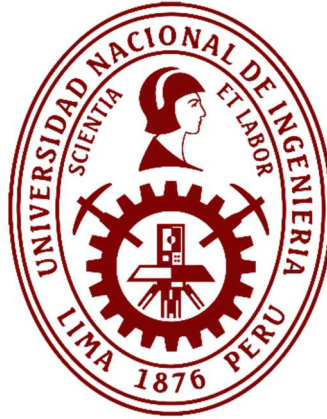


Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

Propuesta de uso de poliestireno expandido como material de relleno para pavimento rígido, sobre estación subterránea del Metro de Lima

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por

Ida Sofía Cupe Quispe

 [0009-0004-3518-7183](https://orcid.org/0009-0004-3518-7183)

Asesor

Mag. Omar Renzo Padilla Laguna

 [0000-0003-4745-0626](https://orcid.org/0000-0003-4745-0626)

LIMA- PERÚ

2025

Citar/How to cite	Cupe Quispe [1]
Referencia/Reference	[1] I. Cupe Quispe, " <i>Propuesta de uso de poliestireno expandido como material de relleno para pavimento rígido, sobre estación subterránea del Metro de Lima</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Cupe, 2025)
Referencia/Reference	Cupe, I. (2025). <i>Propuesta de uso de poliestireno expandido como material de relleno para pavimento rígido, sobre estación subterránea del Metro de Lima</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres y hermano por su apoyo y amor incondicional

Agradecimientos

A mi mamá Lourdes y mi papá Ramiro, quienes, a pesar de las dificultades de la vida, siempre están apoyándome y brindándome su amor incondicional. A mi hermano, al que vi crecer desde pequeño y quiero mucho. A Elvis Guizado, quien a pesar de no tener ningún lazo sanguíneo que nos una, me apoya de manera incondicional y alienta a seguir adelante.

A mis maestros de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería por brindarme una formación académica y profesional de calidad.

A mi asesor, el Mag. Omar Padilla, por su apoyo en todo este proceso y darme el “empujón” que me faltaba para dar inicio al desarrollo de la presente investigación. Al ingeniero José Puelles, quien es una gran persona dispuesta enseñar y compartir sus conocimientos; además, de brindar una bonita amistad.

Resumen

Los problemas de asentamiento estructural, frecuentemente originados por la baja capacidad portante del suelo, pueden causar daños significativos. Para mitigar este riesgo, existen diversas soluciones como el mejoramiento del suelo, optimizaciones de la cimentación, la reducción de las cargas aplicadas, etc. La presente investigación propone el empleo de poliestireno expandido como material de relleno del pavimento rígido, para reducir asentamientos del suelo de fundación de una estación de metro subterránea. Se diseñó el pavimento rígido a colocar sobre el poliestireno expandido y se verificó la funcionalidad del relleno planteado mediante un modelo lineal de elementos finitos para verificar que la resistencia y deformación del material propuesto no supere el límite obtenido en ensayos de laboratorio y lo determinado por la norma ASTM 6817. Tras la verificación funcional, se evaluó la reducción del asentamiento y la distorsión angular resultante del cambio de material de relleno. Finalmente, se compararon los costos y el tiempo de ejecución del método tradicional y la propuesta. Los resultados del análisis demostraron una disminución potencial de los asentamientos, así como una reducción en los costos y el tiempo de ejecución con la nueva metodología.

Palabras clave: Poliestireno expandido, pavimento rígido, capacidad de carga, asentamiento.

Abstract

Structural settlement problems, often caused by low soil bearing capacity, can cause significant damage. Various solutions exist to mitigate this risk, such as soil improvement, foundation optimization, reduction of applied loads, etc. This research proposes the use of expanded polystyrene as fill material for rigid pavement, in order to reduce settlements on the foundation soil of an underground subway station. The rigid pavement to be placed over the expanded polystyrene was designed, and the functionality of the proposed fill was verified using a linear finite element model to ensure that the strength and deformation of the proposed material did not exceed the limits obtained in laboratory tests and those determined by ASTM 6817 standard. After functional verification, the reduction in settlement and angular distortion resulting from the change in fill material were evaluated. Finally, the costs and execution time of the traditional method and the proposed method were compared. The analysis results demonstrated a potential reduction in settlements, as well as a reduction in costs and execution time with the new methodology.

Key words: expanded polystyrene, rigid pavement, load capacity, settlement.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Lista de Tablas	x
Lista de Figuras	xii
Lista de símbolos y siglas	xv
Prólogo	xviii
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Antecedentes investigativos	3
Capítulo II. Marco Teórico	9
2.1. Pavimento rígido	9
2.1.1. Metodología de diseño AASHTO 93	9
2.1.1.1. Factores de diseño	10
2.1.1.2. Juntas de pavimento rígido	17
2.1.2. Esfuerzo y deformación	21
2.1.2.1. Esfuerzo debido a cambios de temperatura	21
2.1.2.2. Esfuerzo debido a carga vehicular	23
2.1.2.3. Área de contacto entre el neumático y el pavimento	25
2.2. Poliestireno expandido	27
2.2.1. Producción	28
2.2.2. Propiedades físicas y mecánicas	29
2.2.2.1. Densidad	29
2.2.2.2. Resistencia a la compresión	29
2.2.2.3. Módulo de Young y Poisson	29
2.2.2.4. Absorción de agua	30
2.2.2.5. Resistividad térmica	30
2.2.2.6. Fluencia y durabilidad	30
2.2.2.7. Resistencia a agentes químicos	30
2.2.3. Ensayos de laboratorio para el EPS	31
2.2.3.1. Ensayo de compresión	31
2.2.3.2. Densidad aparente	32
2.2.3.3. Resistencia a flexión	32

2.2.4.	Aplicaciones.....	33
2.2.4.1.	Material de relleno ligero.....	33
2.2.4.2.	Protección de instalaciones subterráneas.....	33
2.2.4.3.	Aislamiento Térmico	33
2.3.	Elementos finitos	34
2.3.1.	Diseño mecánico y método de análisis	34
2.3.2.	Funcionamiento de un programa de elementos finitos	35
2.3.2.1.	Pre procesador	35
2.3.2.2.	Calculador o procesador	36
2.3.2.3.	Post procesador.....	37
2.4.	Análisis de cargas	37
2.4.1.	Tipo de cargas estructurales.....	37
2.4.1.1.	Cargas Muertas	37
2.4.1.2.	Cargas Vivas	37
2.4.1.3.	Cargas Ambientales.....	37
2.4.2.	Sistema de transmisión de carga - Áreas tributarias	37
2.4.3.	Estados límite	38
2.5.	Pilotes	39
2.5.1.	Funciones	39
2.5.2.	Clasificación de los pilotes	40
2.5.2.1.	Según material:.....	40
2.5.2.2.	Según método constructivo:.....	41
2.5.3.	Capacidad de carga.....	42
2.5.3.1.	Método NAVFAC DM-7	43
2.5.4.	Asentamiento.....	47
2.5.4.1.	Asentamiento elástico del pilote.....	47
2.5.4.2.	Asentamiento por punta del pilote.....	48
2.5.4.3.	Asentamiento por fricción o fuste	49
2.5.4.4.	Asentamiento tolerable	50
	Capítulo III. Diseño de Pavimento.....	52
3.1.	Evaluación de la problemática.....	52
3.2.	Estructura de pavimento propuesto	52
3.2.1.	Diseño de pavimento	52
3.2.2.	Análisis de esfuerzo deformación para el material de relleno.....	59
3.3.	Evaluación de pilotes.....	73
3.3.1.	Capacidad de carga de pilotes.....	73
3.3.2.	Evaluación de asentamiento y distorsión angular de pilotes	79
	Capítulo IV. Método constructivo de la estructura de pavimento propuesto.....	85

4.1.	Ejecución.....	85
4.2.	Maquinaria - equipos	88
Capítulo V. Comparación tiempo – costo de ejecución del método propuesto y el método tradicional		92
Conclusiones		99
Recomendaciones		101
Referencias Bibliográficas		102
Anexos		108

Lista de Tablas

Tabla 1: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Pavimentos Rígidos.....	10
Tabla 2: Número de repeticiones acumuladas de Ejes Equivalentes.....	11
Tabla 3: Categoría de subrasante según CBR%	12
Tabla 4: Diferencial de Serviciabilidad según Rango de Tráfico	12
Tabla 5: Valor de Desviación Estándar Normal (Z_r) para un periodo de 20 años según rango de tráfico.....	13
Tabla 6: Valores de resistencia del concreto según rango de tráfico	15
Tabla 7: Condiciones de drenaje	16
Tabla 8: Coeficiente de drenaje de las capas granulares	16
Tabla 9: Valores de coeficiente de transmisión de carga	17
Tabla 10: Diámetro y longitudes en pasadores.....	18
Tabla 11: Diámetro y longitud en barras de amarre.....	19
Tabla 12: Propiedades físicas requeridas para el poliestireno expandido (EPS)	29
Tabla 13: Coeficientes de seguridad por resistencia y modelo	42
Tabla 14: Factor de capacidad de soporte N_q	44
Tabla 15: Coeficiente depresión de suelo.....	44
Tabla 16: Ángulo de fricción según el tipo de pilote.....	44
Tabla 17: Valores típicos para el coeficiente C_p	49
Tabla 18: Distorsión angular.....	51
Tabla 19: Cálculo de tasa de crecimiento promedio anual del PBI	54
Tabla 20: Cálculo de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 20 años.....	54
Tabla 21: Valores de las variables necesarias para resolver la ecuación AASHTO 93.....	56
Tabla 22: Diámetro y longitud para los pasadores.....	57
Tabla 23: Dimensiones de los neumáticos.	62
Tabla 24: Propiedades de las diversas capas a analizar.	63
Tabla 25: Comparación de esfuerzos	71
Tabla 26: Comparación de resultados.	72
Tabla 27: Propiedades de los diferentes tipos de suelo presentes en la zona – Perfil estratigráfico	74
Tabla 28: Cálculo de cargas sobre cada pilote - material de relleno granular	75
Tabla 29: Factores de seguridad por resistencia y modelo según Eurocódigo -Anejo 07	75
Tabla 30: Cálculo de capacidad de carga de pilotes según método NAVFAC.....	76

Tabla 31: Cálculo de longitud de pilotes – material granular.....	77
Tabla 32: Comparación de reducción de pesos entre material de relleno granular y poliestireno expandido	77
Tabla 33: Cálculo de cargas sobre cada pilote – poliestireno expandido.....	78
Tabla 34: Cálculo de cargas actuante en pilotes – material granular (izquierda) y poliestireno (derecha).....	79
Tabla 35: Cálculo de asentamientos para cada pilote – material granular	80
Tabla 36: Cálculo de asentamientos para cada pilote – poliestireno expandido	81
Tabla 37: Comparación entre asentamientos calculados	82
Tabla 38: Espaciamiento entre pilotes en dirección X y Y.....	82
Tabla 39: Distorsión angular en el Eje X – material granular.	83
Tabla 40: Distorsión angular en el Eje X – poliestireno expandido	83
Tabla 41: Presupuesto de vía superficial con material de relleno propio de excavación	92
Tabla 42: Presupuesto de vía superficial con poliestireno expandido como material de relleno	93
Tabla 43: Comparación de resultados respecto a costo y tiempo de ejecución	98

Lista de Figuras

Figura 1: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la sub rasante	14
Figura 2: Modelo para cálculo de reacción combinado	14
Figura 3: Trabazón entre agregados por debajo del aserrado primario	18
Figura 4: Instalación de dowels para junta transversal.....	19
Figura 5: Instalación de barras de amarre para junta transversal.....	20
Figura 6: Sellado de juntas	20
Figura 7: Detalle típico de juntas.....	21
Figura 8: Losa de dimensiones finitas.....	22
Figura 9: Factor de corrección para losa finita	23
Figura 10: Carga de esquina, interior y borde.	24
Figura 11: Área de contacto para neumático.....	26
Figura 12: Área de contacto para neumático doble.....	27
Figura 13: Bloques de poliestireno expandido.....	28
Figura 14: Proceso de producción del poliestireno expandido	28
Figura 15: Curva de ensayo a la compresión del EPS	31
Figura 16: Ensayo a la compresión del EPS	31
Figura 17: Ensayo a flexión del EPS.....	32
Figura 18: EPS usado como material de relleno ligero para pavimento	33
Figura 19: Discretización de la celosía en elementos finitos (barras) de propiedades conocidas.	35
Figura 20: Definición de geometría y cargas del elemento.....	36
Figura 21: Mallado del elemento	36
Figura 22: Resultados del análisis solicitado.....	37
Figura 23: Áreas tributarias para columnas y vigas, losa unidireccional.....	38
Figura 24: Áreas tributarias para viga, losa bidireccional	38
Figura 25: Funciones de los pilotes.....	39
Figura 26: Pilas pilote dentro de una Estación de Metro.	40
Figura 27: Hincado de pilotes metálicos.....	40
Figura 28: Hincado de pilotes prefabricados de hormigón	41
Figura 29: Perforación para pilotes	41
Figura 30: Pilote a compresión en suelo granular.	43
Figura 31: Zona de influencia de la punta de un pilote.....	45
Figura 32: Pilote a compresión en suelo cohesivo	46
Figura 33: Valor del factor de capacidad de carga.	47
Figura 34: Distorsión angular.....	50

Figura 35: Detalle de las juntas de pavimento rígido.....	57
Figura 36: Vista en corte del pavimento de concreto y material de relleno.....	59
Figura 37: Plano típico de la Caja de una Estación subterránea – zona de estudio – Anexo 3.....	60
Figura 38: Plano de corte A-A de la Estación subterránea.....	60
Figura 39: Características del vehículo C3R2 a analizar.....	61
Figura 40: Cargas del vehículo C3R2 a analizar.....	61
Figura 41: Losa de cubierta.....	63
Figura 42: Material de relleno - Poliestireno Expandido.....	63
Figura 43: Pavimento de concreto con juntas y área de aplicación de carga vehicular definida.....	64
Figura 44: Capas ensambladas.....	65
Figura 45: Delimitación geométrica sobre la cara inferior de la losa de cubierta para colocar restricciones de movimiento.....	65
Figura 46: Restricciones de movimiento sobre la cara inferior de la losa de cubierta.....	66
Figura 47: Áreas de neumáticos para aplicar las cargas vehiculares.....	66
Figura 48: Vista en planta de aplicación de carga vehicular.....	67
Figura 49: Vista perfil longitudinal de la aplicación de carga vehicular y gravitacional.....	67
Figura 50: Vista isométrica del modelo.....	68
Figura 51: Mallado del modelo.....	68
Figura 52: Esfuerzo máximo en el eje YY en el programa INVENTOR.....	69
Figura 53: Esfuerzo máximo en el eje ZZ en el programa EVERFE.....	69
Figura 54: Esfuerzo máximo de compresión en el poliestireno expandido.....	71
Figura 55: Deformación del poliestireno expandido.....	72
Figura 56: Plano de corte A-A de la Estación subterránea.....	73
Figura 57: Estratigrafía de la zona de estudio.....	74
Figura 58: Detalle de pavimento.....	85
Figura 59: Detalle de conector para poliestireno expandido.....	86
Figura 60: Instalación de bloques de poliestireno expandido.....	86
Figura 61: Vista de corte transversal a las vías de tránsito.....	87
Figura 62: Instalación de acero y encofrado para pavimento de concreto sobre el manto de protección de los bloques de EPS.....	87
Figura 63: Vaciado de concreto para pavimento rígido.....	88
Figura 64: Curado de concreto para pavimento rígido.....	88
Figura 65: Estación total y mira estadimétrica.....	89

