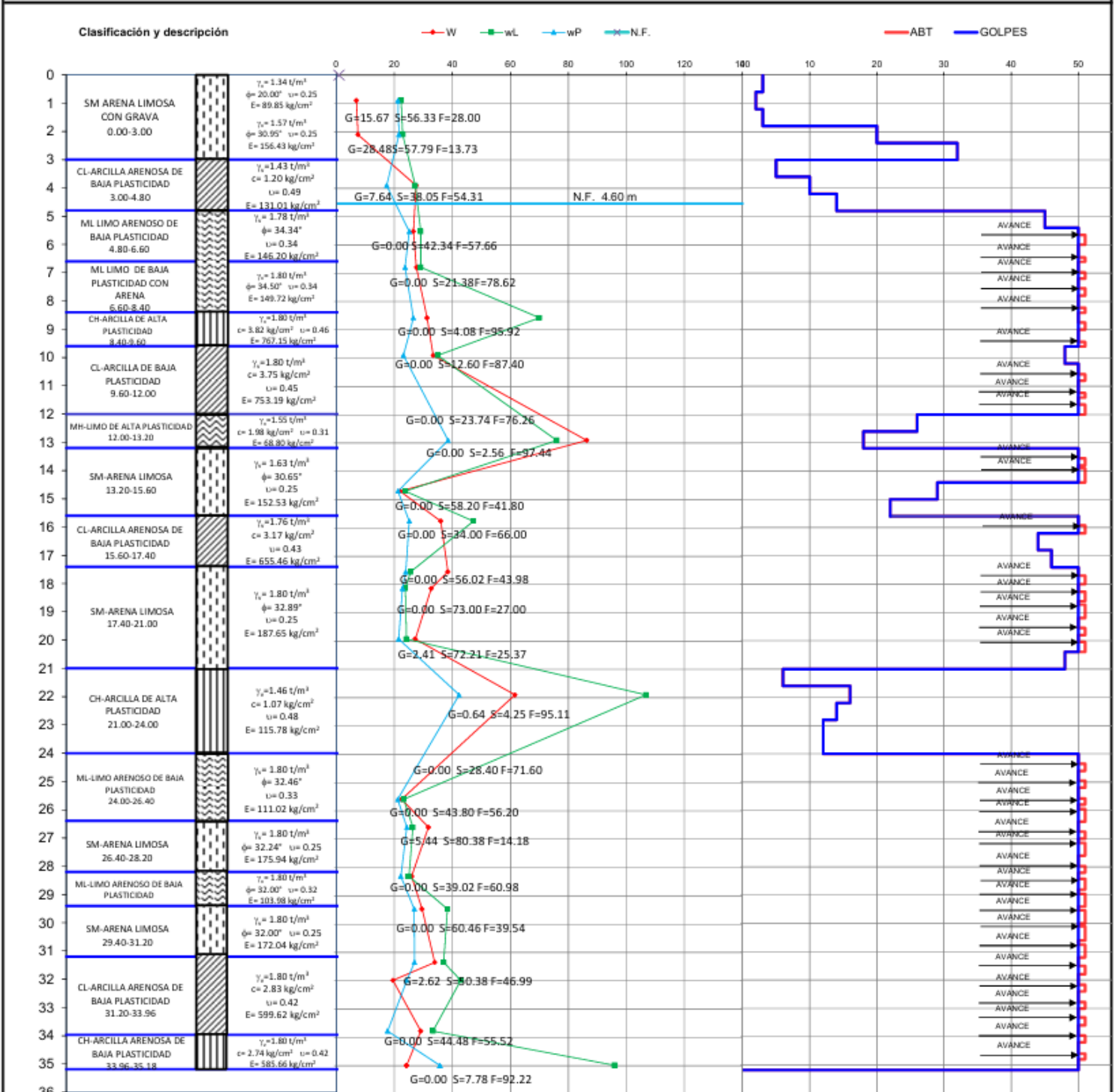
Fecha: 05/07/2025

Tramo: Tlaxcala-Belen

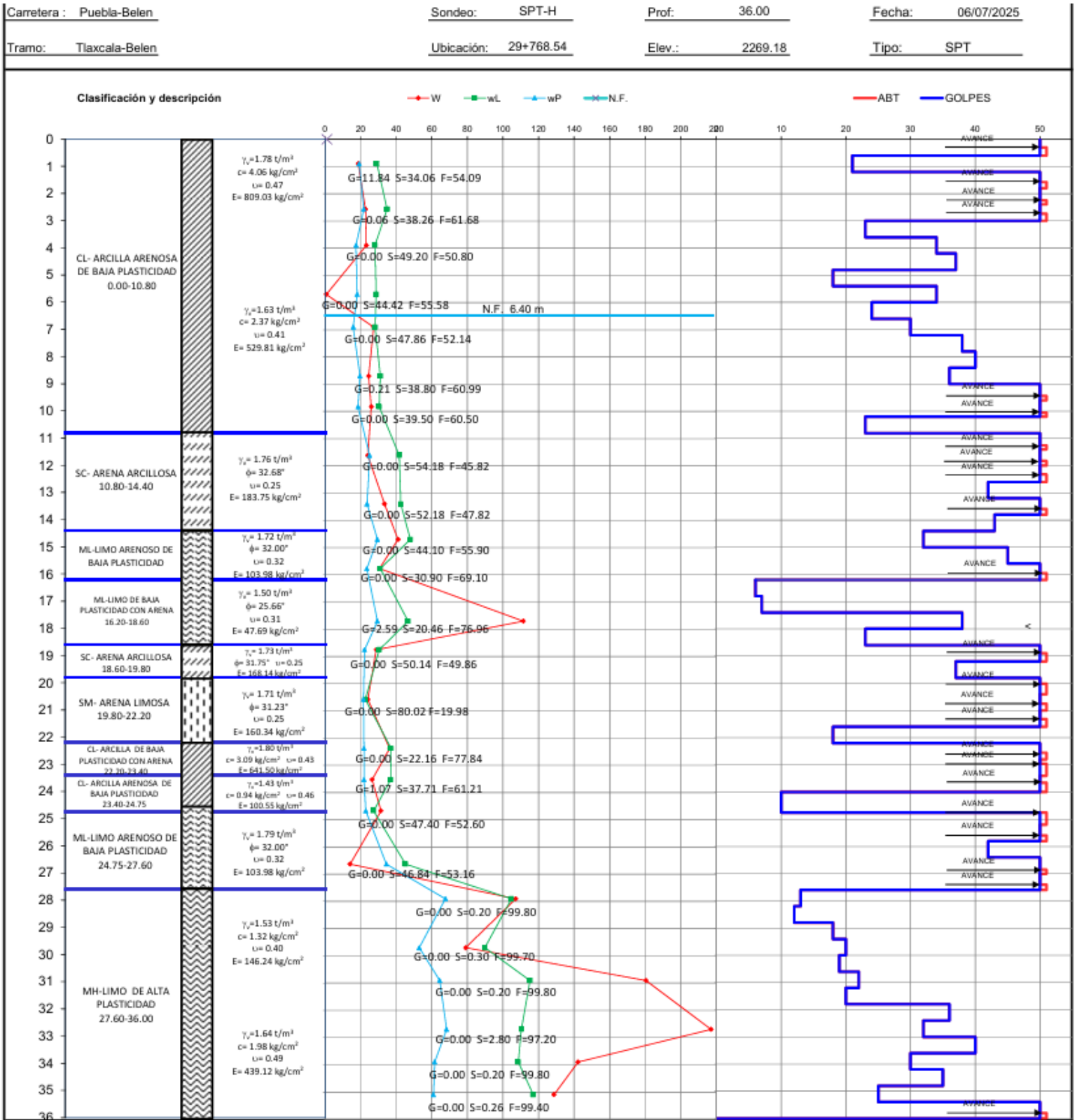
Ubicación: 29+571.43

Elev.: 2267.72

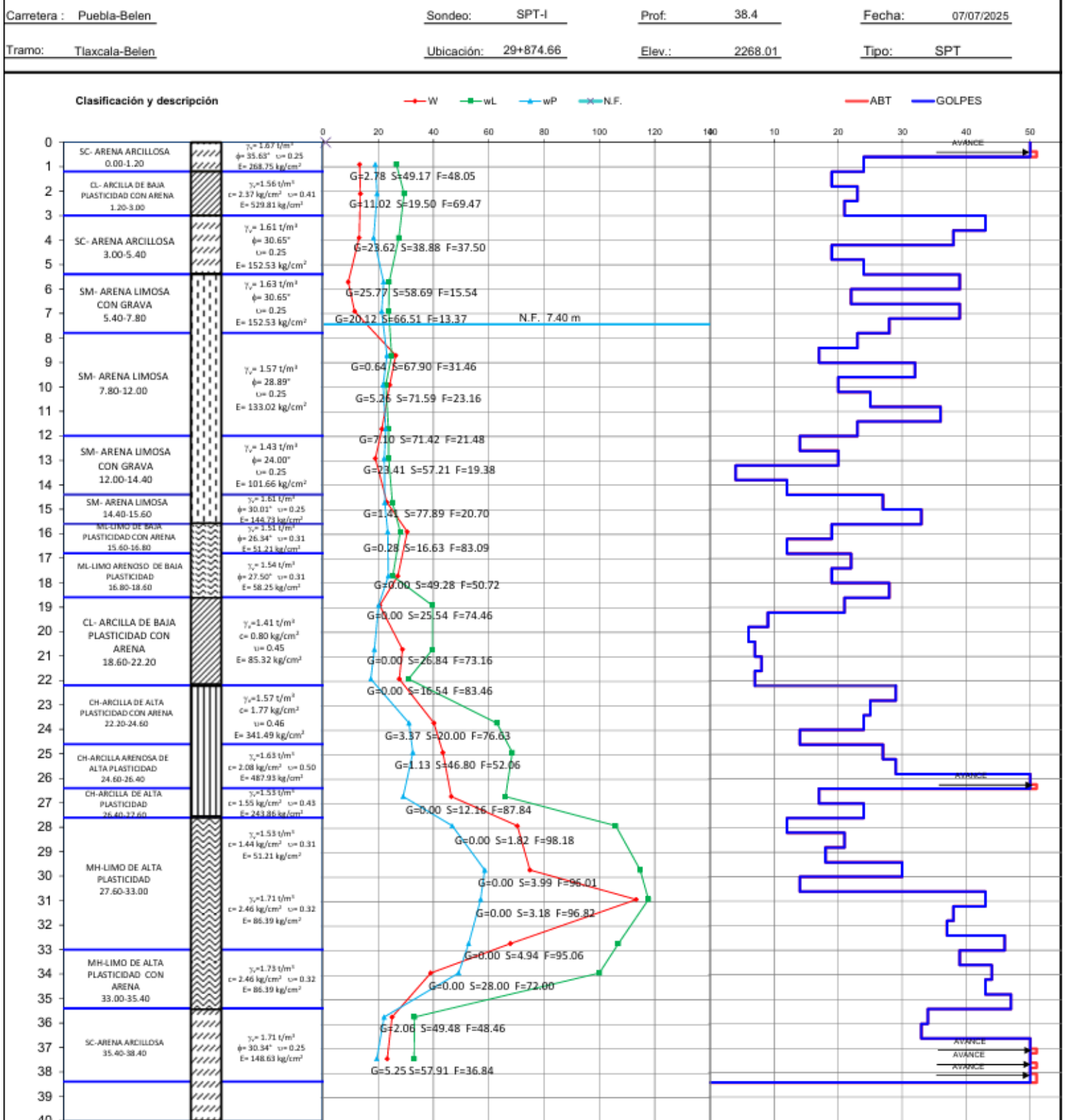
Tipo: SPT



Imag. 36 Estratigrafía 18



Imag. 37 Estratigrafia 19



Proceso y descripción de las actividades realizadas

El proyecto contempló la construcción de 113 pilas distribuidas a lo largo de 18 ejes. La obra se inició con la fase de cimentación, ejecutándose bajo los parámetros de los planos y las normativas aplicables.

Cimentación Profunda: Ejecución de Pilas

Perforación

Se comenzó con la perforación de los fustes de las pilas, utilizando una pilotera de perforación rotatoria. Se alcanzó la profundidad de desplante marcada en los planos.

En base a la Norma N-CTR-CAR-1-06-003-1 (Ejecución de Cimentaciones Profundas): Para estabilizar las paredes de la excavación y prevenir derrumbes en el terreno inestable. Se utilizaron lodos bentónicos.



Imag 38, fuente propia.

Habilitado, armado e izaje del acero

En el área de habilitado, se cuantificó, cortó y dobló el acero de refuerzo para las canastas. Se supervisaron y amarraron los elementos para formar la canasta de refuerzo.

En base a la Norma N-CTR-CAR-1-01-007/11 (Acero de Refuerzo): El acero de refuerzo se habilitó (cortó y dobló) de acuerdo con las especificaciones de diámetro, espaciamiento y longitudes de traslape que establece la norma.

Una vez que la supervisión liberó el armado, se utilizó una grúa de izaje especial para levantar la canasta. El izaje se realizó con cuidado para evitar la deformación del acero.



Imagen 39, armado de pilas, fuente propia.

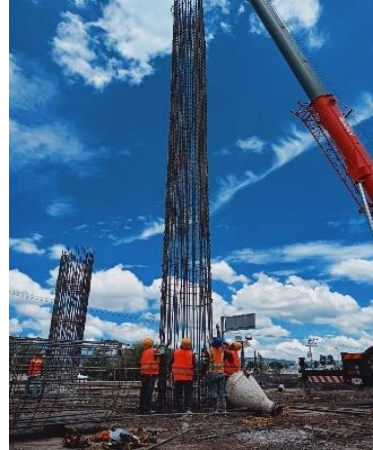


Imagen 40. Izado de acero, fuente propia

Colado De Pilas

Se colocó la cimbra metálica en la cabeza de la pila. El colado del concreto se realizó mediante el método Tremie, utilizando una bomba de concreto para asegurar la colocación desde el fondo hacia la superficie.

Procedimiento de Colado por Método Tremie

El Método Tremie es un procedimiento esencial y obligatorio para la colocación de concreto estructural en cimentaciones profundas, como pilas, cuando estas se ejecutan en presencia de agua o lodo estabilizador (bentonítico o polimérico), tal como lo exige la Norma N-CTR-CAR-1-06-003-1

El objetivo principal de este método es garantizar que el concreto se coloque desde el fondo de la excavación hacia arriba, sin que se segregue o se lave al entrar en contacto con el agua o el lodo, asegurando así una estructura homogénea y de la resistencia especificada.