Figura 66. Equipo para termosellado	89
Figura 67. Camión volquete	89
Figura 68. Minicargador frontal	90
Figura 69. Rodillo compactador	90
Figura 70. Camión mixer con concreto premezclado	90
Figura 71. Bomba de concreto	91
Figura 72. Cortadora de concreto	91
Figura 73. Comparación de presupuestos según variación de tipo de material de relleno.....	98
Figura 74. Comparación de tiempo de ejecución según variación de tipo de material de relleno	98

Lista de símbolos y siglas

Símbolos

$W_{8.2}$	: Número previsto de ejes equivalentes EE de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño
Z_R	: Desviación normal estándar
S_O	: Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
ΔPSI	: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
C_d	: Coeficiente de drenaje
M_r	: Resistencia media del concreto a flexo tracción a los 28 días.
P_t	: Índice de serviciabilidad o servicio final
E_c	: Módulo de elasticidad del concreto
k	: Módulo de reacción de la superficie
D	: Espesor de pavimento de concreto
J	: Coeficiente de transmisión de carga en las juntas
k_0	: Módulo de reacción de la subrasante
k_1	: Módulo de reacción de la subbase
k_c	: Módulo de reacción combinado
h	: Espesor de la subbase
$f'c$	: Resistencia a la compresión del concreto
σ_x	: Esfuerzo en la dirección considerada
α_t	: Coeficiente de dilatación térmica del concreto
Δt	: Variación de temperatura entre la superficie y el fondo de la losa
ν	: Coeficiente de Poisson del concreto
C_x	: Factor de corrección para una losa finita en la dirección de análisis
l	: Radio de rigidez
Δ_x	: Deformación en la dirección considerada
a	: Radio de contacto del neumático
R_s	: Radio de contacto para neumático simple
R_D	: Radio de contacto para neumático doble
Q	: Carga recibida por 1 neumático
P	: Presión de contacto de neumático
S_d	: Distancia de un eje de neumático a otro
ρ	: Densidad
W_s	: Peso del espécimen
V	: Volumen del espécimen
K	: Rigidez
F	: Fuerza que soporta la celosía
E	: Módulo de elasticidad

A	: Área de barra
l	: Longitud de barra
δr	: Deformación resultante
Q_p	: Carga en la punta del pilote
Q_f	: Carga por fuste del pilote
Q_t	: Carga total o última
P_T	: Esfuerzo en la punta del pilote
N_q	: Factor de capacidad de carga
K_{HC}	: Relación entre el esfuerzo horizontal y vertical cuando el pilote está en compresión
P_o	: Esfuerzo vertical sobre el área empotrada
δ°	: Ángulo de fricción entre el pilote y el suelo
K_{HT}	: Relación entre el esfuerzo horizontal y vertical cuando el pilote está en tensión
S	: Área perimetral en contacto
A_T	: Área de la sección transversal del pilote
R	: Radio o lado del pilote
C_A	: Valor de adhesión
Z	: Profundidad
C	: Valor de cohesión
Δ_s	: Asentamiento elástico del pilote
Δ_{pp}	: Asentamiento por punta del pilote
N	: Factor de capacidad de carga
C_p	: Coeficiente empírico que depende del tipo de suelo y el método constructivo
Δ_{ps}	: Asentamiento por fricción o fuste
B	: Diámetro del pilote
q_0	: Capacidad unitaria de carga por punta
D_r	: Densidad relativa
L	: Longitud del pilote empotrado
ΔA	: Asentamiento en A
δ	: Distorsión angular
L_{AB}	: Distancia entre el punto A y B

Siglas

AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
CBR	:	California Bearing Ratio
EE	:	Ejes equivalentes
EPS	:	Poliestireno Expandido
ELS	:	Estado límite de servicio
ELU	:	Estado límite último
FS	:	Factor de Seguridad
IMDA	:	Índice Medio Diario Anual
MTC	:	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NAVFAC	:	Naval Facilities Engineering Systems Command
PBI	:	Producto Bruto Interno

Prólogo

En este trabajo, la autora ha realizado un estudio de la funcionalidad del uso de poliestireno expandido como material de relleno para el pavimento rígido, con el objetivo de reducir posibles asentamientos en el suelo de fundación de una estación de metro subterránea.

Se realizó un análisis lineal de elementos finitos para medir aspectos de resistencia y deformación del poliestireno expandido. Los resultados mostraron un comportamiento dentro del rango elástico evitando llegar al rango de deformación rápida y permanente.

Con el fin de evaluar la reducción de asentamiento debido al cambio de material de relleno común por el poliestireno expandido, realizó un análisis geotécnico aplicando el método NAVFAC y conceptos del Anejo 07 del Eurocódigo, obteniéndose resultados favorables.

Adicionalmente, detalla el presupuesto y cronograma comparando el método tradicional y propuesto. El resultado más importante de esta sección está relacionado al tiempo; ya que, la propuesta acorta el tiempo de ejecución de los trabajos.

Por lo expuesto, se considera que la autora proporciona conclusiones útiles para ser compartidas con la comunidad profesional relacionados con un método de reducción de posibles asentamientos, la reducción de costo y tiempo.

Asesor

Capítulo I. Introducción

1.1. Generalidades

La importancia de un adecuado diseño de pavimento radica en permitir el tránsito de vehículos de manera segura y cómoda. En nuestro país, el método más usado para diseño de pavimento es el método AASHTO 93 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Este método empírico se originó como resultado del AASHTO ROAD TEST, fue un ensayo a escala real realizado entre 1958 y 1960, en donde se plantearon diferentes circuitos con diferentes combinaciones estructurales sometidos a diferentes niveles de tránsito para poder plantear una ecuación de correlación (Federal Highway Administration, 2022)

La estructura de pavimento se apoya sobre una subrasante con una capacidad de soporte de carga (CBR característico) de al menos 6%. Si el CBR es inferior a este porcentaje, es indispensable realizar una estabilización del suelo. Esto puede lograrse mediante métodos como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de la subrasante, la estabilización química, la estabilización con geosintéticos, o el uso de otros productos aprobados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Es crucial asegurar la estabilidad de la subrasante, ya que esta recibe parte de la carga del tráfico; de lo contrario, deformaciones excesivas podrían generar el colapso de la estructura del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

En países del hemisferio oriental, existen casos de empleo del poliestireno expandido como material de relleno de pavimento para reducir los esfuerzos aplicados en suelos de baja capacidad portante debido a su bajo peso, logrando obtener muy buenos resultados (Abdihashi et al., 2017).

Actualmente, en nuestro país, se está ejecutando el primer tren subterráneo. El diseño de una estructura subterránea debe responder a la interacción suelo estructura. En el caso de una estación de metro, las cimentaciones usadas para su diseño son del tipo profunda. Este tipo de cimentaciones tienen como tarea principal, transferir cargas a través de estratos compresibles hacia suelos con suficiente capacidad para soportar la estructura, además de evitar que ocurran asentamientos apreciables que podrían generar daños a la misma (Alva, 2012).

Debido a la detección de asentamientos anómalos en una estación de metro subterránea, ocasionados por la presencia de lentes de suelo de baja capacidad portante, la presente investigación propone el uso de poliestireno expandido como relleno para el

pavimento rígido colocado sobre la estación. El objetivo es aplicar este material ligero para reducir la carga recibida por el suelo de fundación y mitigar asentamientos, garantizando así la funcionalidad adecuada de la estación y el pavimento.

1.2. Descripción del problema de investigación

Existen diversos casos relacionados a fallas en las cimentaciones, esto principalmente se debe a que no se presta la atención suficiente al estudio de suelo. El suelo es un elemento trifásico, formado por agua, aire y partículas sólidas; a su vez, estos no se encuentran necesariamente distribuidos de manera homogénea. Esta variación de características en el suelo ocasiona que la capacidad portante del suelo varíe. Los asentamientos diferenciales inducen esfuerzos y deformaciones para los cuales una estructura no fue diseñada, lo que ocasiona la aparición de grietas y fisuras en elementos estructurales (Uriel, 1983).

El caso de la Torre de Pisa, es un claro problema de asentamiento por baja capacidad de carga del suelo, este problema comenzó desde su construcción en 1173 hasta muchos siglos después debido a la presencia de depósitos de arcilla blanda, limo y arena fina, con intercalaciones de capas rígidas.

Como evidencia de la diversidad de suelos en Lima, se tiene el estudio realizado por personal técnico del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina en el Centro Histórico de Lima y la zona colindante del Rímac. El Centro Histórico de Lima equivale al 40% de la superficie total del distrito de Lima con una superficie de 21.88 km². Para este estudio se extrajeron un total de 15 calitas, con lo que se concluyó que los suelos de buena capacidad de carga (más de 8 kg/cm²) se encuentran distribuidos en el 75% del área total estudiada; mientras que, el suelo de capacidad media (4 a 8 kg/cm²) está en el 15% y el de baja capacidad abarca el 10% (Bernal et. al., 2010). La capacidad portante del suelo en el Callao varía según la ubicación y profundidad, en La Punta existe una secuencia de grava mal graduada mezclada con limos y arenas de manera no uniforme, con espesores que varían de 7 a 15 metros. Por debajo de esta capa se encuentra arenas finas con lentes de limos y arcillas cubriendo el conglomerado de Lima a los 30 metros de profundidad (Alva et. al, 1994).

Actualmente se está ejecutando uno de los proyectos más importantes en nuestro país, la Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta del Metro de Lima y Callao. Este es un proyecto de Asociación Público-Privada cofinanciada por el estado peruano; su diseño subterráneo contempla un total de 35 estaciones, 27 estaciones en el eje que va de este a

oeste y 8 en el tramo de la Av. Elmer Faucett – Av. Néstor Gambetta. El proyecto conectará a un total de 13 distritos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, s.f.).

Debido a la detección de asentamientos anómalos en una estación de metro subterránea, ocasionados por la presencia de lentes de suelo de baja capacidad portante, la presente investigación propone el uso de poliestireno expandido como relleno para el pavimento rígido colocado sobre la estación. El objetivo es aplicar este material ligero para reducir la carga recibida por el suelo de fundación y mitigar asentamientos, garantizando así la funcionalidad adecuada de la estación y el pavimento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Presentar al poliestireno expandido como material de relleno del pavimento rígido para reducir asentamientos del suelo de fundación de una estación subterránea del metro de Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el diseño de pavimento rígido con el uso de poliestireno expandido como relleno.
- Realizar el análisis comparativo del asentamiento con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación.
- Proponer el método constructivo adecuado para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido como relleno.
- Realizar el análisis de tiempo y costo para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación.

1.4. Antecedentes investigativos

Ossa (2009), dentro de su tesis doctoral “Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo carga de compresión”, realizó pruebas de compresión triaxial en muestras de poliestireno de diferentes densidades para diferentes casos de velocidad de desplazamiento y confinamiento, con el objetivo de estudiar el comportamiento mecánico del EPS bajo esfuerzos de compresión estáticos y dinámicos; además de, conocer la influencia de la densidad del material, el esfuerzo de confinamiento y la velocidad de desplazamiento. También, realizó pruebas triaxiales cíclicas a carga constante con el propósito de medir la degradación de la rigidez del material; y elaboró modelos de comportamiento a compresión bajo carga estática y dinámica. De esta

investigación, la autora concluyó que la resistencia del EPS aumenta según a medida que aumente la densidad del material y la velocidad de desplazamiento; mientras que, la resistencia disminuye en medida que el esfuerzo de confinamiento aumente. Para el caso de aplicación de carga dinámica en el EPS, la autora observó que el módulo de rigidez al cortante es sensible al cambio de densidad y esfuerzo de confinamiento; y las variaciones de esfuerzo de confinamiento y densidad no afectan significativamente los valores de amortiguamiento del material. Los modelos de predicción que propuso predijeron con buena aproximación el comportamiento del material; sin embargo, las pruebas corresponden a un rango limitado de densidades, esfuerzos de confinamiento y velocidades de desplazamiento del EPS.

“La utilización de poliestireno expandido en obras de geotecnia” es la tesis doctoral de Dávila (2013) que tuvo como objetivo evaluar algunas soluciones constructivas innovadoras en el campo de la geotécnica reemplazando el material de relleno convencional por poliestireno expandido. El autor exploró 2 escenarios: la primera propuesta fue sustituir el material convencional de terraplén por bloques de poliestireno expandido para el caso de una sección transversal horizontal y en ladera; el segundo, fue analizar un muro de contención en ménsula sustituyendo el relleno del trasdós con bloques de EPS. Para llevar a cabo esta investigación, Dávila realizó ensayos experimentales a escala reducida y comparó los resultados con lo obtenido mediante el programa estructural SAP2000. Los resultados que el autor obtuvo permitieron confirmar que las propuestas para el empleo del poliestireno expandido son viables y presentaban ventajas significativas frente a las soluciones tradicionales. Entre los beneficios más destacados, Dávila identificó la reducción de asentamientos, la disminución de empujes laterales sobre la estructura y, por tanto, un aumento en la seguridad frente al deslizamiento minimizando los efectos de consolidación para suelos cohesivos. Este estudio subraya el potencial del poliestireno expandido como un material ligero y eficaz para optimizar diversas aplicaciones geotécnicas.

Almeida (2014) realizó la investigación titulada “Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes”, teniendo como objetivo evaluar la funcionalidad del poliestireno expandido en suelos de baja capacidad portante, indicar su correcto uso y beneficios del empleo de este material frente a un relleno convencional. Para ello, realizó el modelado computacional de 2 terraplenes, el primero conformado por relleno convencional y el segundo conformado por bloques de poliestireno expandido aplicados en un sector con presencia de suelos finos del Plateado en Loja - Ecuador, concluyendo que los asentamientos registrados al centro o al pie del terraplén disminuyen alrededor del 65% al

75%. De igual manera, el autor indicó que, para una correcta instalación de los bloques de EPS, estos deben estar apoyados sobre una superficie totalmente plana, se deben colocar 2 capas de bloques de EPS como mínimo y deben ser conectados por elementos de fijación para evitar el deslizamiento; y la primera capa a colocarse sobre los bloques de poliestireno no debe ser inferior a 30 cm. Además, hizo un análisis de tiempo y costo de ejecución de los métodos mencionados, obteniendo como resultado que la ejecución de terraplenes con poliestireno es menos complicado, más rápido y con un menor impacto.

Abdihashi et al. (2017) elaboraron un artículo titulado “Expanded polystyrene geofoam in pavement construction” en donde explicaron a fondo diferentes casos en los que el poliestireno expandido ofrece soluciones a problemas de la ingeniería civil asociados con la construcción de pavimento; con el fin, de incentivar el uso de este material y a su vez indicar las formas en las que no debe ser utilizado, es decir, sus limitantes. Los autores indicaron como ejemplo pionero y exitoso, lo ocurrido en Noruega, el primer caso de aplicación de poliestireno expandido (EPS) como material de relleno se dio en la reconstrucción de los taludes del puente Flom en 1972; luego de más de 24 años de servicio continuo y un monitoreo constante, se extrajeron muestras de la estructura en donde a simple vista no se observaban signos de deterioro. Para evaluar el rendimiento a largo plazo del EPS, las muestras extraídas fueron evaluadas mediante una serie de ensayos de compresión, fluencia y efectos de absorción de agua; los resultados del ensayo a compresión no mostraron una reducción en general; mientras que, para el caso de la fluencia fue mínima. Estos hallazgos subrayan la durabilidad y estabilidad del EPS, respaldando su viabilidad como solución ingenieril.