Imagen 41. Colado de pila, fuente propia



Imagen 42. Colado de pila, fuente propia.

Equipo y Preparación

- **Tubo Tremie:** Se utiliza un tubo de colado (Tremie) que debe ser hermético al agua y tener un diámetro adecuado (generalmente de 20 a 30 cm) para permitir el flujo libre del concreto. Este tubo se compone de secciones unidas mediante bridas o acoplamientos roscados.
- **Tolva de Carga:** Se conecta una tolva en la parte superior del tubo Tremie para facilitar la recepción del concreto desde la bomba.
- **Sellado Inicial:** Antes de iniciar el colado, el extremo inferior del tubo Tremie debe descansar sobre el fondo de la excavación. Se coloca un tapón o émbolo (como una bola de espuma o un diafragma de plástico) dentro del tubo para evitar que el primer concreto entre en contacto directo con el agua/lodo y se lave.

Control de Calidad del Concreto Conforme a la Norma N-CTR-CAR-1-02-004/02 (Muestreo y Ensayos de Materiales), se debe implementar un estricto control de calidad:

- **Muestreo:** Se deben tomar muestras representativas del concreto fresco directamente en la descarga de la bomba o en el punto de colocación antes de ingresar a la tolva del Tremie.
- **Ensayos de Concreto Fresco:** Se verifica que el concreto cumpla con el revenimiento y contenido de aire especificados. El revenimiento es crucial para el método Tremie, ya que el concreto debe ser muy fluido pero cohesivo para pasar por el tubo y resistir la segregación (generalmente con altos rangos de revenimiento, a veces asistido por superplastificantes).
- **Ensayos de Resistencia:** Las muestras se utilizan para elaborar cilindros de prueba que se curan bajo condiciones controladas y se ensayan a compresión para verificar que la resistencia especificada (f'_c) se cumpla a la edad requerida (comúnmente a 7 y 28 días).

Excavación para zapatas y colado de plantilla

Excavación y Preparación del Fondo

La excavación se ejecutó para alcanzar la elevación de desplante requerida para las zapatas. Se utilizó maquinaria pesada (excavadora) para la remoción del material, el cual fue cargado y transportado fuera del sitio mediante camiones de volteo.

Una vez alcanzada la cota de desplante, el fondo de la excavación se arregló, niveló y limpió minuciosamente para asegurar una superficie de apoyo uniforme y libre de material suelto, orgánico o inestable, preparando la base para la plantilla de concreto.



Imagen 43, Excavación de zapata, fuente propia.

Colado de la Plantilla

Posteriormente, se procedió al colado de la plantilla con concreto pobre (generalmente con una baja resistencia a la compresión, f_c , típicamente de 100 a 150 kg/cm²).

La función de esta plantilla es:

- Proporcionar una superficie limpia y nivelada para el correcto desplante y habilitado de la armadura de la zapata.
- Evitar que la humedad o los contaminantes del suelo afecten el acero de refuerzo y el concreto estructural de la zapata principal.
- Servir como una capa de **control de nivelación** para el posterior colado de la cimentación.

Calidad del Concreto de Plantilla

- En estricto cumplimiento con la Norma N.CTR CAR 1.02.003/04 (Calidad de Materiales Concreto Hidráulico), el suministro y colocación del concreto utilizado en la plantilla se realizó bajo los siguientes parámetros resumidos:

Requisitos de Resistencia

- Aunque se trate de un concreto "pobre", la norma establece que la resistencia especificada f_c mínima debe ser cumplida. Se verifica, mediante pruebas de laboratorio a las muestras tomadas en obra (cilindros), que la resistencia promedio y la resistencia individual del concreto suministrado cumplan con los valores establecidos en el proyecto para la plantilla.

Requisitos de Durabilidad y Composición

- El concreto debe ser elaborado con materiales pétreos (agregados) y cemento que cumplan con las especificaciones de calidad requeridas por la norma, asegurando que el producto final sea duradero y adecuado para su propósito, aunque no sea el elemento estructural.

Principal consistencia (Revenimiento)

- Se verifica la consistencia del concreto fresco para asegurar que sea adecuada para su colocación. En el caso de la plantilla, generalmente se busca un revenimiento que facilite el tendido y el acabado de la superficie.



Imagen 44, colado de plantilla, fuente propia.

Habilitado y colocación del armado de zapata

El armado de la zapata se inicia sobre la plantilla de concreto pobre previamente colada y curada, que garantiza una base limpia y nivelada.

Colocación de la Parrilla Inferior

Se procede a la colocación de la parrilla de refuerzo inferior de la zapata, dispuesta en dos capas perpendiculares. La separación y el diámetro de las varillas deben cumplir estrictamente con las especificaciones detalladas en los planos estructurales.

Amarres: Todas las intersecciones de las varillas se amarran firmemente con alambre recocado, garantizando que el armado mantenga su forma y posición durante el colado y la vibración.

Marcado y Armado de Columna

- Simultáneamente o tras la colocación de la parrilla, se procede a la instalación del arranque de la columna, el cual debe estar perfectamente alineado y anclado a la zapata:

Replanteo y Alineamiento

- Utilizando equipo topográfico, se marcan los ejes y los puntos exactos que definirán el centro y el perímetro de la columna octogonal.

Armado de columnas octogonales

- Se colocan las varillas longitudinales de la columna, las cuales deben anclarse a la zapata mediante la longitud de desarrollo indicada en los planos. Se instala la primera sección de estribos octogonales para conferir rigidez a la sección de arranque.



Imagen 45, armado de parrilla inf. Para zapata, fuente propia

Colocación de Cimbra y Verificación

Cimbra Perimetral

- Se instala y asegura la cimbra perimetral para confinar el concreto de la zapata. La cimbra debe ser resistente, hermética y estar aplomada y nivelada para asegurar las dimensiones geométricas finales de la cimentación.

Supervisión y Liberación

- Este es un paso obligatorio. Antes de cualquier vertido de concreto, el armado y la cimbra deben ser inspeccionados y liberados por la Supervisión y el Topógrafo de la Obra.
- El Topógrafo verifica: Ejes, niveles, desplome y dimensiones de la cimbra y el arranque.
- La Supervisión verifica: Diámetros y número de varillas, longitudes de traslape, separación de estribos, amarres correctos y el recubrimiento efectivo con el uso de silletas.



Imagen 46. Cimbrado de zapata, fuente propia.

Colado de la Zapata

Una vez liberado el armado, se procede al colado, garantizando la calidad y compactación del concreto.

Cumplimiento Normativo (N.CTR CAR 1.02.003/04): El concreto hidráulico suministrado debe cumplir con la resistencia especificada f'_c y con los parámetros de revenimiento adecuados para la sección y el método de colocación. Se toman las muestras de control conforme a la Norma N-CTR-CAR-1-02-004/02 (Muestreo y Ensayos de Materiales).

Colocación: El concreto se vierte de manera controlada y en una sola operación para evitar juntas frías dentro de la masa de la zapata.

Consolidación: Se emplean vibradores internos de inmersión para consolidar el concreto. El vibrado debe ser sistemático, penetrando la capa recién vertida y alcanzando la capa inferior para asegurar la expulsión de aire atrapado (cangrejas) y la consolidación total alrededor de todo el acero de refuerzo.

- **Cuidado Crítico:** Se debe evitar el sobre-vibrado, que puede causar segregación de los agregados, y el contacto directo del vibrador con la cimbra o las varillas.

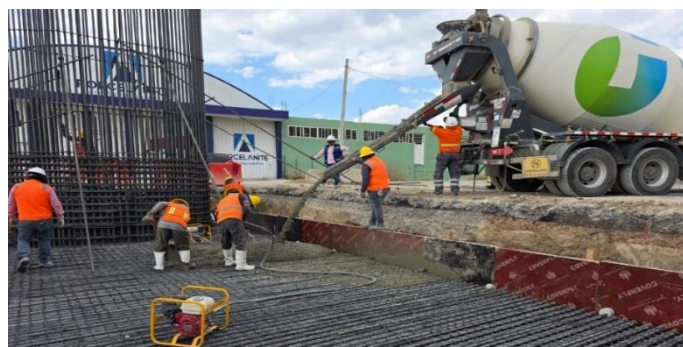


Imagen 47, colado de zapata, fuente propia.

Cimbrado y Colado de Columnas Octogonales

Para el cimbrado, se montó el molde de la columna utilizando cimbra de madera, se verificó que la cimbra estuviera limpia, aceitada y sellada para prevenir la pérdida de concreto. Un paso crucial fue el aplomado de la cimbra, utilizando riostras en doble dirección para garantizar la verticalidad y rigidez del elemento durante el colado.

El colado del concreto se ejecutó por trepados (etapas), controlando la altura de vertido para limitar la presión lateral sobre los moldes. El concreto se colocó de forma continua para evitar la creación de juntas frías. Para la consolidación, se utilizó un vibrador interno, asegurando la expulsión del aire atrapado sin segregar la mezcla.

Finalmente, el descimbrado de las zapatas y columnas se realizó únicamente cuando las pruebas de control de calidad confirmaron que el concreto había alcanzado la resistencia adecuada para soportar las cargas de construcción, en cumplimiento con la Norma N.CTR CAR 1.02.003/04 respecto a la edad y resistencia del concreto para retiro de cimbras.