Otro caso de estudio mencionado dentro del artículo de Abdihashi et al. fue el de Países Bajos, el proyecto de reconstrucción de la Av. Matlingeweg en Rotterdam que se encontraba en una zona de baja capacidad portante; por lo que, ejecutaron 2 tramos de estudio en donde la diferencia principal fue que el primer tramo ejecutado tenía una capa de bloque de poliestireno expandido (500 mm de espesor) y el segundo 2 capas de este material, como relleno ligero para la vía. Después de solo 2 meses de servicio continuo, observaron que el tramo que poseía solo 1 capa de poliestireno expandido falló; mientras que, el de doble capa de EPS se mantuvo en servicio sin problemas. De esta y otras experiencias mencionadas dentro del artículo, los autores llegan a la conclusión de que, el poliestireno expandido es un material de baja densidad que tiene una relación de 1/100 en proporción con los materiales de relleno convencional, la resistencia a la compresión considerada para el diseño debe encontrarse en el rango elástico para garantizar un buen

comportamiento a largo plazo y es importante proteger el poliestireno frente a agentes que le pueden causar daño como son aceites, solventes orgánicos, diésel, etc.

Los estudios de microzonificación sísmica y geotécnica son fundamentales para caracterizar las zonas según el tipo de suelo y su respuesta ante sismos, conociendo el tipo de suelo se puede conocer de manera preliminar la capacidad portante del suelo. La tesis de Huamán (1991) titulada “Microzonificación sísmica de La Punta y el Callao”, tuvo como propósito establecer las áreas susceptibles de sufrir daño sísmico por efecto de la presencia de depósitos de suelos y nivel freático en la provincia constitucional del Callao. La investigación implicó la toma de mediciones de microtrepidaciones en el área mencionada; y la recopilación de estudios de mecánicas de suelos y pozos de agua subterránea con el fin de definir la estratigrafía y realizar modelos computacionales aplicando la teoría de amplificación dinámica. De su investigación se concluye que los suelos de la zona del Callao son más blandos que los del Centro de Lima y se encuentran intercalaciones de gravas, arenas, limos y arcillas dispuestos erráticamente. Además, el nivel freático en La Punta y en las zonas bajas del Callao y La Perla, es superficial, lo que contribuye a saturar los materiales blandos mencionados y de esa manera producir asentamientos en el caso de edificaciones y hundimientos en el caso de las vías.

Justiniano y Mori (2020) elaboraron la tesis titulada “Uso de poliestireno expandido en terraplén para pavimento sobre suelo blando en zona inundable, distrito de Punchana – Maynas 2019”, teniendo como objetivo determinar los beneficios del uso de bloques de EPS para la construcción de un terraplén sin talud cimentado sobre suelo blando de baja capacidad portante y zona inundable, a su vez este terraplén estaba acondicionado con pantallas de confinamiento y pilotes hincados a 6m de profundidad para evitar la flotabilidad y contaminación del poliestireno ante inundaciones. Los autores construyeron prototipos a escala para calcular la estabilidad al volteo y flotabilidad mediante ensayos de inundación; además de, una prueba de carga para verificar asentamientos. Como parte final de la investigación, ejecutaron el terraplén a escala real en el distrito de Punchana en una longitud de 100 m, en donde, realizaron una prueba de carga estática por 48 horas que registró un asentamiento máximo de 0.007m. Finalmente, realizaron una comparación entre la colocación de poliestireno expandido y colocación de relleno por movimiento de tierra, concluyeron que el uso de EPS redujo el tiempo de ejecución y los costos en un 30%.

Dado que el problema de asentamiento es algo que afecta a los proyectos en nuestro país, ya sea de edificaciones o vías, en la tesis “Uso de biopolímeros en el control de asentamiento” de los autores Aguilar et al. (2023) se planteó un método de solución

para el caso de asentamientos en suelos. Ellos plantearon el uso de biopolímeros como alternativa económica y ecológica para optimizar las propiedades físicas, como porosidad, y mecánicas, como la resistencia a la compresión de los suelos. Para ello, recopilaron información sobre las características de los biopolímeros más utilizados en el mercado y analizaron los diversos resultados obtenidos por distintos autores que realizaron ensayos de laboratorio aplicados a suelos tratados con biopolímeros. A partir de los ensayos estudiados determinaron que el uso de biopolímeros en el tratamiento del suelo mejora sus propiedades físicas y mecánicas, lo cual conlleva en una reducción de los asentamientos. Además, recomendaron realizar mayores investigaciones donde se incluyan otros factores que simulen ambientes más reales y no se limite a ambientes controlados como es el caso de un laboratorio; ya que, el elemento analizado tiene un bajo costo y es una buena alternativa de solución para mejorar las propiedades del suelo.

Las estrategias para la estabilización de suelos son diversas y su selección depende intrínsecamente de las características geotécnicas específicas del terreno; en el trabajo de investigación titulada “Propuesta de diseño de mejoramiento de suelos blandos con inclusiones rígidas para disminuir el asentamiento en el centro comercial Mega plaza, Jaén-Cajamarca” de Sifuentes y Quiñe (2024), los autores abordaron una solución innovadora, como lo dice el título; a través, del diseño de un sistema de inclusión rígida para suelos blandos en la zona comercial de Jaén con el fin de reducir los asentamientos tras la implementación de estos elementos. Las inclusiones rígidas son columnas de concreto que no están conectadas estructuralmente al edificio que soportan. Para evaluar el efecto de estos elementos, los autores realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) para el estudio de suelo y analizaron su comportamiento sin y con las inclusiones rígidas de 0.6m de diámetro y una separación de 1.8m, extendidas hasta 7m de profundidad, mediante el software Settle3D; con lo que, demostraron una reducción significativa del asentamiento de hasta el 82% pasando de 11.3 cm a 2.07 cm. Además de la reducción de asentamiento vertical, la implementación de estas inclusiones permitió reducir la distorsión angular a valores de 0.0001 para evitar daños estructurales del centro comercial.

La tesis de Fuertes y Segura (2024), titulada “Análisis de estabilización de excavaciones subterráneas en suelos de un tramo del metro de Lima: Un enfoque en pilas-pilote”, evaluaron la importancia del uso de pilas pilotes como un elemento de estabilización de estructuras subterráneas y los valores de asentamiento que se generarían por la interacción suelo – estructura en el tramo de las progresivas 22+547 km al 22+703 km del trazo geométrico de la Línea 2 del Metro de Lima. Este tramo se caracterizó por la

complejidad de su composición geotécnica, por la presencia de gravas, arcillas, limos y arenas. Para el desarrollo de esta investigación, Fuertes y Segura (2024) realizaron el modelamiento del pilote en el software Geo5 y verificó la capacidad portante del elemento acorde al perfil geológico y los parámetros del suelo. Del análisis, se concluyó que, las pilas pilotes analizadas poseían una gran capacidad portante debido a que la punta del pilote alcanzaba estratos de suelos con características mecánicas excelentes, los valores oscilaron entre los 24 000 KN a 27 000 KN; mientras que, los asentamientos máximos obtenidos son de 12.8 mm como máximo, no superando el valor de 25.4 mm máximo permisible. Estos hallazgos validaron la eficacia de las pilas-pilote como cimentación profunda para una estación subterránea de metro.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1. Pavimento rígido

Se le da la denominación de rígido al pavimento de concreto y esta rigidez es la que absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por la carga vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Existen 3 tipos de pavimento de concreto:

- Pavimentos de concreto simple con juntas
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados

Los modelos de evaluación de pavimento rígido se basan en el análisis de deflexión de una losa, como si fuera una viga, apoyada en una fundación elástica y sometida a cargas verticales. Dado que la resistencia del concreto es alta, los esfuerzos críticos pueden llegar a dispersarse en la capa de concreto; por lo que no es del todo necesario colocar una capa base o subbase (Huang, 2004).

2.1.1. Metodología de diseño AASHTO 93

El método más usado en la actualidad es la de AASHTO 93, cuyo propósito es el cálculo del espesor de la capa de concreto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). El resultado de la Ecuación 1 depende de factores como el tráfico que circulará por el tramo de vía en diseño, módulo de reacción del suelo sobre el cual se apoyará el pavimento, resistencia a la flexotracción del suelo y otros.

$$\log(W_{8.2}) = Z_R S_O + 7.35 \log(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \cdot 10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \log\left(\frac{M_r * C_d(0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J(0.09 * D^{0.75} - \frac{7.38}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right) \quad (1)$$

Donde:

$W_{8.2}$: Número previsto de ejes equivalentes EE de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño.

Z_r : Desviación normal estándar.

S_O : Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D : Espesor de pavimento de concreto, en mm.

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t : Índice de serviciabilidad o servicio final.

M_R : Resistencia media del concreto (Mpa) a flexo tracción a los 28 días.

C_d : Coeficiente de drenaje.

J : Coeficiente de transmisión de carga en las juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.

K : Módulo de reacción, en MPa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

2.1.1.1. Factores de diseño.

- Tránsito y periodo de diseño

Los vehículos que transitan por una vía no solo influyen en el diseño geométrico, sino que también en la estructura como tal; ya que, el número y el peso de estos son factores determinantes. Se debe determinar el número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente (EE), evaluado durante el período de diseño del proyecto. En caso del pavimento rígido, el manual indica un periodo de diseño de 20 años; sin embargo, este tiempo puede ser ajustado según los requerimientos del proyecto.

Tabla 1

Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) para Pavimentos Rígidos.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2ton})
Eje simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1}=[P/6.6]^{4.1}$
Eje simple de ruedas simples (EE _{S2})	$EE_{S2}=[P/8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1}=[P/13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2}=[P/13.0]^{4.1}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1}=[P/16.6]^{4.0}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2}=[P/17.5]^{4.0}$

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

El estudio de tráfico permite identificar el índice medio diario anual (IMDA) y la clasificación por tipo de vehículo para el tramo de estudio. La información será utilizada para proyectar la demanda futura para un periodo de diseño determinado. La tasa de crecimiento del tránsito de vehículos de carga es asociada a la tasa anual del Producto Bruto Interno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 2

Número de repeticiones acumuladas de Ejes Equivalentes.

Tipos de tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
T _{P0}	> 75,000 EE ≤ 150,000 EE
T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1000,000 EE
T _{P5}	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
T _{P6}	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
T _{P7}	> 3'000,000 EE ≤ 5'000,000 EE
T _{P8}	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
T _{P9}	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
T _{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
T _{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
T _{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
T _{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
T _{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE
T _{P15}	> 30'000,000 EE

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- **Subrasante**

Influye en gran parte en el espesor final del pavimento, se evalúa su capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzos cortantes bajo las cargas de tráfico. La subrasante es clasificada según su valor de CBR%, la cual indica si es adecuado realizar la construcción sobre esta o se requiere de un tratamiento previo. Se considera como apto aquel material que posee un CBR% mayor al 6% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 3*Categoría de subrasante según CBR%.*

Categoría de Subrasante	CBR %
Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
Subrasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- Factores ambientales y climáticos

Los factores que más afectan al pavimento son los cambios de temperatura y lluvias.

Las lluvias pueden elevar el nivel freático, influyendo en la resistencia, compresibilidad y cambios de volumen en suelos; mientras que, los cambios de temperatura pueden ocasionar esfuerzos elevados en el caso de pavimento rígidos y modificar la elasticidad de la capa asfáltica en el caso de pavimento flexible (Montejo, 2002).

- Serviciabilidad

Es la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía y varía de 0 a 5, donde 5 es el valor excelente. El valor requerido en la ecuación proviene de la diferencia entre el índice de servicio final y el índice de servicio inicial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 4*Diferencial de Serviciosabilidad según Rango de Tráfico.*

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de serviciosabilidad inicial (Pi)	Índice de serviciosabilidad final (Pt)	Diferencia de serviciosabilidad (Δ PSI)
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	TP2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	TP3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	TP4	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
	TP5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
Resto de caminos	TP6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de serviciabilidad inicial (Pi)	Índice de serviciabilidad final (Pt)	Diferencia de serviciabilidad (Δ PSI)
	T _{P9}	7,500,001	10,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P10}	10,000,001	12,500,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P11}	12,500,001	15,000,000	4.30	2.50	1.80
	T _{P12}	15,000,001	20,000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P13}	20,000,001	25,000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P14}	25,000,001	30,000,000	4.50	3.00	1.50
	T _{P15}	> 30,000,000		4.50	3.00	1.50

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- Confiabilidad “R” y desviación estándar (So)

El proceso constructivo y la calidad de material pueden variar, el nivel de confiabilidad funciona como un factor de seguridad que incrementa de cierta forma el tránsito proyectado. Se refleja a través de conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas (So). El valor típico de So varía entre $0.30 < So < 0.40$, el Manual de Carreteras recomienda un $So = 0.35$ (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 5

Valor de Desviación Estándar Normal (Z_r) para un periodo de 20 años según rango de tráfico.

Tipo de caminos	Tráfico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de confiabilidad (R)	Desviación Estándar Normal (Z _R)
Caminos de bajo volumen de tránsito	T _{P0}	100,000	150,000	65.0%	-38.5%
	T _{P1}	150,001	300,000	70.0%	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	75.0%	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	80.0%	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80.0%	-0.842
	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85.0%	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85.0%	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85.0%	-1.036
Resto de caminos	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90.0%	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10,000,000	90.0%	-1.282
	T _{P10}	10,000,001	12,500,000	90.0%	-1.282
	T _{P11}	12,500,001	15,000,000	90.0%	-1.282
	T _{P12}	15,000,001	20,000,000	90.0%	-1.282
	T _{P13}	20,000,001	25,000,000	90.0%	-1.282
	T _{P14}	25,000,001	30,000,000	90.0%	-1.282
	T _{P15}	> 30,000,000		95.0%	-1.645

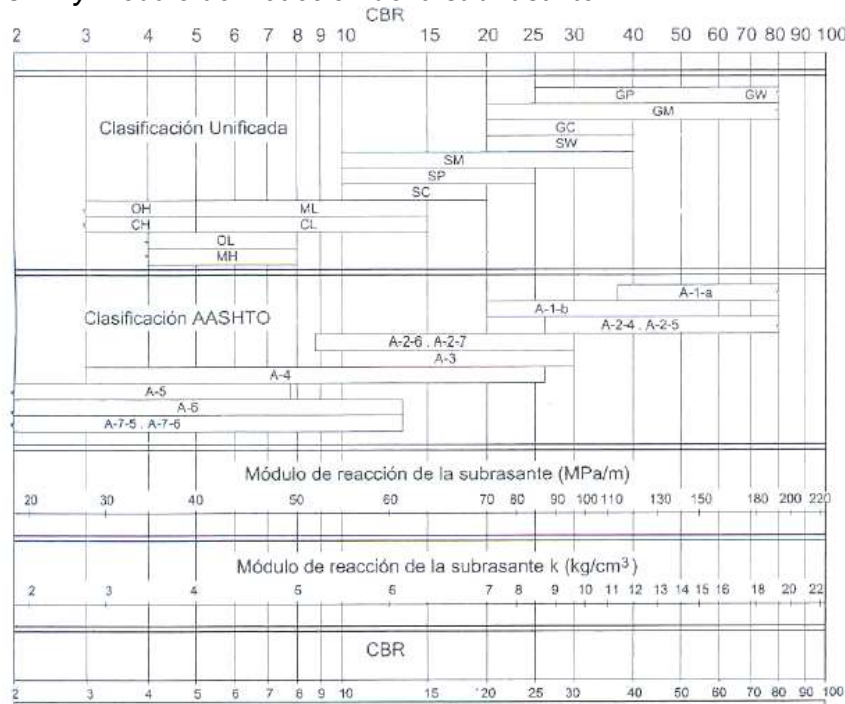
Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- Módulo de Reacción (K_c)

El módulo de reacción es el parámetro que caracteriza el soporte de la subrasante. Se puede hallar el valor del módulo de reacción si se conoce el valor de CBR% considerando que el valor mínimo requerido de CBR% es de 6% (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Figura 1

Correlación CBR y Módulo de Reacción de la sub rasante.