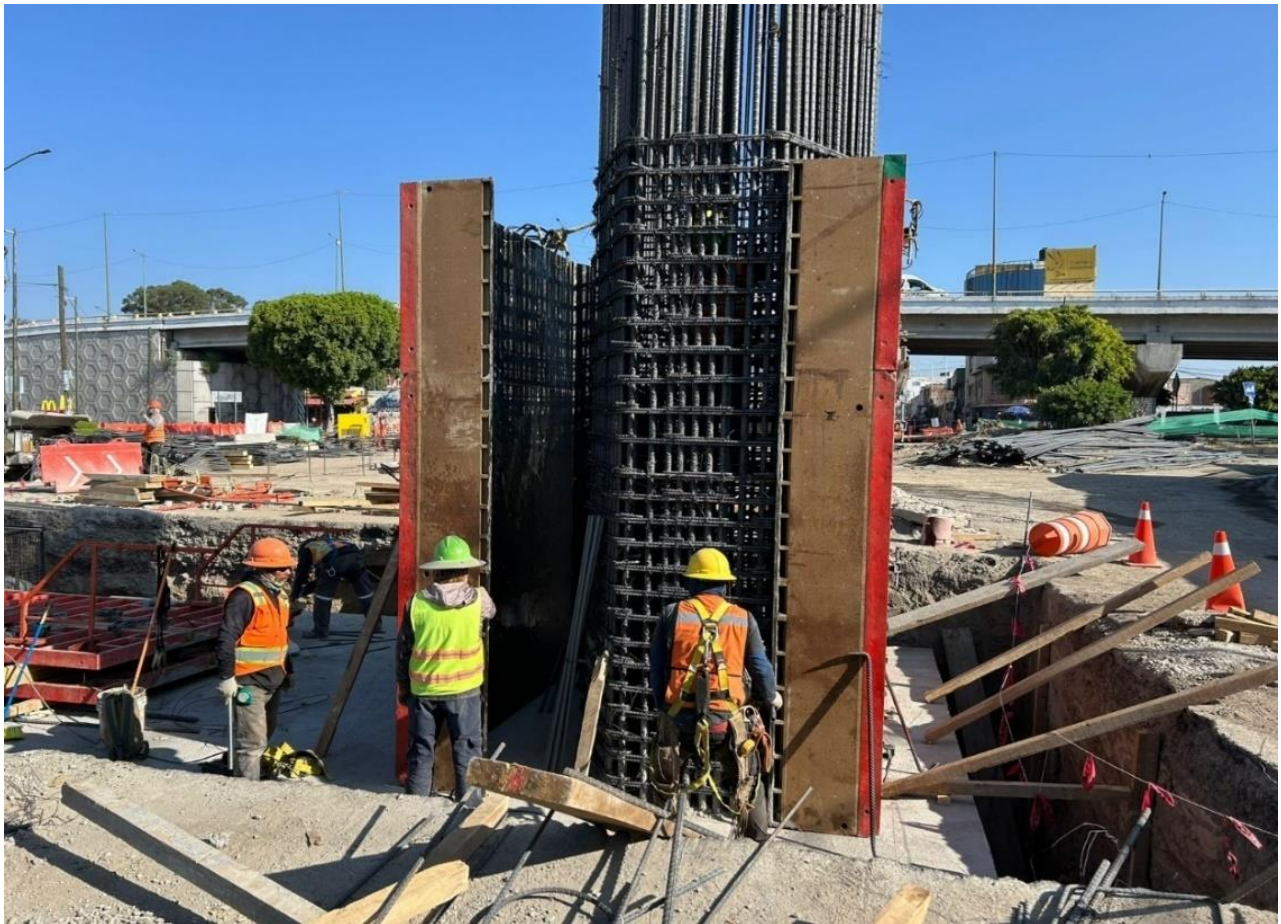


Imagen 48, cimbrado de columnas octogonales, fuente propia.



Imagen 49, colado de columnas octogonales, fuente propia.

Relleno y Compactación

Se comenzó a rellenar el espacio alrededor de la cimentación con material de banco. El relleno se colocó en capas controladas de espesor. Se utilizó un rodillo vibratorio para la compactación de las capas.

- En base a la Norma N-CTR-CAR-1-01-011/20 (Materiales para Terracerías): El material de banco utilizado para el relleno fue previamente aprobado en laboratorio, cumpliendo con las características geotécnicas y granulométricas que exige esta norma para los materiales de terracerías y rellenos estructurales.
- En base a la Norma N.CTR CAR 1.02.003/04 (Calidad de Materiales): Se ejecutaron pruebas de densidad con equipos de medición para confirmar que se alcanzó el grado de compactación especificado en el proyecto, tal como lo requieren las normas de calidad.



Imag. 50 Compactación, fuente propia.

Solución de Interferencias

Durante el transcurso de las actividades, la ejecución se vio condicionada por diversos inconvenientes técnicos y externos que requirieron la implementación inmediata de soluciones resolutivas:

Afloramiento y Control del Nivel Freático

- Al realizar las excavaciones para las zapatas, se detectó la presencia del nivel freático en ciertas zonas. Este afloramiento representó un riesgo al comprometer la estabilidad del fondo de la excavación y dificultar la colocación de la plantilla de concreto.

Proceso Resolutivo: Se procedió a la implementación de un sistema de bombeo superficial (depresión) constante para mantener la excavación seca. Esto permitió sanear el fondo, estabilizar el terreno y garantizar la correcta colocación y fraguado de la plantilla de concreto pobre, asegurando que la superficie de desplante de la zapata estuviera libre de agua.

Interferencia con Líneas de Alta Tensión (CFE)

Se identificó una interferencia crítica a la altura del Eje 6, donde una línea de alta tensión de la CFE (Comisión Federal de Electricidad) invadía el área de trabajo. Esta línea representaba un riesgo de electrocución inminente y era un impedimento directo para el montaje seguro de andamios requeridos para el cimbrado y colado de los cabezales y para la operación de la maquinaria.

- Proceso Resolutivo:
 1. Suspensión Temporal: Se coordinó la suspensión temporal del suministro eléctrico en dicha línea.
 2. Desconexión y Reubicación: Se procedió a la remoción o corte controlado de la línea de alta tensión en el área de afección.
 3. Mitigación Social: Para alimentar a los usuarios y predios afectados por el corte de energía, se instalaron generadores eléctricos temporales, manteniendo la continuidad del servicio en la comunidad.

Esta gestión de interferencias permitió despejar el área, habilitar el correcto armado de los andamios y garantizar la seguridad del personal para la posterior ejecución de los trabajos en altura.



Imagen 51 junta con CFE para reubicar línea de interferencia, fuente propia

CAPITULO III APORTACIONES

El desarrollo del proyecto del Distribuidor Vial de Santa Ana representó una experiencia integral que permitió generar diversas aportaciones técnicas, metodológicas, normativas y formativas, derivadas de la participación directa en las actividades realizadas en obra. Este capítulo tiene como propósito documentar dichas aportaciones, destacando la importancia de la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante la formación académica, así como el fortalecimiento de competencias profesionales propias de la ingeniería civil.

La ejecución de una obra de infraestructura vial de esta magnitud implica la interacción de múltiples procesos constructivos, criterios de diseño, controles de calidad y medidas de seguridad, lo que convierte al proyecto en un espacio de aprendizaje significativo. A través de la observación, análisis y participación en campo, fue posible comprender la complejidad que conlleva la planeación y ejecución de un distribuidor vial, así como la responsabilidad técnica y social que implica su correcta construcción.

Aportaciones técnicas

Las aportaciones técnicas obtenidas durante el desarrollo del proyecto se relacionan principalmente con el conocimiento práctico de los sistemas constructivos empleados en el Distribuidor Vial de Santa Ana. La participación en actividades como la fabricación de plantillas, la ejecución de pilotes, el colado de zapatas y la construcción de columnas circulares y octogonales permitió reforzar los fundamentos teóricos relacionados con la mecánica de suelos, el diseño estructural y la tecnología del concreto.

En el caso específico de los pilotes, se adquirió una comprensión más profunda del proceso de cimentación profunda, reconociendo su importancia en la transmisión de cargas hacia estratos resistentes del subsuelo. Se identificaron aspectos clave como la alineación, profundidad, armado del acero de refuerzo y el adecuado colado del concreto, así como la necesidad de controlar variables que influyen directamente en el desempeño estructural del elemento.

Respecto a las zapatas, se fortaleció el conocimiento sobre su función como elemento de transición entre la cimentación profunda y la superestructura. La observación del proceso constructivo permitió comprender la relevancia de una correcta excavación, nivelación, colocación de plantilla, armado del refuerzo y colado, asegurando la adecuada distribución de cargas y la estabilidad del conjunto estructural.

La construcción de columnas circulares y octogonales representó una aportación técnica relevante, ya que permitió analizar el comportamiento estructural de diferentes geometrías, así como los retos constructivos asociados a su cimbrado, alineación y verticalidad. Además, se comprendió la importancia de la correcta colocación de estribos y del control dimensional durante el colado del concreto.

Adicionalmente, la participación en la fabricación de trabes permitió reforzar conocimientos relacionados con elementos estructurales sometidos a flexión y cortante. Se identificaron las etapas de habilitado del acero, armado, colocación de moldes, colado, vibrado y curado, comprendiendo la influencia de cada una de estas actividades en el desempeño estructural final del distribuidor vial.

Aportaciones metodológicas:

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto permitió desarrollar habilidades relacionadas con la planeación, organización y seguimiento de actividades constructivas, fundamentales para el control eficiente de una obra vial. La comprensión de la secuencia constructiva permitió identificar la interdependencia entre actividades, así como la importancia de cumplir con los tiempos establecidos en el programa de obra.

La elaboración y análisis de reportes diarios de obra representó una aportación metodológica significativa, ya que estos documentos permiten registrar de manera sistemática los avances, incidencias, condiciones del sitio, personal y maquinaria utilizados. Esta práctica favoreció el desarrollo de habilidades de observación, síntesis y redacción técnica, indispensables en el ejercicio profesional.

Asimismo, se adquirió experiencia en la supervisión básica de trabajos en campo, verificando que las actividades se ejecutaran conforme a planos, especificaciones técnicas y procedimientos establecidos. Esta aportación metodológica permitió fortalecer el criterio técnico para identificar desviaciones, proponer ajustes y comunicar observaciones de manera clara y oportuna al personal responsable.

La interacción constante con diferentes áreas involucradas en el proyecto, como residentes de obra, supervisores y personal operativo, permitió comprender la importancia de la coordinación multidisciplinaria, así como el papel que desempeña la comunicación efectiva en el éxito de una obra de infraestructura.

Aportaciones en seguridad y normatividad:

Una de las aportaciones más relevantes del proyecto fue la consolidación de una cultura de seguridad en obra, especialmente importante en la construcción de un distribuidor vial donde existen riesgos asociados a trabajos en altura, excavaciones profundas, manejo de maquinaria pesada y tránsito vehicular continuo.

La participación en actividades relacionadas con la colocación de señalética preventiva permitió comprender la importancia de la identificación y comunicación de riesgos, así como la correcta delimitación de áreas de trabajo. Se reconoció que la señalización adecuada contribuye de manera directa a la prevención de accidentes y al orden dentro del área de obra.

Asimismo, se reforzó el conocimiento de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a la seguridad e higiene en los centros de trabajo, entendiendo que su cumplimiento no solo es una obligación legal, sino una responsabilidad ética y profesional. Estas aportaciones permitieron valorar la seguridad como un elemento esencial del proceso constructivo y no como una actividad secundaria.

Aportaciones formativas y profesionales:

Desde el ámbito formativo, el desarrollo del proyecto representó una oportunidad para consolidar competencias profesionales clave, tales como el trabajo en equipo, la responsabilidad, la disciplina, la comunicación técnica y la capacidad de adaptación a entornos dinámicos.

La participación en obra permitió fortalecer la toma de decisiones bajo supervisión, el análisis de problemas reales y la aplicación de soluciones prácticas, aspectos que difícilmente se adquieren únicamente en el aula. Esta experiencia contribuyó a una formación integral orientada al ejercicio profesional de la ingeniería civil.

Además, el contacto directo con personal con amplia experiencia en obra permitió adquirir aprendizajes basados en la práctica, reforzando valores como la ética profesional, el respeto a los procedimientos y la importancia del cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Aportación global del proyecto:

De manera global, las aportaciones derivadas del desarrollo del proyecto del Distribuidor Vial de Santa Ana permitieron consolidar una visión integral de la ingeniería civil aplicada a la infraestructura vial. La combinación de conocimientos técnicos, habilidades metodológicas, criterios de seguridad y valores profesionales conforma un aprendizaje significativo que fortalece la formación académica y profesional.

La experiencia obtenida a lo largo del proyecto reafirma la importancia de la vinculación entre la teoría y la práctica, así como el papel fundamental del ingeniero civil en el desarrollo de obras que impactan directamente en la movilidad, seguridad y calidad de vida de la sociedad.

ANEXOS

Términos estructurales

- Acero de refuerzo: Material metálico empleado en elementos de concreto armado para resistir esfuerzos de tensión.
- Ancho efectivo: Dimensión considerada en el análisis estructural para la correcta distribución de esfuerzos.
- Arranque estructural: Zona inicial de un elemento vertical que transmite cargas hacia la cimentación.
- Columna circular: Elemento estructural vertical de sección circular que proporciona una distribución uniforme de esfuerzos.
- Confinamiento: Efecto producido por el acero transversal que mejora la resistencia y ductilidad del concreto.
- Cortante: Esfuerzo interno que tiende a producir deslizamiento entre secciones de un elemento estructural.
- Desplante estructural: Nivel donde inicia formalmente la estructura sobre la cimentación.
- Estribo: Elemento de acero transversal que controla el cortante y confina el acero longitudinal.
- Flexión: Esfuerzo que provoca curvatura en elementos estructurales como trabes y losas.
- Trabe: Elemento horizontal diseñado para resistir cargas principalmente por flexión.

Términos geotécnicos y de cimentación

- Capacidad de carga: Máxima presión que el suelo puede soportar sin presentar falla.
- Compactación: Proceso de densificación del suelo mediante energía mecánica.
- Estrato resistente: Capa del subsuelo con características adecuadas para soportar cargas estructurales.
- Pilote: Elemento estructural de cimentación profunda que transmite cargas a estratos resistentes.
- Relleno estructural: Material colocado y compactado para dar estabilidad a elementos constructivos.
- Subrasante: Superficie del terreno preparada para recibir capas estructurales superiores.

Términos constructivos y de obra

- Alineación: Correcta ubicación de un elemento conforme a ejes y niveles del proyecto.
- Armado: Ensamble del acero de refuerzo previo al colado del concreto.
- Cimbra: Molde temporal que da forma al concreto fresco.
- Curado: Procedimiento para mantener condiciones adecuadas de humedad y temperatura del concreto.
- Fraguado: Proceso de endurecimiento inicial del concreto.
- Habilitado: Preparación del acero conforme a planos y especificaciones.
- Plantilla: Capa de concreto pobre que sirve como base de desplante.
- Vibrado: Técnica para eliminar vacíos en el concreto fresco.

Términos normativos (SCT, AASHTO, NOM)

- AASHTO: Asociación Americana de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, cuyas normas se utilizan como referencia en diseño vial.
- Especificaciones SCT: Lineamientos técnicos emitidos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes para obras viales.
- NOM: Norma Oficial Mexicana de cumplimiento obligatorio.
- NOM-026-STPS-2008: Norma que regula colores y señales de seguridad e higiene en centros de trabajo.
- Proyecto ejecutivo: Conjunto de planos, memorias y especificaciones que definen la obra.

Resumen de Cimentaciones

Para asegurar la estabilidad del Distribuidor Vial Santa Ana Chiautempan, se llevó a cabo un análisis integral de cimentación en sus 18 ejes. El diseño se fundamentó en la interacción de tres disciplinas clave: dinámica de suelos, geotecnia y análisis de deformaciones.

Caracterización Dinámica y Análisis Sísmico

Se determinó la respuesta del terreno ante eventos sísmicos mediante la medición de la velocidad de propagación de ondas de corte (V_s).

- Metodología: Los valores obtenidos a través de la prueba de penetración estándar (SPT) fueron corregidos por energía (N_1)60 para garantizar la precisión de los parámetros dinámicos.
- Resultados: El sitio se clasificó globalmente como Tipo de Suelo II (suelo medio/firme).
- Espectro de Diseño: Con el software PRODISIS, se generó un espectro de diseño regional que considera una importancia estructural tipo "A", asegurando que la cimentación soporte las aceleraciones máximas esperadas en la zona.

Diseño Geotécnico de Cimentación Profunda

Dada la magnitud de las cargas del viaducto, se optó por un sistema de cimentación profunda basado en pilas coladas en sitio.

- Capacidad de Carga: Se calculó la resistencia total de las pilas combinando la fricción lateral del fuste y el apoyo por punta en los estratos más compactos.
- Factores de Seguridad: El diseño aplicó factores de resistencia normativos (0.45 para fuste y 0.40 para punta), garantizando que el suelo trabaje dentro de rangos seguros de carga admisible.