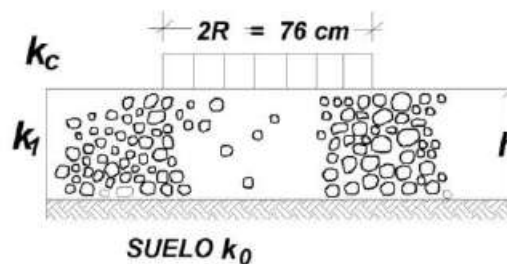


Nota: Tomado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

El empleo de la subbase o base sobre la subrasante permite aumentar el coeficiente de reacción mediante la siguiente ecuación:

Figura 2

Modelo para cálculo de reacción combinado.



Nota: Tomado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

$$k_c = (1 + \frac{h^2}{38} * \frac{k_1^{2/3}}{k_0})^{0.5} * k_0 \quad (2)$$

Donde:

k_0 : Módulo de reacción de la subrasante en kg/cm³

k_1 : Módulo de reacción de la subbase en kg/cm³

k_c : Módulo de reacción combinado en kg/cm³

h : Espesor de la subbase en cm

- Resistencia a flexotracción del concreto (M_r)

El módulo de rotura o resistencia a la flexotracción (M_r) es una variable introducida por el trabajo a flexión que realiza el concreto, es decir, se obtiene el esfuerzo de tensión aplicando una fuerza que genere la flexión del elemento. El valor mínimo requerido para el diseño de pavimento depende del número de ejes equivalentes al que será expuesto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 6

Valores de resistencia del concreto según rango de tráfico.

Rangos de tráfico pesado expresado en EE	Resistencia mínima a la flexotracción del concreto (M_r)	Resistencia mínima equivalente a la compresión del concreto (f'_c)
$\leq 5,000,000$ EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
$> 5,000,000$ EE $\leq 15,000,000$ EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
$> 15,000,000$	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

El módulo de rotura se correlaciona con el módulo de resistencia al a compresión del concreto (f'_c).

$$M_r = a * \sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2 \quad (3)$$

Donde los valores de “a” varían entre 1.99 y 3.18.

- Módulo elástico del concreto (E_c)

El módulo elástico del concreto es un parámetro importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La American Concrete

Institute (ACI Committee 318, 2017) indica la Ecuación 4 como la relación entre el módulo elástico y la resistencia la compresión.

$$E_c = 57000 * \sqrt{f'c} \quad \text{Donde: } f'c \text{ en PSI} \quad (4)$$

- Drenaje (Cd)

Este valor es considerado porque el agua o humedad en la estructura del pavimento puede ocasionar problemas como erosión de suelo, ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada (especialmente en situación de congelamiento), degradación de la carpeta de rodadura por humedad, deformación y fisuración por pérdida de capacidad estructural.

El valor por considerar depende de la probabilidad de que la estructura bajo el concreto mantenga la humedad por un tiempo determinado, su valor puede variar entre 0.70 y 1.25. Un mayor valor significa mejores condiciones para la estructura permitiendo reducir el espesor del concreto.

Si el material cumple con una de las condiciones de la tabla 7, con la clasificación obtenida se procede a escoger un valor de la tabla 8 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 7

Condiciones de drenaje.

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Insuficiente	1 mes	más de 10 horas
Muy Insuficiente	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 8

Coeficiente de drenaje de las capas granulares.

Calidad de drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximo a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00

Calidad de drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximo a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Regular	1.15 - 1.10	1.10- 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Insuficiente	1.10- 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Insuficiente	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- Transferencia de cargas (J)

Valor usado para expresar la transferencia de carga entre juntas y fisuras, sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, la existencia o no de berma lateral y su tipo, la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas. A mayor valor para J, mayor espesor de pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Tabla 9

Valores de coeficiente de transmisión de carga.

Tipo de berma	J			
	Granular o asfáltica		Concreto Hidráulico	
Valores J	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)
	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.1.1.2. Juntas de pavimento rígido.

El objetivo principal de las juntas es controlar la fisuración y agrietamiento que sufre la losa de pavimento debido a la contracción del concreto por pérdida de humedad y/o variaciones de temperatura. Los diferentes tipos de juntas se agrupan dentro de juntas longitudinales o juntas transversales.

Las juntas longitudinales son las que delimitan los carriles por donde transitarán los vehículos; mientras que, las juntas transversales están dispuestas en sentido perpendicular a las longitudinales, la longitud de la losa no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho de carril y que no sea mayor a 4.50m (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

- Mecanismo de transferencia de carga

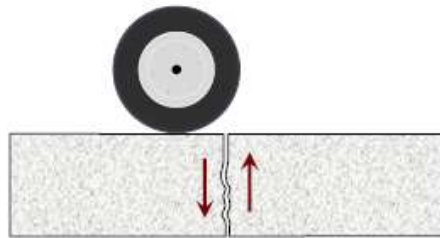
La transferencia de carga es necesaria para mejorar el desempeño de pavimento y así disminuir las deflexiones, reducir el escalonamiento y fisuras. Los

mecanismos que contribuyen a la transferencia de carga entre losas adyacentes son:

- ✓ Trabazón entre agregados: La interacción ocurre entre los agregados de las caras de la junta por debajo del aserrado primario. Empleado en vías de tránsito ligero (Calo, 2020).

Figura 3

Trabazón entre agregados por debajo del aserrado primario.



Nota: Tomado de (Calo, 2020).

- ✓ Pasadores o dowell: La transferencia de carga ocurre por el empleo de barras lisas lubricadas, alineadas vertical y horizontalmente. Empleado en vías de tránsito pesado. Las dimensiones recomendadas para las dovelas dependen de la metodología de análisis a emplear; también, se da el caso de que la junta con dowels se vea acompañada por una junta de trabazón de agregado.

Tabla 10

Diámetro y longitudes en pasadores.

Rango de Espesor de losa (mm)	Diámetro		Longitud del pasador o dowells (mm)	Separación entre pasadores (mm)
	mm	pulgada		
150 - 200	25	1"	410	300
200 - 300	32	1 1/4"	460	300
300 - 430	38	1 1/2"	510	380

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Figura 4

Instalación de dowels para junta transversal.



- ✓ **Barras de amarre**
Son barras de acero corrugados que une carriles adyacentes, usadas en juntas adyacentes.

Tabla 11

Diámetro y longitud en barras de amarre.

Espesor de losa (mm)	Tamaño de varilla (cm) diam. X long.	Distancia de la junta al extremo libre	
		3.00 m	3.60 m
150	1.27 x 66	@ 76 cm	@ 76 cm
160	1.27 x 69	@ 76 cm	@ 76 cm
170	1.27 x 70	@ 76 cm	@ 76 cm
180	1.27 x 71	@ 76 cm	@ 76 cm
190	1.27 x 74	@ 76 cm	@ 76 cm
200	1.27 x 76	@ 76 cm	@ 76 cm
210	1.27 x 78	@ 76 cm	@ 76 cm
220	1.27 x 79	@ 76 cm	@ 76 cm
230	1.59 x 76	@ 91 cm	@ 91 cm
240	1.59 x 79	@ 91 cm	@ 91 cm

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Figura 5

Instalación de barras de amarre para junta transversal.



Nota: Tomado de (Calo, 2020).

- **Sellado de juntas**

Este proceso es realizado para evitar el ingreso de agua o materiales incompresibles que podrían ocasionar la reducción de la capacidad estructural del pavimento. Para el caso de los selladores líquidos, se requiere la aplicación de un cordón de respaldo. Previa a la instalación del sello se debe realizar la limpieza a través del hidro lavado, arenado con el fin de alcanzar una textura rugosa en las caras de las juntas y mejorar la adherencia; y el soplado para eliminar restos de arena y polvo.

Figura 6

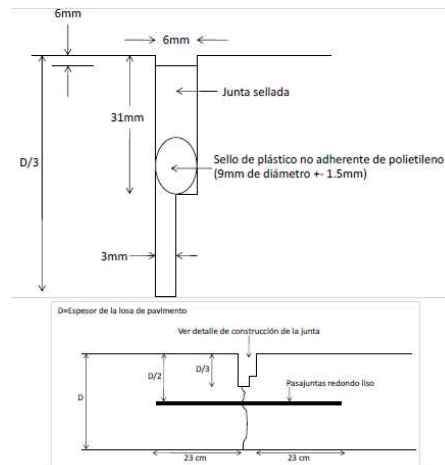
Sellado de juntas.



Nota: Tomado de (Calo, 2020).

Figura 7

Detalle típico de juntas.



Nota: Tomado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.1.2. Esfuerzo y deformación

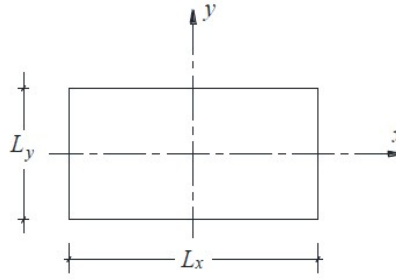
Los esfuerzos generados en el pavimento son debido a variaciones en la temperatura y por la aplicación de carga vehicular. A diferencia del pavimento flexible, el análisis de esfuerzo y deformación para pavimento rígido se suele hacer en el centro de losa, borde y esquina; ya que, estas losas se encuentran separadas por juntas y no son de manera continua como en caso del pavimento asfáltico. En la actualidad, existen diferentes programas computacionales que permiten hallar el valor de los esfuerzos y deformaciones.

2.1.2.1. Esfuerzo debido a cambios de temperatura.

En zonas donde la variación de temperatura durante el día y la noche es alta, puede generarse un gradiente térmico en la losa, capaz de generar un alabeo. La losa al estar en contacto con la superficie no puede desplazarse en dicha dirección, originando esfuerzos, se desarrolló ecuaciones para determinar los esfuerzos de alabeo basado en la teoría de placas de Westergaard.

Figura 8

Losa de dimensiones finitas.



Nota: Tomado de (Huang, 2004).

$$\sigma_x = \frac{C_x E_c \alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)} + \frac{C_y \nu E_c \alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)} = \frac{E_c \alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)} (C_x + \nu C_y) \quad (5)$$

$$\sigma_y = \frac{E_c \alpha_t \Delta t}{2(1-\nu^2)} (C_y + \nu C_x) \quad (6)$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo en la dirección considerada

E_c : Módulo elástico del concreto

α_t : Coeficiente de dilatación térmica del concreto

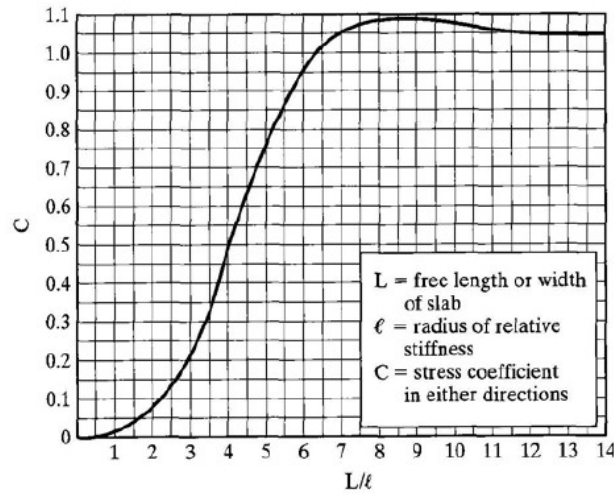
Δt : Variación de temperatura entre la superficie y el fondo de la losa

ν : Coeficiente de Poisson del concreto

C_x : Factor de corrección para una losa finita en la dirección de análisis

Figura 9

Factor de corrección para losa finita.



Nota: Tomado de (Huang, 2004).

Como se observa en la Figura 9, se requiere el valor del radio de rigidez para poder hallar el factor de corrección (Huang, 2004).

$$l = \frac{E_c * h^3}{12(1-\nu^2)k}^{0.25} \quad (7)$$

Donde:

l : Radio de rigidez

E : Módulo elástico del concreto

ν : Coeficiente de Poisson del concreto

k : Módulo de reacción de la subrasante

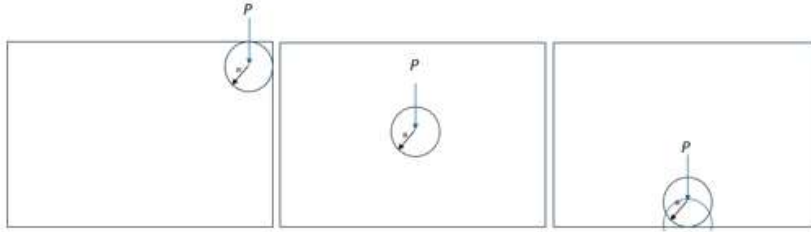
h : Espesor de la losa

2.1.2.2. Esfuerzo debido a carga vehicular.

Las fórmulas originales de Westergaard son aplicadas solo para un neumático, en donde el área de contacto puede ser circular, semi circular, elíptico o semi elíptico; y la losa se encuentre apoyada sobre una fundación líquida, de no ser el caso se recomienda usar métodos de elementos finitos (Huang, 2004).

Figura 10

Carga de esquina, interior y borde.