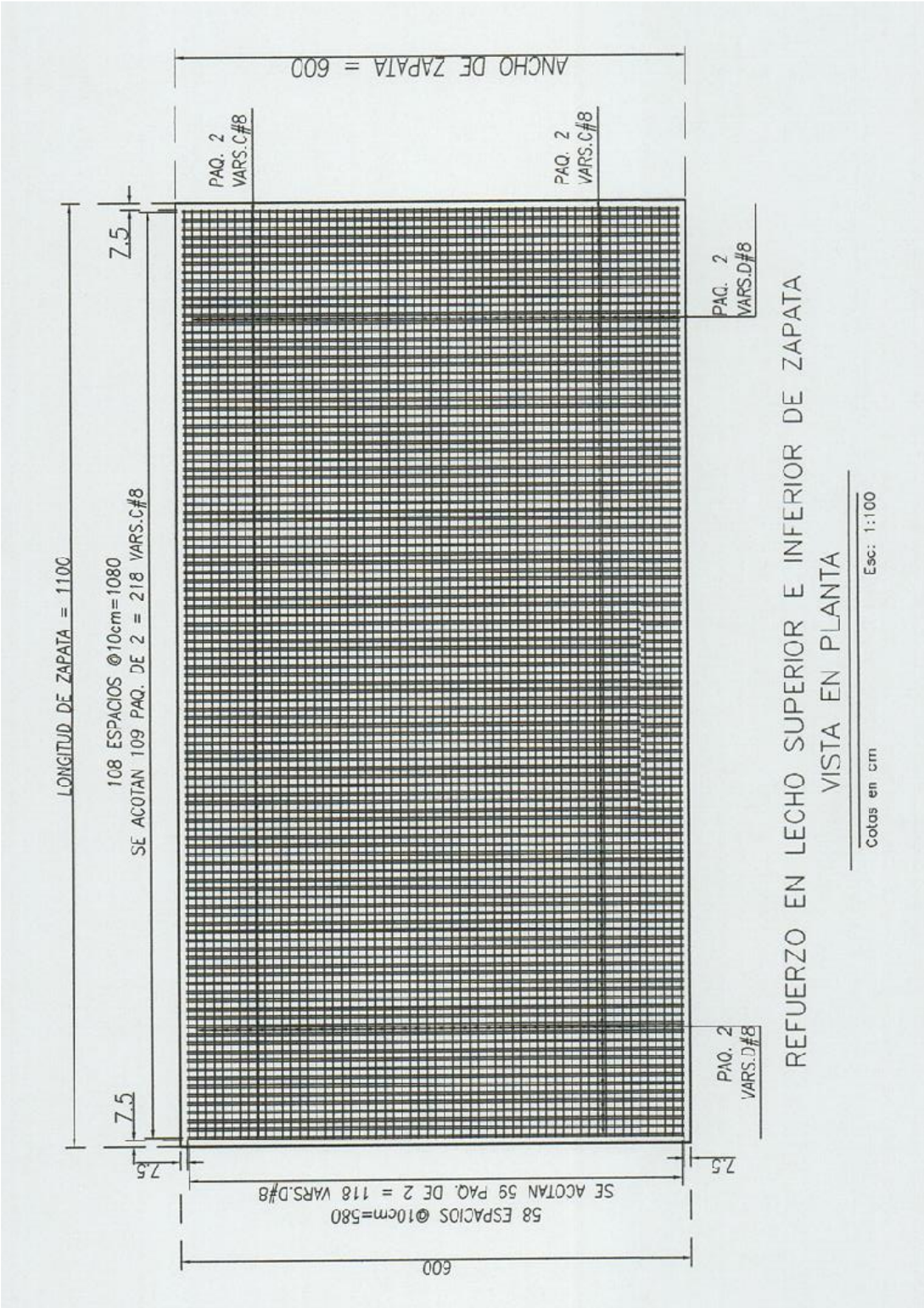
Verificación de Asentamientos

Finalmente, se realizó el análisis de asentamientos elásticos para predecir el comportamiento de las pilas bajo condiciones de servicio.

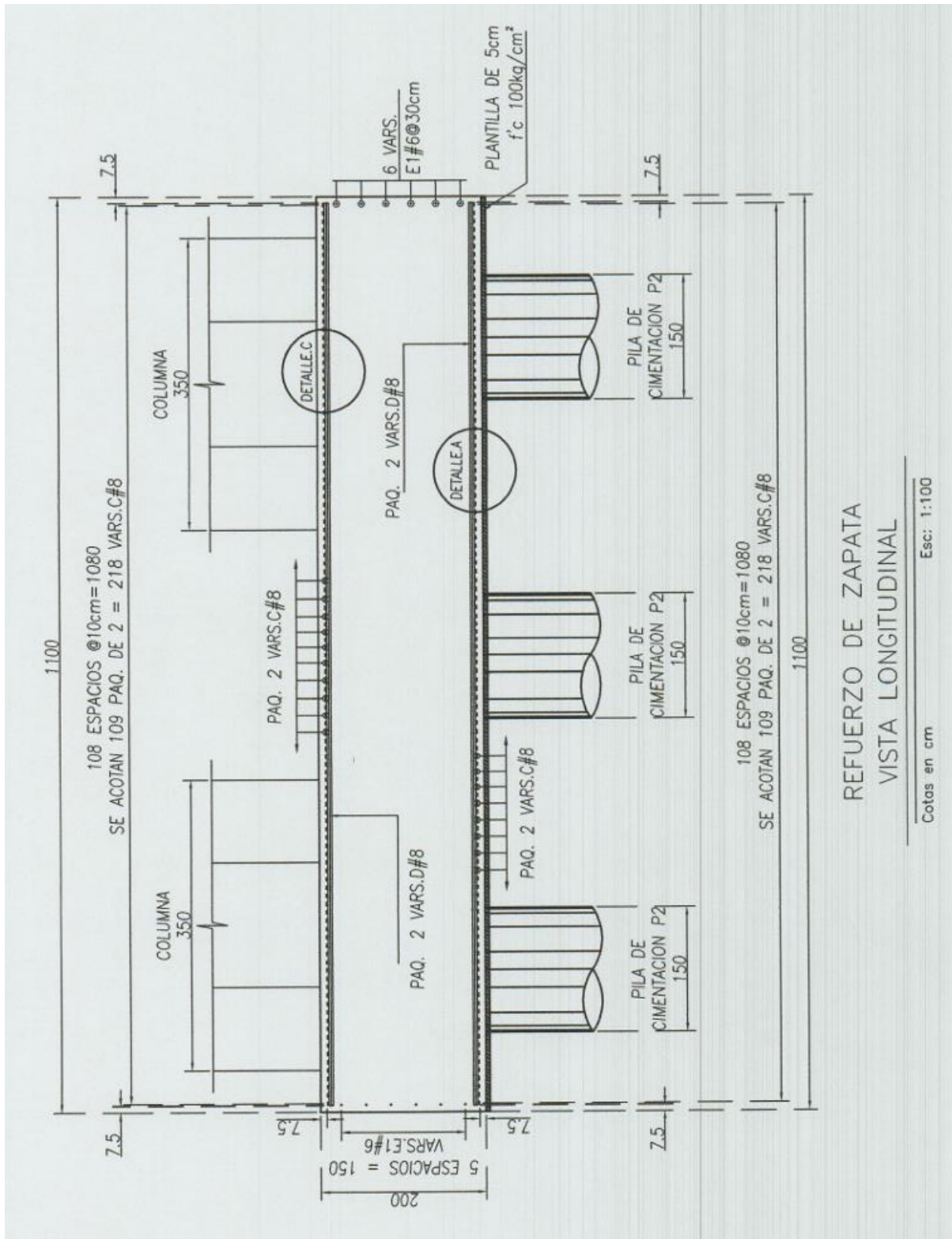
- **Análisis de Deformación:** Se evaluó el acortamiento elástico del concreto y la deformación del suelo en la punta de las pilas.
- **Conclusión de Servicio:** Los asentamientos calculados se mantienen dentro de los rangos permisibles, asegurando que no existan movimientos que comprometan la integridad de las trabes o la seguridad de los usuarios del distribuidor.

Nota: Los datos y procedimientos descritos en este apartado corresponden a la metodología general de cálculo aplicada a los 18 ejes del proyecto. La información presentada se basa en los resultados obtenidos de los sondeos SPT y el análisis de laboratorio, los cuales sirvieron para validar la capacidad de carga y el comportamiento dinámico de cada apoyo de manera individual, garantizando la seguridad global de la cimentación.