- Carga de esquina

$$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left(1 - \frac{a\sqrt{2}^{0.6}}{l}\right) \quad (8)$$

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2} (1.1 - 0.88 \frac{a\sqrt{2}}{l}) \quad (9)$$

Donde:

σ_e : Esfuerzo en la esquina

Δ_e : Deformación den la esquina

l : Radio de rigidez

P : Carga aplicada

a : Radio de contacto del neumático

k : Módulo de reacción de la subrasante

h : Espesor de la losa

- Carga interior

$$\sigma_i = \frac{3P(1+\nu)}{2\pi h^2} \left(\ln \frac{l}{b} + 0.6159\right) \quad (10)$$

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2} \left(1 + \frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{a}{2l} - 0.673\right) \frac{a^2}{l}\right) \quad (11)$$

Donde:

σ_i : Esfuerzo interior

Δ_c : Deformación en el interior

l : Radio de rigidez

P : Carga aplicada

a : Radio de contacto del neumático

k : Módulo de reacción de la subrasante

h : Espesor de la losa

b : Depende de si $a \geq 1.724h$ entonces $b = a$, caso contrario $b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$

- Carga en borde

$$\sigma_b = \frac{3P(1+\nu)}{\pi h^2(3+\nu)} \left(\ln \frac{E_c h^3}{100ka^4} + 1.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{1-\nu}{2} + \frac{1.18(1+2\nu)a}{l} \right) \quad (12)$$

$$\Delta_b = \frac{\sqrt{2+1.2\nu P}}{\sqrt{E_c h^3 k}} \left(1 - \frac{(0.76+0.4\nu)a}{l} \right) \quad (13)$$

Donde:

σ_b : Esfuerzo en el borde

Δ_b : Deformación en borde

l : Radio de rigidez

P : Carga aplicada

a : Radio de contacto del neumático

k : Módulo de reacción de la subrasante

h : Espesor de la losa

E_c : Módulo elástico del concreto

ν : Coeficiente de Poisson del concreto

2.1.2.3. Área de contacto entre el neumático y el pavimento.

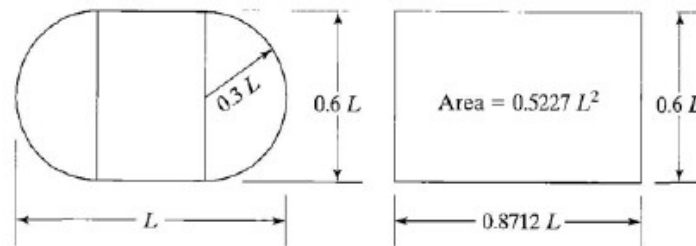
Para el diseño de pavimento se evalúa las cargas más pesadas dado que estas son las que causan el deterioro de pavimento en mayor magnitud. Los ejes de neumáticos

de los vehículos pueden ser del tipo simple, tándem o tridem y a su vez pueden ser neumático simple o doble. El área de contacto de un neumático puede ser calculado como un área circular; sin embargo, en caso de un análisis con elementos finitos se considera como un rectángulo con semicírculos en los extremos o simplemente un área rectangular.

$$R_s = \sqrt{\frac{Q}{P * \pi}} \quad (14)$$

Figura 11

Área de contacto para neumático.



Nota: Tomado de (Huang, 2004).

Para el caso de neumáticos dobles en contacto con pavimento rígido, se considera un área de contacto por parte de cada neumático más el área que se encuentra entre estos neumáticos. Si Q es la carga en un neumático y P es la presión de contacto, el área de cada neumático sería (Huang, 2004):

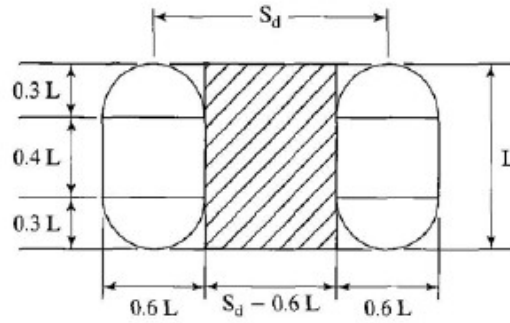
$$\frac{Q}{P} = \pi(0.3L)^2 + (0.4L) * (0.6L) = 0.5227 * L^2$$

$$L = \sqrt{\frac{Q}{0.5227 * P}} \quad (15)$$

El área de un círculo equivalente es:

Figura 12

Área de contacto para neumático doble.



Nota: Tomado de (Huang, 2004).

$$\pi * R_D^2 = 2 * 0.5227 * L^2 + (S_d - 0.6L)L = 0.4454 * L^2 + S_d * L$$

Reemplazando L de la Ecuación 15:

$$\pi * R_D^2 = \frac{0.8521 * Q}{P} + S_d * \sqrt{\frac{Q}{0.5227 * P}}$$

$$R_D = \sqrt{\frac{0.8521 * Q}{P * \pi} + \frac{S_d}{\pi} * \sqrt{\frac{Q}{0.5227 * P}}} \quad (16)$$

Donde:

R_s : Radio de contacto para neumático simple (in)

R_D : Radio de contacto para neumático doble (in)

Q : Carga recibida por 1 neumático (Lb)

P : Presión de contacto de neumático (Psi)

S_d : Distancia de un eje de neumático a otro (in)

2.2. Poliestireno expandido

Este material es conocido con el nombre de tecnopor o geoespuma y es usado para aplicaciones geotécnicas, como relleno ligero, en aquellas zonas donde la capacidad portante del suelo es baja.

Figura 13

Bloques de poliestireno expandido.



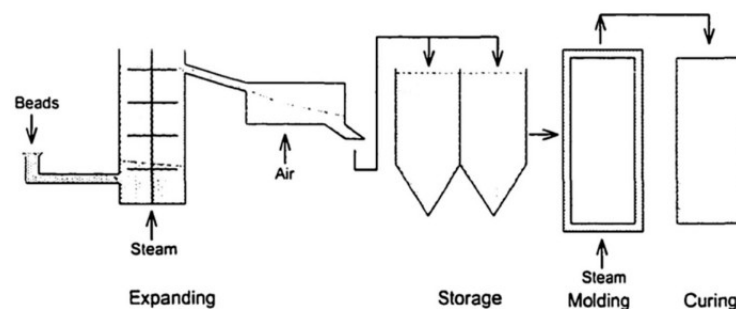
Nota: Tomado de (Castro et. al., 2016).

2.2.1. Producción

La fabricación del poliestireno expandido (EPS) comprende el proceso de expansión y el moldeado. La pre-expansión inicia con el colocado de las perlas del material en contenedores a una temperatura de entre 80 °C y 110 °C. Estas perlas se expanden formando esferas 50 veces más largas que la original. Para pasar al proceso de moldeado, las esferas son enfriadas y colocadas en un molde para ser sometidas a temperaturas elevadas nuevamente, con el fin de que se ablanden y expandan mucho más. Posteriormente se desmoldan y se dejan secar por varios días para permitir la desgasificación del agente espumante y completar los procesos correspondientes al enfriamiento (Abdihashi et. al., 2017).

Figura 14

Proceso de producción del poliestireno expandido.



Nota: Tomado de (Abdihashi et al., 2017).

2.2.2. Propiedades físicas y mecánicas

2.2.2.1. Densidad.

El EPS es un material con muy baja densidad de 1/100 en relación con los materiales de relleno convencional, los EPS comúnmente usados poseen una densidad en el rango de 16 – 32 kg/m³. Según la norma (ASTM D6817/D6817M, 2021) la densidad de fabricación determina la resistencia a la compresión, cizallamiento, tensión y flexión.

Tabla 12

Propiedades físicas requeridas para el poliestireno expandido (EPS).

Tipo	EPS 12	EPS 15	EPS 19	EPS 22	EPS 29	EPS 39	EPS 46	XPS 20	XPS 21	XPS 26	XPS 29	XPS 36	XPS 48
Densidad mín. kg/m ³ [lb/ft ³]	11.2 [0.7 0]	14.4 [0.9 0]	18.4 [1.1 5]	21.6 [1.3 5]	28.8 [1.8 0]	38.4 [2.4 0]	45.7 [2.8 5]	19.2 [1.2 0]	20.8 [1.3 0]	25.6 [1.6 0]	28.8 [1.8 0]	35.2 [2.2 0]	48.0 [3.0 0]
Resistencia a la compresión mín kPa [psi] al 1% de deformación	15 [2.2]	25 [3.6]	40 [5.8]	50 [7.3]	75 [10. 9]	103 [15. 0]	128 [18. 6]	20 [2.9]	35 [5.1]	75 [10. 9]	105 [15. 2]	160 [23. 2]	280 [40. 6]
Esfuerzo de flexión mín. kPa [psi]	69 [10. 0]	172 [25. 0]	207 [30. 0]	240 [35]	345 [50. 0]	414 [60. 0]	517 [75. 0]	276 [40. 0]	276 [40. 0]	345 [50. 0]	414 [60. 0]	517 [75. 0]	689 [100 .0]
Índice de oxígeno mín. volumen %	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Nota: Adaptado de (ASTM, 2021).

2.2.2.2. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión está limitada por la deformación del 10% según los estándares (ASTM D6817/D6817M, 2021). La norma sugiere que se debe diseñar con valores del rango elástico del EPS para mantener la resistencia a la compresión a largo plazo. La deformación al 1% se encuentra típicamente en el rango elástico.

2.2.2.3. Módulo de Young y Poisson.

El módulo de Young está relacionado a la densidad del bloque más que la resistencia a compresión. Se determina el Módulo de Young del poliestireno expandido mediante ensayos de compresión simple de muestras de 5cm de diámetro (ASTM D 162, 2023). Su valor es aproximadamente 0.12 dentro del rango elástico. La ecuación para calcular la relación de Poisson se reproduce a continuación (Abdihashi, 2017).

$$\nu = 0.0056 * \rho + 0.0024 \quad (17)$$

Donde:

ν : Módulo de Poisson de EPS

ρ : Densidad de EPS (kg/m³)

Aunque, (Castro et. al., 2016) se menciona que se suele tomar el valor de 0.1 para el módulo de Poisson, por ser un acuerdo universal.

2.2.2.4. Absorción de agua.

Los bloques tienen una estructura con celdas cerradas que limitan la absorción de agua por lo que se considera que presenta una baja absorción. Si los bloques están instalados bajo una aplicación sumergida o bajo el nivel freático se puede esperar con el tiempo un incremento en la densidad, bajo condiciones de inmersión total el contenido de agua del EPS puede alcanzar niveles cercanos al 10% (Elgari, 2000).

2.2.2.5. Resistividad térmica.

El poliestireno expandido está constituido de 2% de poliestireno y 98% de aire contenido lo cual lo califica como un material aislante. La resistividad térmica se mide a través de valor R, el cual está dentro del rango 0.5-0.8 (m³_C/W).

Este parámetro R es muchas veces mayor a los del suelo, lo cual es típicamente solo un exiguo 0.1m³_C/W. El valor R del poliestireno expandido se incrementa con la densidad y la resistencia térmica decrece con la absorción de agua (Elgari, 2000).

2.2.2.6. Fluencia y durabilidad.

La aplicación de carga de manera continua sobre el EPS, luego de la construcción, es la principal causa de fluencia. La deformación generada por la carga continua a largo plazo es del 2%, se iniciará la deformación por fluencia. Para evitarlo, el diseñador debe tomar los valores característicos del material dentro del rango elástico del material (Abdihashi et. al., 2017).

2.2.2.7. Resistencia a agentes químicos.

El EPS es un material inflamable y existen muchos agentes que pueden desestabilizar la composición del poliestireno expandido como son los ácidos concentrados, aceites, diésel y carburantes. Sin embargo, este problema puede ser fácilmente superado colocando una geomembrana u otro material aislante para proteger los bloques (Abdihashi et. al., 2017).

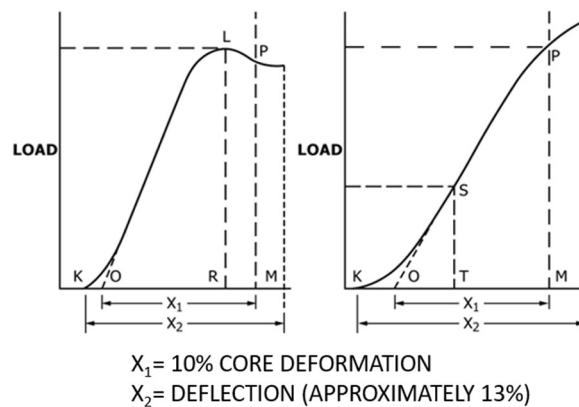
2.2.3. Ensayos de laboratorio para el EPS

2.2.3.1. Ensayo de compresión.

Este ensayo consiste en la aplicación de una carga ascendente en el tiempo, la curva carga-deformación (Figura 15) que se obtiene permite controlar la calidad del material. Los especímenes usados para este ensayo deben tener un área mínima de 25.8 cm² y máximo de 232 cm²; mientras que, la altura debe ser de 25.4 mm como mínimo y máximo el lado o radio del espécimen a ensayar. El esfuerzo máximo a compresión es aquel que se mide con una deformación máxima del 10% (ASTM D1621, 2023).

Figura 15

Curva de ensayo a la compresión del EPS.



Nota: Tomado de (ASTM, 2023).

Figura 16

Ensayo a la compresión del EPS.



Nota: Tomado de (Castro et. al., 2016).

2.2.3.2. Densidad aparente.

Para el ensayo se requiere de una balanza con una precisión de +/-0.1% y un calibrador que permita realizar mediciones con una precisión de +/-0.1%, se realizan 3 medidas de las dimensiones para obtener el volumen (ASTM, 2020).

$$\rho = \frac{W_s}{V} \quad (18)$$

Donde:

ρ : Densidad del espécimen, kg/m³

W_s : Peso del espécimen, kg

V : Volumen del espécimen, m³

2.2.3.3. Resistencia a flexión.

(Castro et. al., 2016) Para esta prueba se requiere de especímenes de 15 cm de espesor por 15 cm de ancho por 50 cm de longitud. El espécimen es colocado en la base de prueba y se aplica una carga controlando la velocidad del desplazamiento de esta de 1.2%/min o 10%/min, terminando el ensayo cuando se presenta la falla.

Figura 17

Ensayo a flexión del EPS.



Nota: Tomado de (Castro et. al., 2016).

2.2.4. Aplicaciones

2.2.4.1. Material de relleno ligero.

Cuando la capacidad de carga de un terreno es baja, una forma de solución es la reducción de peso a soportar, para ello los ingenieros pueden hacer uso del poliestireno expandido debido a su baja densidad. Este tipo de aplicación es común para el caso de terraplenes en pavimentos o relleno en estribos de puentes (Aaboe y Frydenlund, 2011).

Figura 18

EPS usado como material de relleno ligero para pavimento.



Nota: Tomado de (Aaboe y Frydenlund, 2011).

2.2.4.2. Protección de instalaciones subterráneas.

En el caso de tuberías de agua o alcantarillado, el material usado como sistema de protección es del tipo granular para evita que las tuberías sufran desplazamientos que generen daños en la conexión. A diferencia del material granular, el EPS es más comprimible, permitiendo disminuir esfuerzos verticales y horizontales ante la aplicación de diversas cargas.

2.2.4.3. Aislamiento Térmico.

En la década de 1950, se utilizó el EPS como protección de pavimentos contra las heladas de Alemania. La aplicación consiste en cambiar el suelo que se encuentra debajo de la subrasante por el EPS para limitar los cambios de temperatura evitando el hinchamiento (Arellano, 2005).

2.3. Elementos finitos

2.3.1. Diseño mecánico y método de análisis

Para realizar un diseño mecánico se debe definir los criterios de diseño; es decir, características como resistencia, rigidez, duración, peso, tamaño, etc. El primer paso es definir la geometría y materiales de los elementos a analizar, luego se debe someter este elemento a las solicitaciones que deberá soportar durante su vida útil. El segundo paso es un proceso iterativo dado que, si las características iniciales no cumplen con las solicitaciones, se deberán realizar cambios hasta obtener los resultados deseados.

Los procedimientos de análisis mecánico pueden complementarse entre sí y pueden clasificarse como procedimientos tradicionales, numéricos o experimentales. Los procedimientos tradicionales utilizan expresiones clásicas de elasticidad y resistencia de materiales por lo que el rango de aplicación es limitado. En el caso de los procedimientos numéricos, estos generalmente son aplicados a través del uso de ordenadores y permite realizar análisis que los métodos tradicionales no suelen abordar. Uno de los métodos numéricos más usados en la actualidad es el método de elementos finitos (MEF). Los procedimientos experimentales son los que proporcionan los resultados más precisos, pero más costosos; ya que, se debe fabricar prototipos y realizar ensayos para poder obtener resultados. Al emplear un análisis mediante el MEF podría reducir el número de ensayos experimentales a realizar, permitiendo reducir costos (Abasolo et. al., 2017).

El empleo del MEF en problemas de resistencia estática, parte de la idea básica del cálculo matricial de celosías. La rigidez es desconocida en la ecuación por resolver.

$$F = K * \delta \quad (19)$$

Donde:

F : Fuerza que soporta la celosía

K : Rigidez

δ : Deformación resultante

La celosía está formada por un conjunto de barras sometidas a esfuerzos de tracción - compresión con rigidez conocida.

$$K = EA/l \quad (20)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad

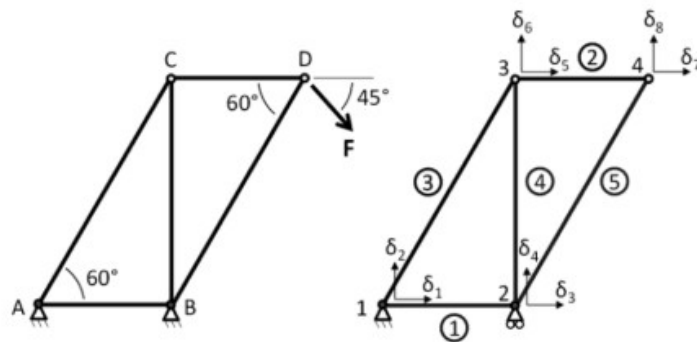
A : Área de barra

l : Longitud de barra

Se combina la rigidez de cada una de las barras para hallar la rigidez de la celosía con lo que es posible resolver la Ecuación (20), estas barras se encuentran conectadas por nodos y delimitadas por cierto grado de libertad (Abasolo et. al., 2017).

Figura 19

Discretización de la celosía en elementos finitos (barras) de propiedades conocidas.



Nota: Tomado de (Abasolo et. al., 2017).

2.3.2. Funcionamiento de un programa de elementos finitos

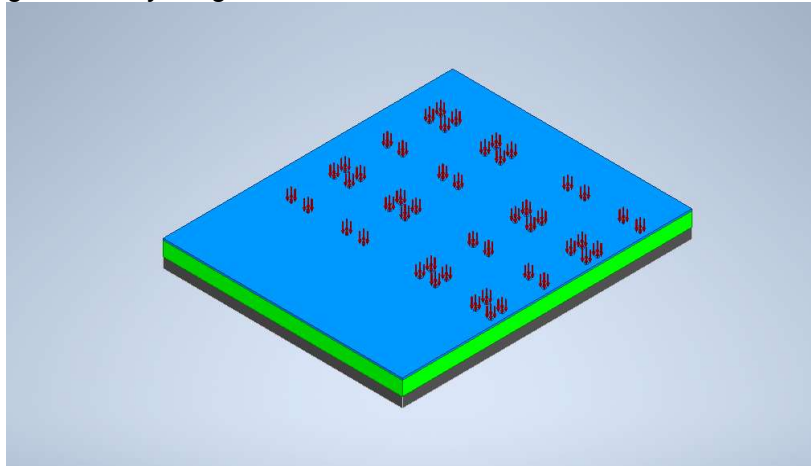
Los softwares comerciales de elementos finitos están organizados en 3 partes principales: pre procesador, procesador y post procesador.

2.3.2.1. Pre procesador.

En esta sección se define la geometría y materiales de las piezas, las conexiones, las condiciones de contorno, las cargas aplicar, el tipo de análisis (estático, dinámico, etc) y la geometría de los elementos finitos, a lo que se le denomina como mallado o discretización.

Figura 20

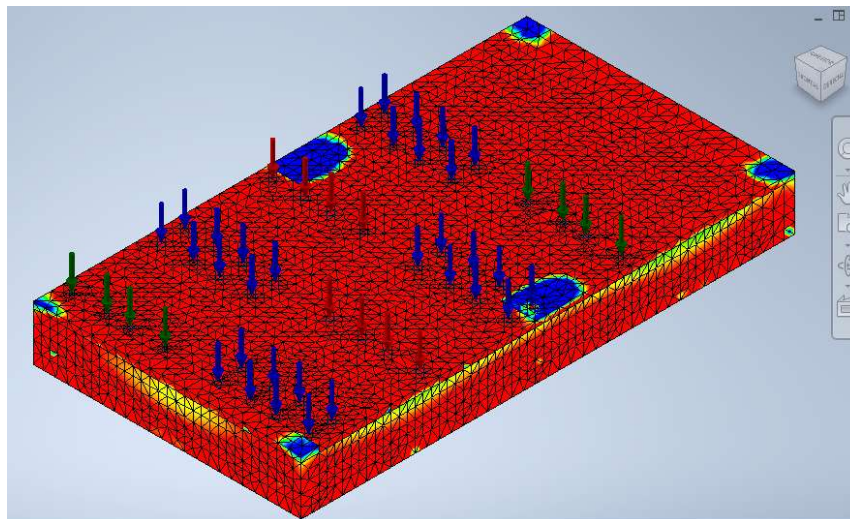
Definición de geometría y cargas del elemento.



Nota: Tomado de (Inventor, 2024).

Figura 21

Mallado del elemento.



Nota: Tomado de (Inventor, 2024).

2.3.2.2. Calculador o procesador.

A partir del modelo definido en el pre procesador, el programa de elementos finitos genera y resuelve, para el caso de un análisis estático, la ecuación característica:

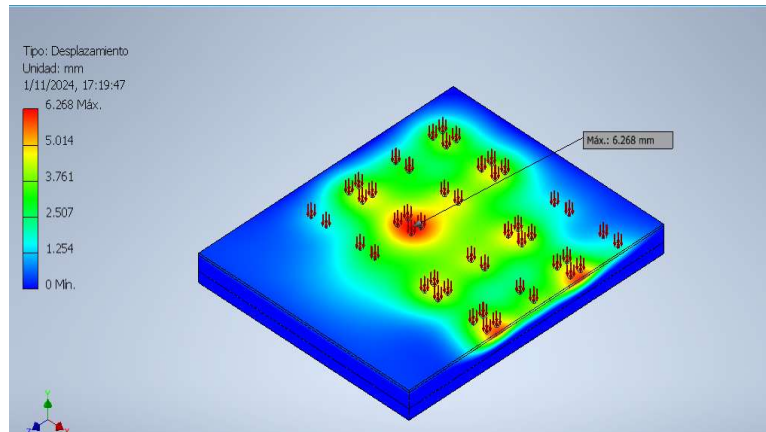
Dependiendo del mallado y el tipo de análisis a realizar, lineal o no lineal, el coste computacional variará.

2.3.2.3. Post procesador.

En esta sección se visualiza los resultados del análisis solicitado al programa, lo que permite analizar e interpretar lo obtenido.

Figura 22

Resultados del análisis solicitado.



Nota: Tomado de (Inventor, 2024).

2.4. Análisis de cargas

2.4.1. Tipo de cargas estructurales

2.4.1.1. Cargas Muertas.

Este tipo de carga permanece constante, dentro de esta clasificación se encuentra el peso propio del elemento y aquello que este sobre esto de manera inamovible.

2.4.1.2. Cargas Vivas.

Las cargas vivas pueden variar de posición y magnitud, además, son inducidas por la gravedad (McCormac, 2010).

2.4.1.3. Cargas Ambientales.

Son causadas por el ambiente que rodea el elemento a analizar, pudiendo ser viento, nieve, lluvia, temperatura y/o sismo (McCormac, 2010).

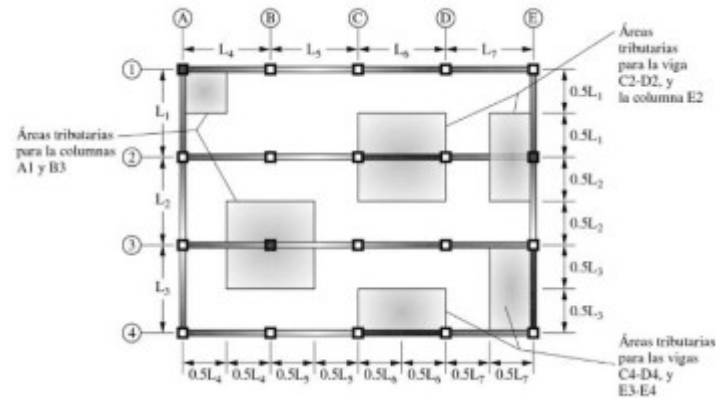
2.4.2. Sistema de transmisión de carga - Áreas tributarias

Este concepto es aplicado para hallar la carga aplicada a un elemento estructural. Según McCormac (2010) puede definirse como “El área limitada por líneas trazadas a la mitad de la distancia a la viga o la columna próxima”.

La forma del área depende del elemento a analizar; así para el caso de columnas la definición es la misma que indica McCormac; mientras que, para el caso de vigas dependerá si la losa para transmitir cargas de manera unidireccional o bidireccional.

Figura 23

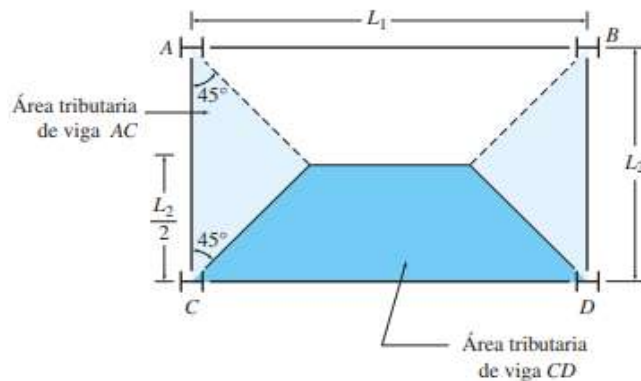
Áreas tributarias para columnas y vigas, losa unidireccional.



Nota: Tomado de (McCormac, 2010).

Figura 24

Áreas tributarias para viga, losa bidireccional.



Nota: Tomado de (Kassimali, 2015).

2.4.3. Estados límite

Los estados límites se clasifican como estado límite último (ELU) y estado límite de servicio (ELS). Los primeros están enfocados en garantizar la seguridad frente a la rotura y los segundos, a la funcionalidad. Los valores de los coeficientes de mayoración para el Estado límite último dependen del enfoque del proyecto, para el caso en que las acciones son mayoradas, los factores son de 1.35 para cargas permanentes y 1.50 para cargas transitorias (Comité AEN-CTN 140, 2016). Para que el diseño geotécnico sea el correcto,

se debe cumplir que el efecto de las acciones del diseño no sea mayor a la resistencia de diseño.

2.5. Pilotes

La norma E.050 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020) clasifica a los pilotes como aquel elemento de cimentación profunda que tiene una relación profundidad/ancho mayor o igual a 5. Generalmente los pilotes son colocados en grupos y están conectados a través de un encepado, este encepado redistribuye la carga recibida de la superestructura a los pilotes; mientras que, en el caso de los pilotes aislados o pilas-pilote, prolongan la estructura de la pila de apoyo dentro del terreno hasta la profundidad requerida (Dirección General de Carreteras, 2009).

2.5.1. Funciones

Entre las funciones principales (Das, 2012) se tiene:

- Transferir las cargas de la superestructura de estratos débiles hasta estratos inferiores con la suficiente capacidad de carga como para soportar la estructura, comportándose el pilote como una extensión de columna o pilar.
- Las estructuras de retención de tierra y de cimentaciones de estructuras altas que están expuestas a vientos fuertes o a fuerzas sísmicas, son sometidas a flexión mientras soportan las cargas verticales transmitidas; por lo que, se opta por utilizar pilotes como cimentación.
- Ante la presencia de suelos expansivos que se hinchan y contraen por la variada presencia de humedad, se usa los pilotes para extender este elemento más allá de la zona activa.
- Proporcionar anclaje a estructuras sometidas a fuerzas de levantamiento o momentos de volteo.

Figura 25

Funciones de los pilotes.

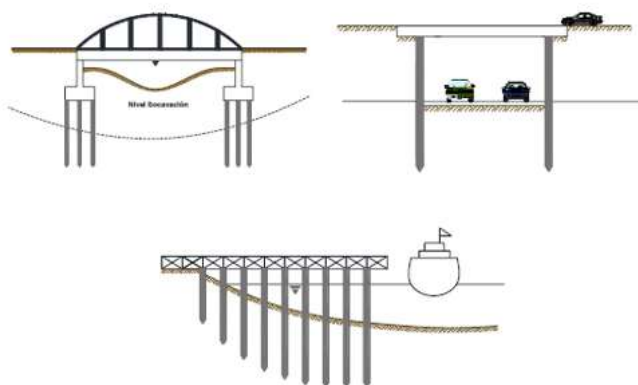


Figura 26

Pilas pilote dentro de una Estación de Metro.



2.5.2. Clasificación de los pilotes

2.5.2.1. Según material.

- Pilotes de acero

Generalmente, son a base de tubo o perfiles H de acero laminado y su instalación puede darse por hincado (Yepes, 2019).

Figura 27

Hincado de pilotes metálicos.



Nota: Tomado de (Yepes, 2019).

- Pilotes de concreto

Pueden ser vaciados in situ o prefabricados, el esfuerzo de acero colocado en su interior cumple la función de resistir el momento flexionante causado por cargas laterales.

- Pilotes de madera

Proviene de árboles que pasan por un proceso de corte de ramas y corteza. La longitud de este tipo de pilotes es de 10 a 20m y el diámetro no debe ser menor a 150mm. Su capacidad de soporte es limitada y no pueden soportar esfuerzos altos de hincado (Das, 2012).

2.5.2.2. Según método constructivo.

- Pilotes prefabricados hincados

Son construidos en un taller y luego desplazados al lugar de instalación. Se instalan por hincado que puede ser del tipo percusión, presión o vibración (Yepes, 2019).

Figura 28

Hincado de pilotes prefabricados de hormigón.



Nota: Tomado de (Yepes, 2019).

- Pilotes perforados y vaciado “in situ”

Son construidos en obra y requieren de una previa excavación.

Figura 29

Perforación para pilotes.



2.5.3. Capacidad de carga

Existen diferentes métodos para hallar la capacidad de carga de un pilote. La norma E.050 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020) no especifica un método de cálculo, pero indica que, para hallar la capacidad de carga de un pilote, se debe considerar esta como la suma de la capacidad en la punta del pilote y la capacidad por fricción superficial desarrollada en los lados del pilote. Esta capacidad de carga es conocida como última y debe ser afectada por un factor de seguridad con el fin de hallar la capacidad admisible a considerar en el diseño, el factor usado en el caso peruano es de 3.