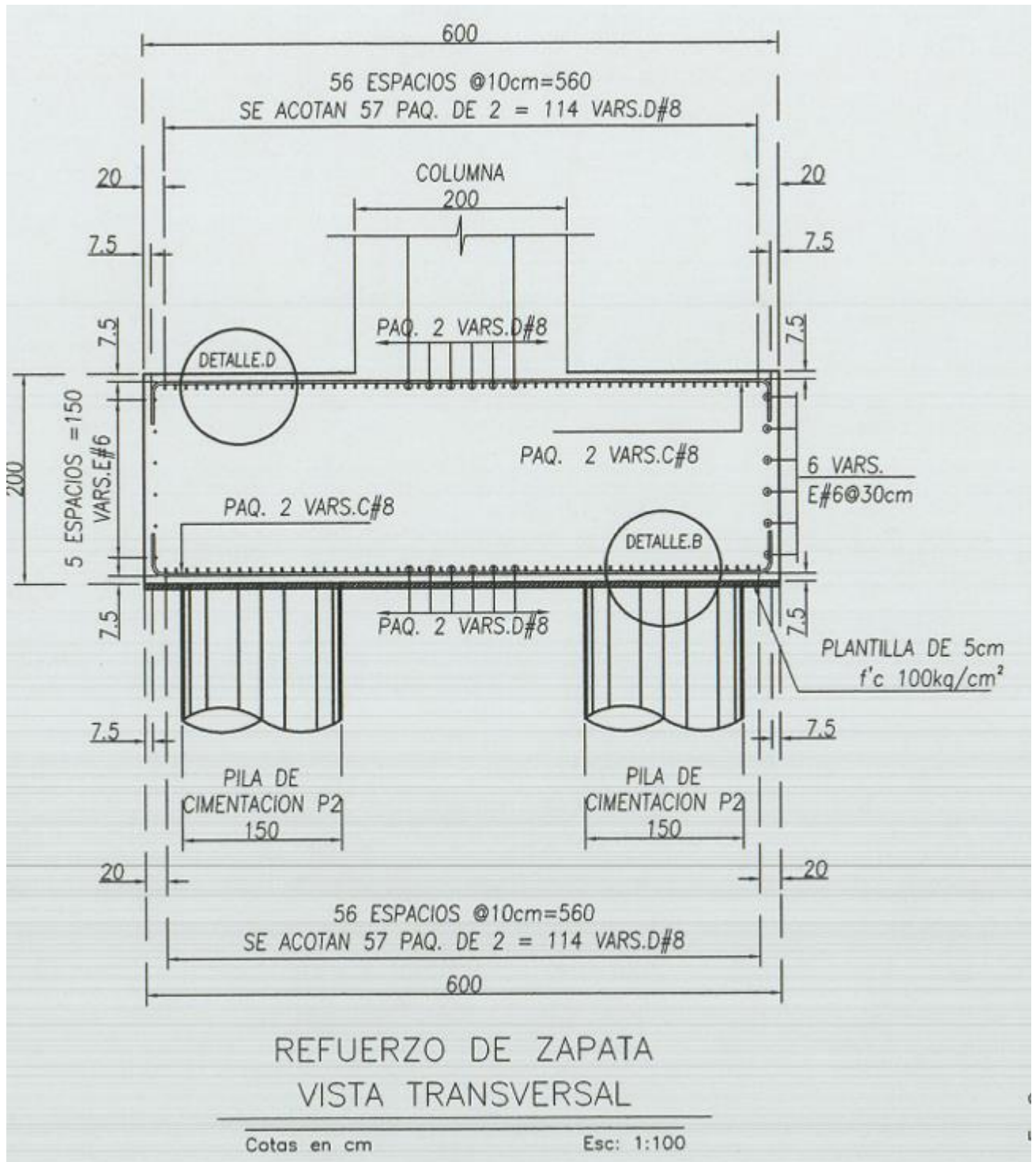
Imag. 52 Zapata



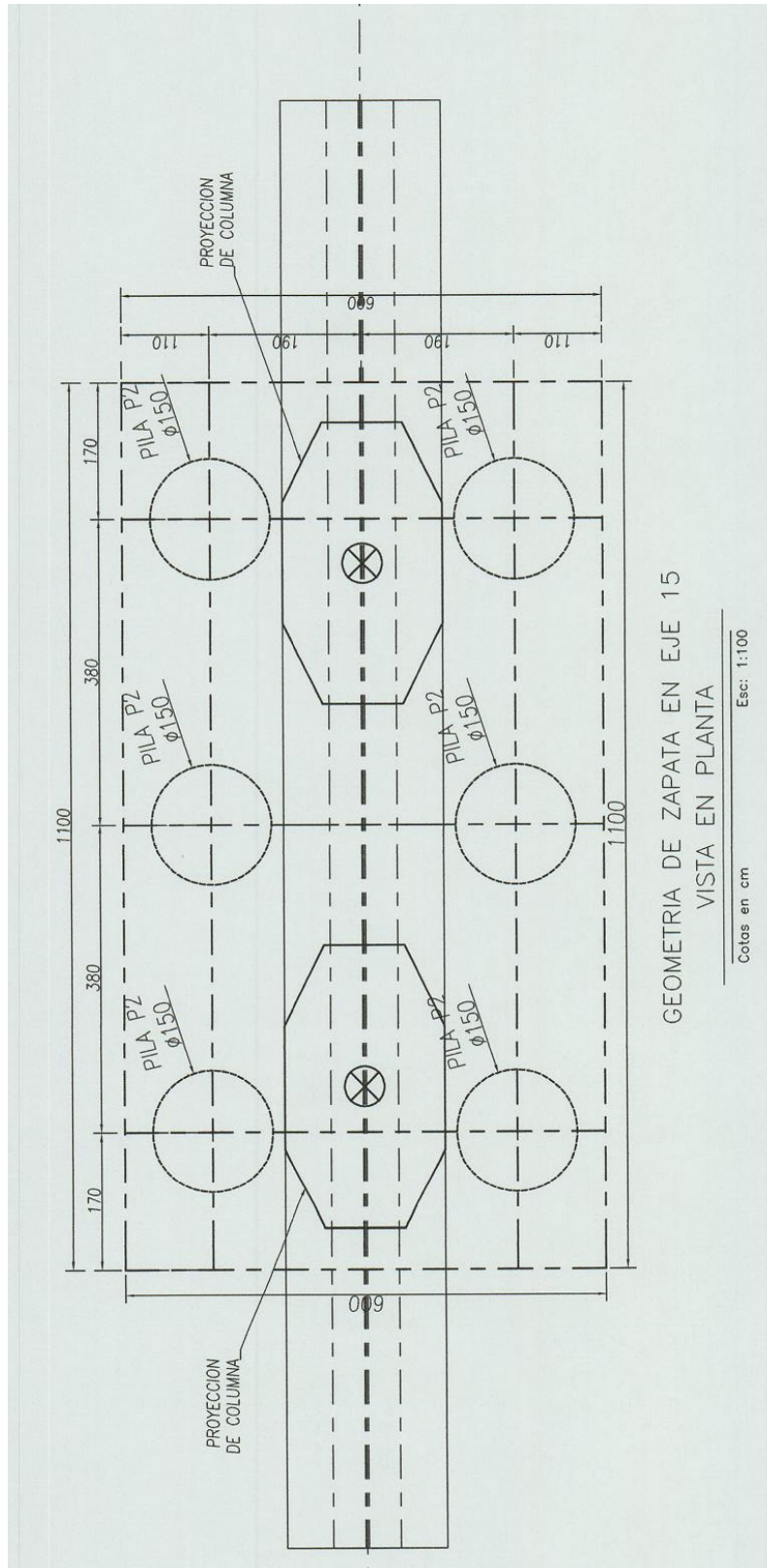
Imag. 53 refuerzo de zapata vista longitudinal

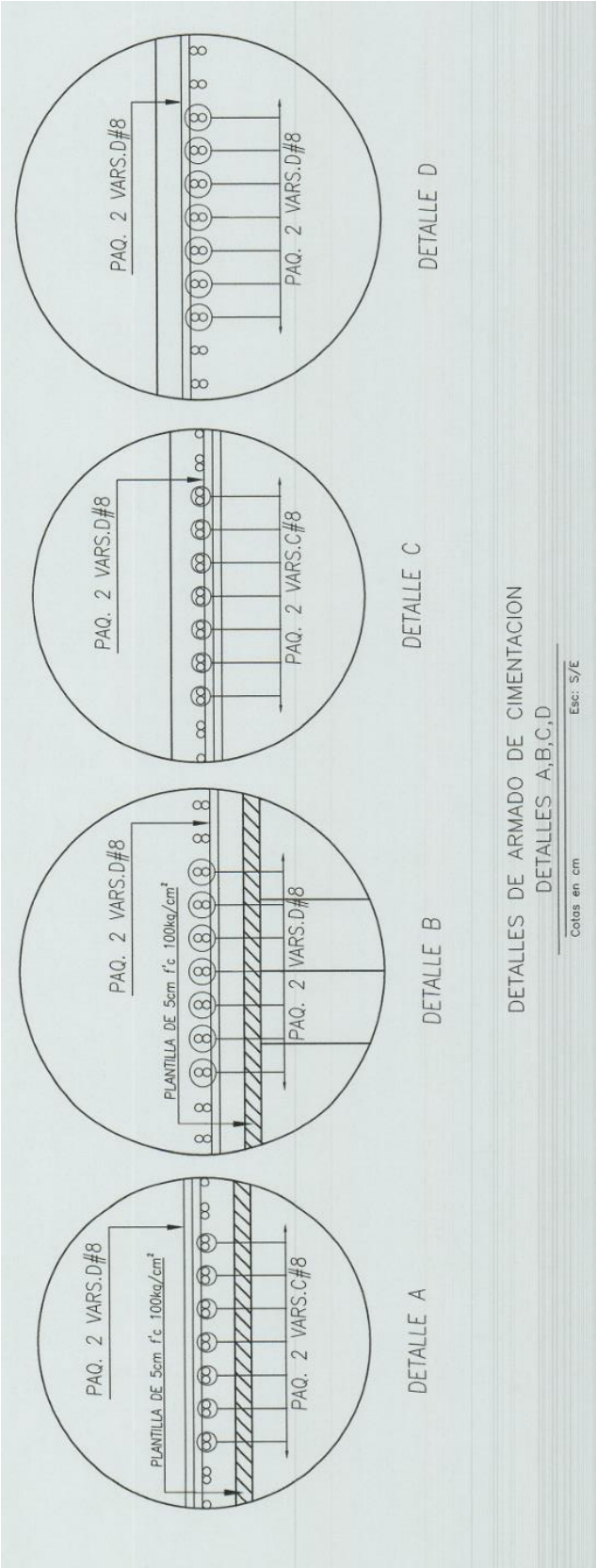


Imag. 54 Refuerzo zapata vista transversal

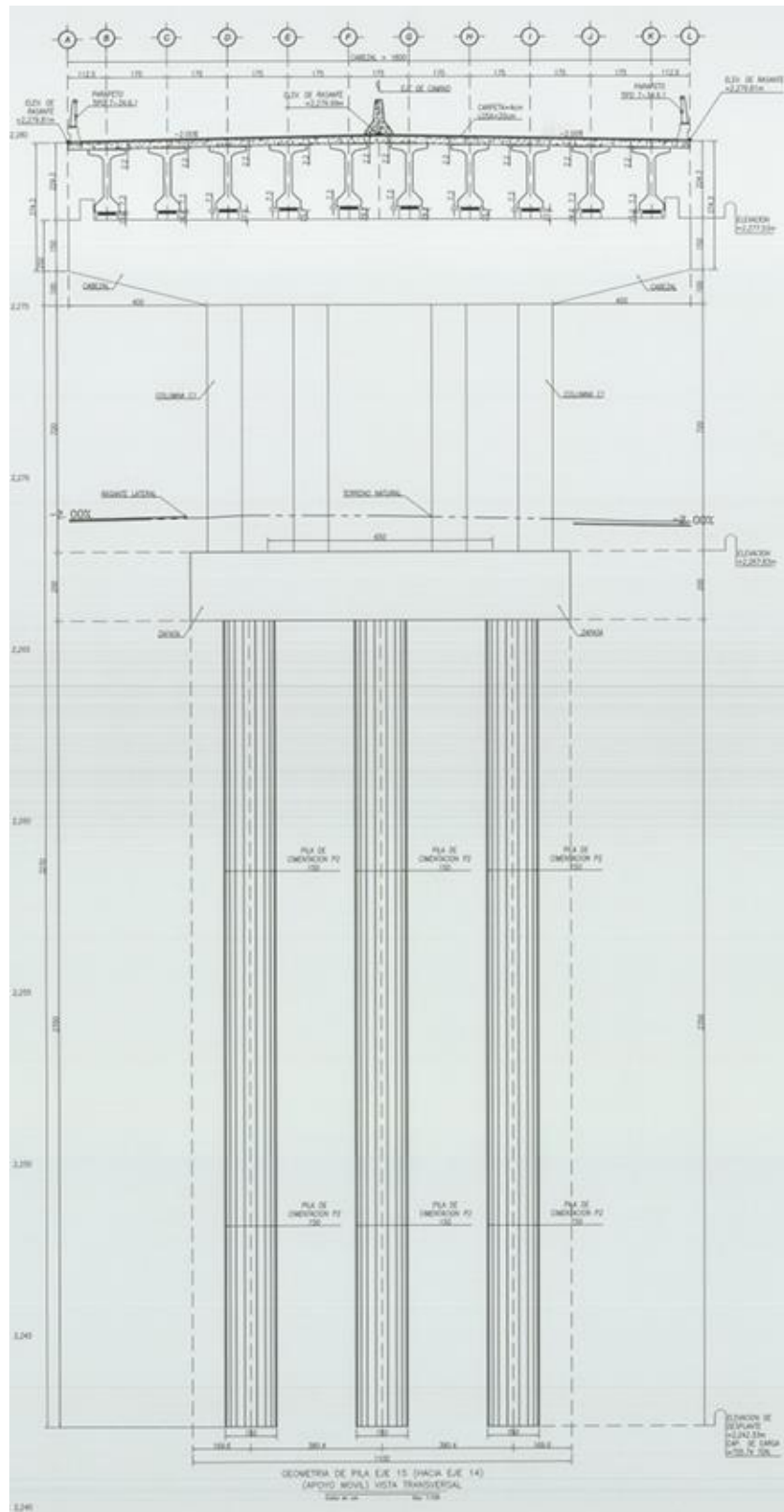


Imag. 55 Geometría de zapata





Imag. 57 Geometría de pilas



ANEXO DE FOTOGRAFIAS DE SONDEOS PROFUNDOS TIPO SPT



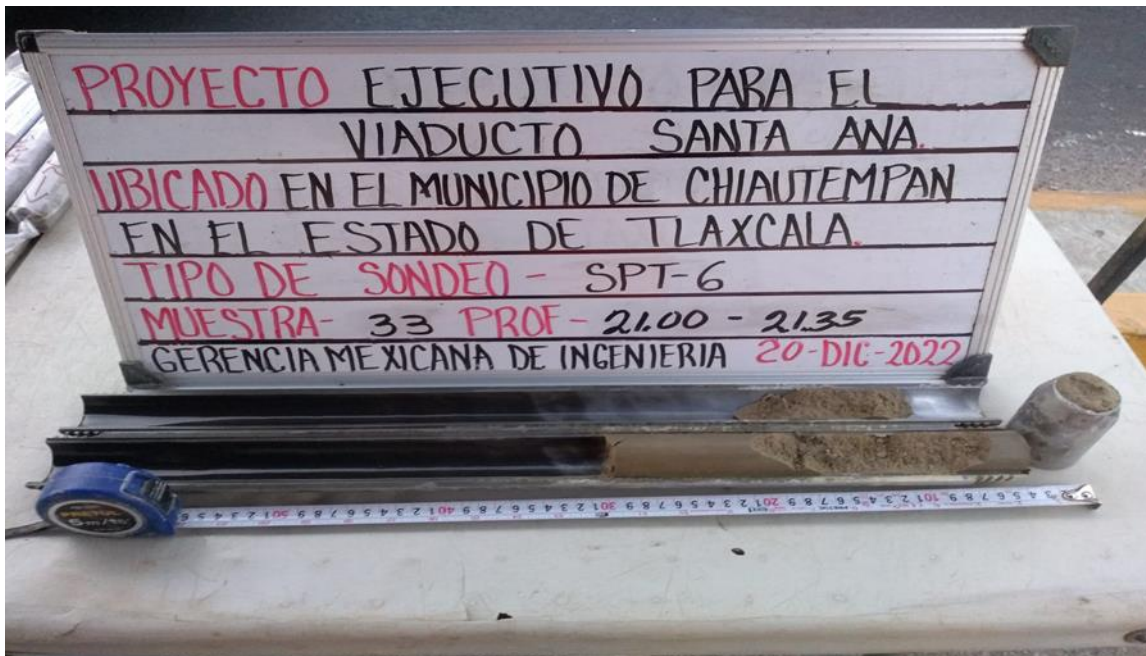
Imag 58 Ejecución de la prueba SPT realizada



Imag 59 montaje y nivelación de la perforadora con la que se efectuara el sondeo.



Imag 60 ejecución de la prueba SPT



Imag 61 núcleos extraídos de la prueba SPT realizada.

BIBLIOGRAFÍAS

SMMS, 2001, Manual de Cimentaciones Profundas, Ed. SMMS, México

SMMS, 2002, Manual de Construcción Geotécnica, Ed. SMMS, México

J. E. Bowles, ,Foundation Analisis and Design, Ed. Mc Gaw-Hill, ed. Quinta, USA

Holguin E., Gutierrez C., Cuevas A., Segovia J., 1992, Diseño geotécnico de las Cimentaciones, Ed. TGC, México

M. Das Braja, 1999, Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Ed. Thomson Editores, ed. Cuarta, México

Avelar Cajjga Roberto, 2004, Construcción de Pilas en el Centro de la Ciudad de México, Ed. CEMIC

CFE, 1981, Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotecnia, Mecánica de suelos Libro B.2.4., Ed. Centro Editorial de la CFE, México

Diseño de estructuras de concreto. *McGraw-Hill. Sustento teórico de elementos estructurales como columnas, trabes, flexión, cortante y confinamiento.*

Análisis de costo beneficio realizado por la SICT

NOM-037-SCT2-2020

NOM-034-SCT2/SEDATU-2022

NOM-083-SCT-2023

N-CTR-CAR-1-06-003-1

N-CTR-CAR-1-02-004/02

N.CTR CAR 1.02.003/04