Para el caso del Eurocódigo 7 “Diseño geotécnico”, se usan factores parciales para tener en cuenta las incertidumbres relacionadas al terreno, las acciones o cargas y las resistencias. Estos factores a su vez dependen del enfoque y el estado límite a evaluar.

Los enfoques del proyecto analizado en el Eurocódigo 07 son 3. El primer enfoque tiene 2 combinaciones, en donde la combinación 1 aplica factores a las acciones y la combinación 2 aplica factores a las propiedades del terreno y las acciones variables. El enfoque 2 aplica factores a las acciones y la resistencia, pero no a las propiedades del terreno; mientras que, el enfoque 3 aplica factores a las acciones y las propiedades del terreno.

El cálculo de capacidad de carga de pilotes, en caso sea analizado solo mediante método analítico y con valores de parámetros obtenidos de ensayo de laboratorio, los valores de carga por punta y fuste deben ser afectados por factores de seguridad parcial (Comité AEN/CTN 140, 2016).

Para un enfoque de proyecto del tipo 2, las cargas aplicadas o acciones son mayoradas y la resistencia es minorada, según este enfoque los factores a usar para el caso de pilotes perforados son los indicados en la tabla 13.

Tabla 13

Coefficientes de seguridad por resistencia y modelo.

Concepto	Símbolo	Valor
Resistencia por punta	γ_b	1.35
Resistencia por fuste	γ_s	1.10
Modelo	γ_{Rd}	1.40

Nota: Adaptado de (Comité AEN/CTN 140,2016).

2.5.3.1. Método NAVFAC DM-7.

Según el Manual de diseño 7.2 (NAVFAC, 1986) la capacidad de carga total de un pilote está compuesto por la carga por punta y por fricción superficial derivada de la interfaz suelo-pilote, estos a su vez dependen del tipo de suelo sobre el que estará apoyado (material granular o cohesivo) y si trabaja a compresión o tensión.

$$Q_t = Q_p + Q_f \quad (21)$$

Donde:

Q_t : Carga total o última

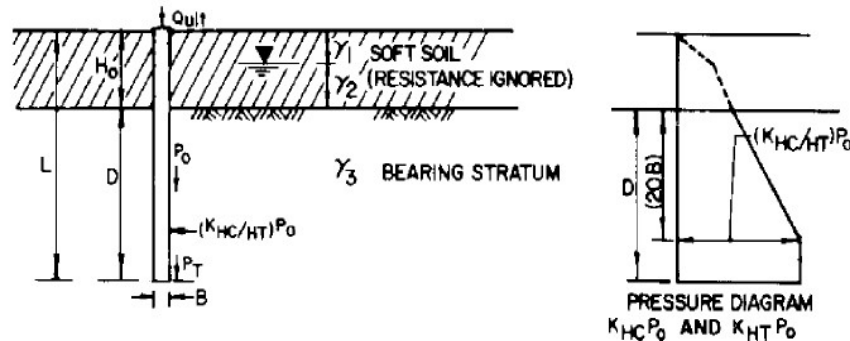
Q_p : Carga en la punta del pilote

Q_f : Carga por fuste del pilote

- Suelo granular
 - ✓ Capacidad en compresión

Figura 30

Pilote a compresión en suelo granular.



Nota: Tomado de (NAVFAC, 1986).

$$Q_t = P_T * N_q * A_T + \sum K_{HC} * P_o * \tan \delta * S \quad (22)$$

Donde:

Q_t : Capacidad de carga última

P_T : Esfuerzo en la punta del pilote

N_q : Factor de capacidad de carga según la Tabla 14

Tabla 14

Factor de capacidad de soporte N_q .

		Factor de capacidad de soporte													
Nq	φ (°)	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	Pilotes hincados	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72	
	Pilotes perforados	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145	

Nota: Adaptado de (NAVFAC, 1986).

S : Área perimetral en contacto

A_T : Área de la sección transversal del pilote

K_{HC} : Relación entre el esfuerzo horizontal y vertical cuando el pilote está en compresión según Tabla 15

Tabla 15

Coefficiente depresión de suelo.

Coeficiente de presión de tierra		
Tipo de pilote	K+HC	K+HT
Pilotes hincados H	0.5 - 1.0	0.3 - 0.5
Pilotes hincados con desplazamiento	1.0 - 1.5	0.6 - 1.0
Pilotes hincados con desplazamiento cónico	1.5 - 2.0	1.0 - 1.3
Pilote hincado con aire	0.4 - 0.9	0.3 - 0.6
Pilotes perforados	0.7	0.4

Nota: Adaptado de (NAVFAC, 1986).

P_o : Esfuerzo vertical sobre el área empotrada

δ : Ángulo de fricción entre el pilote y el suelo según la Tabla 16

Tabla 16

Ángulo de fricción según el tipo de pilote.

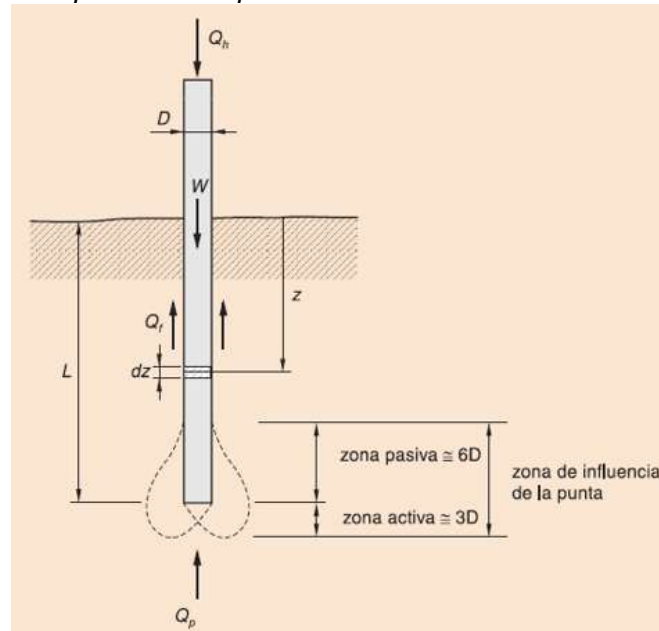
Ángulo de fricción	
Tipo de pilote	δ (°)
Acero	20
Concreto	$3/4\phi$
Madera	

Nota: Adaptado de (NAVFAC, 1986).

Para el caso de capacidad de carga por punta, es importante notar que, se puede dar el caso que justo por debajo de la profundidad del pilote a analizar se encuentre un suelo de menor capacidad. Según la guía de cimentaciones de la Dirección General de Carreteras de España (2009) es posible hallar la carga por punta considerando la zona de influencia de la punta. La zona de influencia de la punta de un pilote está formada por la zona pasiva equivalente a 6 veces el diámetro del pilote y una zona activa de 3 veces el diámetro del pilote. El parámetro buscado será la semisuma de los promedios de ambas zonas antes mencionadas.

Figura 31

Zona de influencia de la punta de un pilote.



Nota: Tomado de (Dirección General de Carreteras, 2009).

✓ Capacidad en tensión

$$T_{ult} = \sum K_{HT} * P_o * \tan \delta * S * H \quad (23)$$

Donde:

K_{HT} : Relación entre el esfuerzo horizontal y vertical cuando el pilote está en tensión según Tabla 15

P_o : Esfuerzo vertical sobre el área empotrada

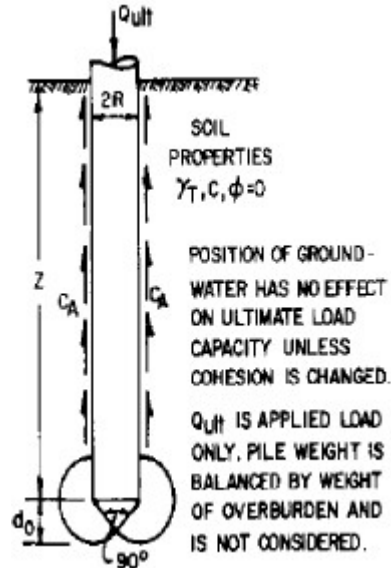
δ° : Ángulo de fricción entre el pilote y el suelo

S : Área perimetral en contacto

- Suelo cohesivo
 - ✓ Capacidad en compresión

Figura 32

Pilote a compresión en suelo cohesivo.



Nota: Tomado de (NAVFAC, 1986).

$$Q_t = C * N * \pi * R^2 + C_A * 2 * \pi * R * Z \quad (24)$$

Donde:

Q_t : Capacidad de carga última en compresión

C : Valor de cohesión

C_A : Valor de adhesión

R : Radio o lado del pilote

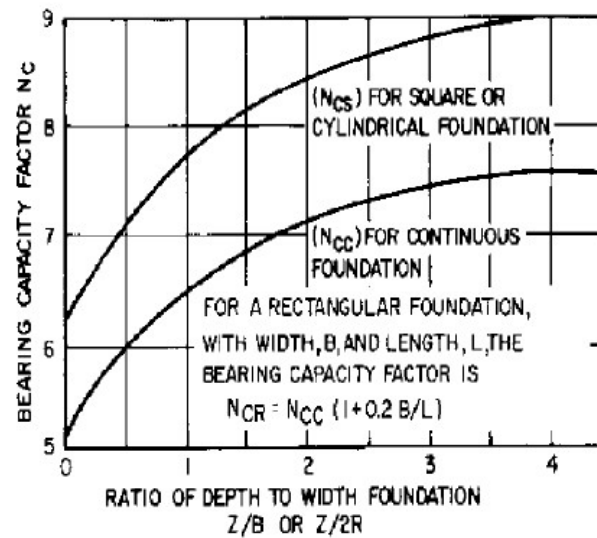
Z : Profundidad

N : Factor de capacidad de carga que depende de lo indicado en la Figura

32

Figura 33

Valor del factor de capacidad de carga.



Nota: Tomado de (NAVFAC, 1986).

✓ Capacidad en tensión

$$T_{ult} = C_A * 2 * \pi * R * Z \quad (25)$$

Donde:

C_A : Valor de adhesión

R : Radio o lado del pilote

Z : Profundidad

2.5.4. Asentamiento

Para cimentaciones apoyadas en suelos granulares, el cálculo de asentamiento debe considerar la máxima carga vertical actuante; mientras que para el caso de suelos cohesivos se considera la carga muerta más el 50% de la carga viva o sobrecarga (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020). El asentamiento de pilotes puede calcularse mediante la suma del asentamiento elástico del pilote, asentamiento elástico por fuste y asentamiento elástico por punta (NAVFAC, 1986).

2.5.4.1. Asentamiento elástico del pilote.

Deformación elástica que sufre el material del pilote cuando se carga (NAVFAC, 1986).

$$\Delta_s = (Q_p + \alpha_s * Q_s) * \frac{L}{A * E} \quad (26)$$

Donde:

Δ_s : Asentamiento elástico del pilote

Q_p : Carga transmitida a la punta del pilote

Q_s : Carga transmitida por fuste (rozamiento lateral a lo largo del pilote)

α_s : Es un factor que tiene en cuenta la distribución de la carga por fuste a lo largo de la longitud del pilote, vale 0.67 si se asume que el fuste aumenta de manera lineal desde la cabeza hasta la punta del pilote.

L : Longitud del pilote empotrado.

A_T : Área de la sección transversal del pilote.

E_c : Módulo de Young del concreto

2.5.4.2. Asentamiento por punta del pilote.

Asentamiento debido a la carga en la punta del pilote (NAVFAC, 1986).

$$\Delta_{pp} = \frac{C_p * Q_p}{B * q_0} \quad (27)$$

Donde:

Δ_{pp} : Asentamiento por punta del pilote

Q_p : Carga transmitida a la punta del pilote

B : Diámetro del pilote

q_0 : Capacidad unitaria de carga por punta

C_p : Coeficiente empírico que depende del tipo de suelo y el método constructivo

Tabla 17

Valores típicos para el coeficiente C_p .

Tipo de suelo	Pilote hincado	Pilote perforado
Arena	0.02 - 0.04	0.09 - 0.18
Arcilla	0.02 - 0.03	0.03 - 0.06
Limo	0.03 - 0.05	0.09 - 0.12

Nota: Adaptado de (NAVFAC, 1986).

Como se puede observar en la Tabla 17, no se tiene el valor de C_p para suelo granular. Se propone una correlación entre el valor de compacidad (C_p), grado de acomodo de las partículas, y la densidad relativa de los materiales granulares mediante la Ecuación 28 (Vésic, 1970).

$$C_p = \frac{C_w}{(1+D_r)^2} \quad (28)$$

Donde:

D_r : Densidad relativa

C_w : 0.18 para pilotes perforados

Al considerar que los materiales tienen una densidad relativa mayor al 80%, se obtendría un valor para C_p de 0.05.

2.5.4.3. Asentamiento por fricción o fuste.

Asentamiento debido a la carga por fricción o fuste del pilote (NAVFAC, 1986).

$$\Delta_{ps} = \frac{C_s * Q_s}{D * q_0} \quad (29)$$

Donde:

$$C_s = \left(0.93 + 0.16 * \frac{L}{B} \right) * C_p \quad (30)$$

Δ_{ps} : Asentamiento por fricción o fuste

B : Diámetro del pilote

L : Longitud del pilote empotrado

Q_f : Carga por fricción

q_0 : Capacidad unitaria de carga por punta

2.5.4.4. Asentamiento tolerable.

Los asentamientos diferenciales deben ser controlados para evitar daños en la estructura y se calcula mediante la Ecuación 31.

$$\Delta A - B = \Delta B - \Delta A \quad (31)$$

Donde:

$\Delta A - B$: Asentamiento diferencial entre el punto A y B

ΔA : Asentamiento en A

Para controlar los asentamientos, se requiere la medición de la distorsión angular. Esta se define como la diferencia de asentamiento entre una cimentación y otra respecto a la distancia entre sus ubicaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020).

$$\delta = \frac{\Delta A - B}{L} \quad (32)$$

Donde:

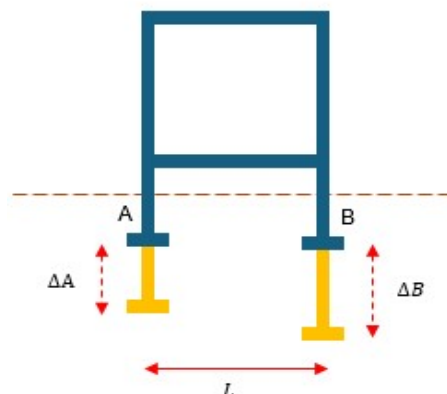
δ : Distorsión angular

$\Delta A - B$: Asentamiento diferencial entre el punto A y B

L_{AB} : Distancia entre el punto A y B

Figura 34

Distorsión angular.



Nota: Tomado de (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020).

En general, la distorsión angular no debe exceder los valores indicados en la Tabla 18.

Tabla 18

Distorsión angular.

Distorsión Angular	
$\alpha=\delta/L$	Descripción
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígido puede ser visible
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas
	Límite en que se debe esperar las primeras grietas en pared
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas
	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto cimentado sobre un solado de espesor aproximado de 1.20m
1/750	Límite donde se esperan dificultades en máquina sensible a asentamientos.

Nota: Adaptado de (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2020).

Capítulo III. Diseño de Pavimento

3.1. Evaluación de la problemática

Debido a la detección de asentamientos anómalos en una estación de metro subterránea, ocasionados por la presencia de lentes de suelo de baja capacidad portante, la presente investigación propone el uso de poliestireno expandido como relleno para el pavimento rígido colocado sobre la estación. Emplear el poliestireno expandido y no el material de relleno propio de excavación, podría contribuir a reducir posibles asentamientos debido a su bajo peso y garantizar una adecuada funcionalidad de la estructura de pavimento, tal como se indicó en los antecedentes de la presente investigación.

La propuesta de esta investigación consiste en colocar una losa de pavimento rígido sobre el material de relleno de poliestireno expandido. El diseño del espesor de pavimento rígido será bajo el método AASHTO 93, considerando un material de relleno de buenas condiciones (Ballesteros y Ruiz, 2012). Posteriormente, este material de relleno será reemplazado por el poliestireno expandido para realizar un análisis lineal de elementos finitos que permita evaluar la funcionalidad de la propuesta.

Luego de corroborada la funcionalidad del diseño de pavimento, se procederá a evaluar la reducción de asentamiento y distorsión angular generada por el cambio de material de relleno a colocar sobre la losa de cubierta de una estación de metro.

Los datos relacionados al dimensionamiento de la caja de estación y propiedades del suelo son tomados de lo mencionado dentro de la Propuesta Técnica de la Línea 2 del Metro de Lima (ProInversión, 2014) y la Tesis “Análisis de los procesos constructivos Cut and Cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica” (Padilla et al., 2017).

3.2. Estructura de pavimento propuesto

3.2.1. Diseño de pavimento

Se diseñará el espesor de pavimento rígido según el método AASHTO 93 como lo indica el Manual de Carreteras (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).

Considerando un material de relleno excelente, el CBR% es mayor o igual al 30%, por lo que le corresponde un módulo de reacción de 95 MPa/m según el cuadro de Correlación CBR y Módulo de Reacción del Manual de Carreteras.

El número de ejes equivalentes es calculado según las mediciones de tráfico realizada en la tesis “Análisis y optimización del tránsito vehicular en la Intersección de las avenidas Nicolás Ayllón y los Ruiseñores Santa Anita, Lima 2023” (Capcha, 2024), los datos presentados corresponden a la medida de tráfico en sentido de este a oeste en la Av. Nicolás Ayllón. El periodo de diseño para pavimento rígido es de 20 años, considerando que la presente propuesta podría haberse empleado en la obra de metro subterráneo actual y su tiempo de culminación debió ser el año 2024 según Adenda 2 del Contrato (Proinversión, 2014), el periodo de análisis será del año 2024 al 2044. Para la proyección de la tasa anual de crecimiento anual, se utilizará el valor de la tasa del PBI (INEI, 2024).

Tabla 19

Cálculo de tasa de crecimiento promedio anual del PBI.

Departamen tos	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021P/	2022P/	2023E/	PRO MEDI O
Lima	136,23 8,703.0 0	148,41 5,981.0 0	148,91 0,138.0 0	164,62 3,842.0 0	178,74 2,876.0 0	189,59 7,321.0 0	200,40 0,691.0 0	208,02 2,491.0 0	214,46 9,326.0 0	220,24 1,329.0 0	224,69 1,974.0 0	234,44 5,543.0 0	240,49 8,497.0 0	211,73 5,530.0 0	241,85 6,205.0 0	248,83 6,712.0 0	246,24 9,640.0 0	
Prov. Const. del Callao	13,386, 423.00	14,627, 416.00	14,288, 888.00	15,689, 336.00	17,563, 803.00	18,070, 083.00	19,196, 199.00	19,828, 477.00	20,209, 052.00	20,690, 862.00	21,400, 320.00	22,229, 310.00	22,458, 010.00	18,845, 452.00	22,029, 738.00	22,574, 226.00	22,307, 706.00	
Región Lima	11,404, 858.00	12,488, 983.00	11,612, 252.00	12,300, 019.00	13,562, 753.00	13,897, 097.00	14,893, 394.00	15,468, 191.00	15,992, 567.00	16,146, 749.00	16,285, 655.00	17,183, 773.00	17,316, 831.00	16,137, 674.00	17,762, 988.00	17,517, 887.00	17,601, 257.00	
Tasa de crecimiento		9.51%	-7.02%	5.92%	10.27%	2.47%	7.17%	3.86%	3.39%	0.96%	0.86%	5.51%	0.77%	-6.81%	10.07%	-1.38%	0.48%	2.88 %
Provincia de Lima	111,447 ,422.00	121,29 9,582.0 0	123,00 8,998.0 0	136,63 4,487.0 0	147,61 6,320.0 0	157,63 0,141.0 0	166,31 1,098.0 0	172,72 5,823.0 0	178,26 7,707.0 0	183,40 3,718.0 0	187,00 5,999.0 0	195,03 2,460.0 0	200,72 3,656.0 0	176,75 2,404.0 0	202,06 3,479.0 0	208,74 4,599.0 0	206,34 0,677.0 0	

Nota: Adaptado de (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2024).

Tabla 20

Cálculo de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 20 años.

Tasa anual de crecimiento - Vehículo

Pesado 2.34%

Periodo de diseño (años) 20

Factor de crecimiento - Vehículo Pesado 25.14

DÍA	FECHA	VEHICULOS PESADOS												
		BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
LUNES	2/10/20 23	1,226.00	419.00	1,665.00	537.00	150.00	120.00	112.00	127.00	221.00	18.00	30.00	19.00	35.00
MARTES	3/10/20 23	1,236.00	424.00	1,679.00	528.00	151.00	122.00	114.00	126.00	227.00	19.00	34.00	19.00	25.00
MIÉRCOL ES	4/10/20 23	1,331.00	474.00	1,790.00	561.00	161.00	128.00	122.00	134.00	87.00	24.00	34.00	24.00	34.00

DÍA	FECHA	VEHICULOS PESADOS												
		BUS		CAMIÓN			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
JUEVES	5/10/2023	1,373.00	473.00	1,903.00	595.00	172.00	139.00	128.00	145.00	260.00	28.00	35.00	28.00	38.00
VIERNES	6/10/2023	1,461.00	512.00	1,077.00	632.00	128.00	147.00	139.00	153.00	117.00	33.00	37.00	33.00	39.00
SÁBADO	7/10/2023	1,537.00	529.00	2,091.00	654.00	188.00	152.00	145.00	160.00	286.00	34.00	37.00	34.00	41.00
DOMINGO	8/10/2023	1,458.00	502.00	1,984.00	622.00	180.00	145.00	134.00	150.00	272.00	32.00	36.00	32.00	38.00
FC ESTACIONAL								0.98						
IMDa		1,342.00	465.00	1,701.00	576.00	158.00	133.00	125.00	139.00	205.00	26.00	34.00	26.00	35.00
F. Camión		4.61	3.62	4.61	4.73	4.96	7.94	8.77	8.07	8.90	11.28	11.40	11.40	11.52
F. direccional x F. Carril								0.50						
Factor de crecimiento								26.54						
ESAL DISEÑO		29,949,996.13	8,143,180.77	37,961,954.85	13,198,494.67	3,794,405.29	5,116,487.60	5,311,310.83	5,430,236.69	8,832,856.76	1,420,177.96	1,877,440.86	1,435,690.07	1,953,541.39
TOTAL EE								124,425,773.88						

Para el valor de EE obtenido, se requiere una resistencia mínima a la compresión del concreto de 350 kg/cm², equivalente a una resistencia mínima a la flexo tracción del concreto (MR) de 45 kg/cm². El valor para el módulo elástico es:

$$E = 57000 * f'c^{0.5}; f'c \text{ en PSI}$$

$$E = 57000 * 4,978.17^{0.5} = 4,021,700.43 \text{ PSI} <> 27,728.66 \text{ MPa}$$

Los demás valores se obtienen de las tablas presentadas en el Manual de Carreteras.

Tabla 21

Valores de las variables necesarias para resolver la ecuación AASHTO 93.

Variables	Valores	Unidades
W	124,425,773.88	EE
Zr	-1.645	-
So	0.35	-
ΔPSI	1.5	-
Pt	3.0	-
MR	4.41	MPa
Cd	1.20	-
J	2.80	-
Ec	27,728.66	Mpa
kc	95	MPa/m

Reemplazando valores en la ecuación,

$$\log (124,425,773.88)$$

$$= -1.645 * 0.35 + 7.35 \log (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log \left(\frac{1.5}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 * 3.0) * \log \left(\frac{4.41 * 1.20 * (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * 2.8 * (0.09 * D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{27,728.66}{95} \right)^{0.25}})} \right)$$

$$D = 345.2 \text{ mm} = 34.52 \text{ cm}$$

Se optará por un espesor de losa de (D) 35 cm.

La vía de estudio posee carriles de 3.30 m de ancho, esta será la ubicación de las juntas longitudinales; mientras que, para la ubicación de las juntas transversales y el diseño del acero a emplearse en ellas se basará en lo mencionado en el Manual de Carreteras. La longitud de losa no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho y no mayor a 4.50 m.

$$L_{m\acute{a}x} = 1.25 * 3.3 = 4.125 \text{ m} < 4.50 \text{ m}$$

$$L = 4.10 \text{ m}$$

Para el diseño de los pasadores en las juntas longitudinales y transversales, se tienen los siguientes cuadros del Manual de Carreteras:

Tabla 22

Diámetro y longitud para los pasadores.

Rango de Espesor de losa (mm)	Diámetro		Longitud del pasador o dowells (mm)	Separación entre pasadores (mm)
	mm	pulgada		
150 - 200	25	1"	410	300
200 - 300	32	1 1/4"	460	300
300 - 430	38	1 1/2"	510	380

Nota: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

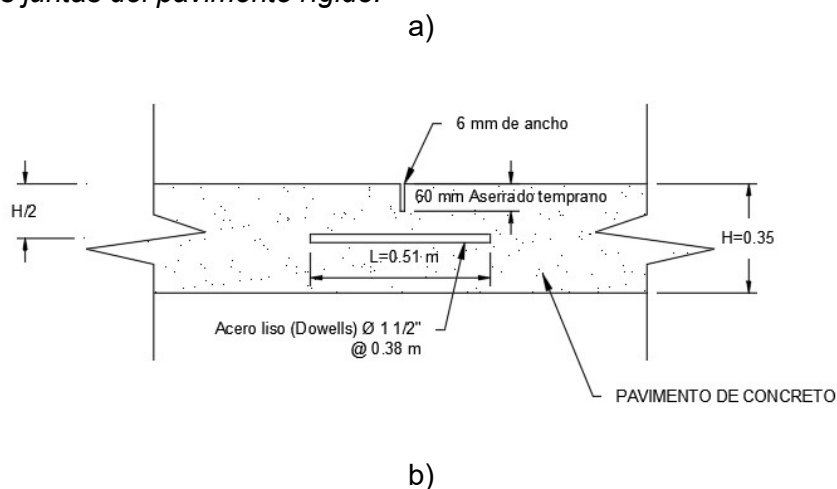
Se colocarán dovelas de 1 1/2" de diámetro cada 38 cm y de una longitud de 51cm en las juntas transversales. Dado que el ancho de carril es de 3.30 m, se colocarán 09 dovelas.

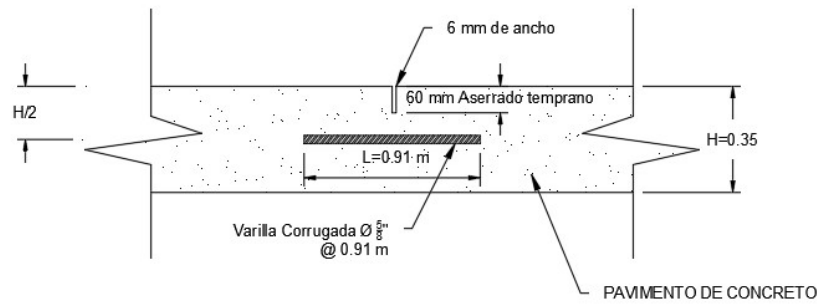
Para el caso de las juntas longitudinales se colocarán barras de acero corrugado de 5/8" de diámetro cada 91 cm y de una longitud de 91 cm para las juntas longitudinales. Dado que la longitud de losa es de 4.10 m, se colocarán 4 barras de acero.

La colocación de las barras es a la mitad del espesor de losa y se realizaría un aserrado de las características que se muestran en la figura 35.

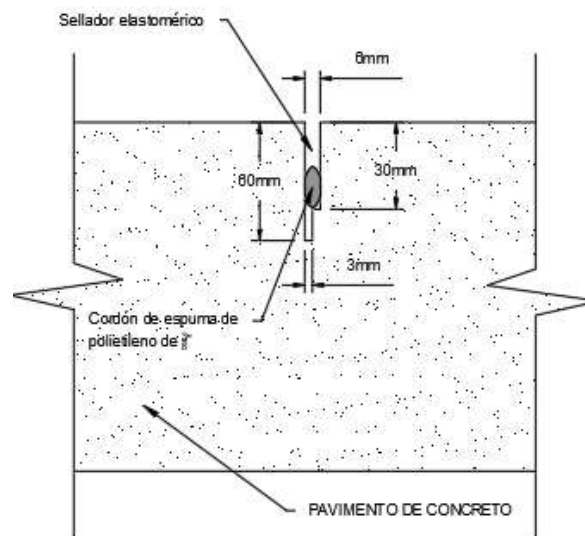
Figura 35

Detalle de las juntas del pavimento rígido.





c)

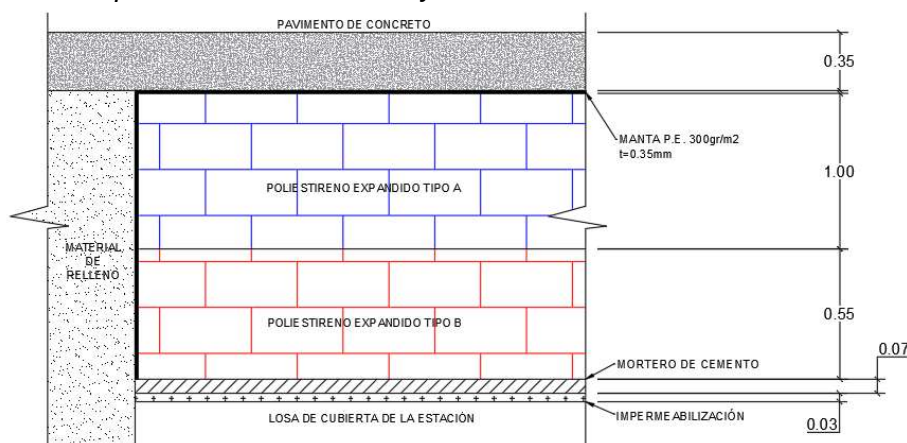


Nota: a) Junta transversal, b) Junta longitudinal y c) Detalle constructivo de sello elastomérico para las juntas.

La profundidad de nivel de superficie a nivel de cubierta es de 2.00 m. según la Propuesta Técnica de la Línea 2 del Metro de Lima; por lo que, al tomarlo como referencia, para llegar a este nivel final y disminuir el peso, se optaría por usar 1.55m de poliestireno. En la figura 36, se observa 2 capas de poliestireno por ser esta la mínima recomendada según los antecedentes.

Figura 36

Vista en corte del pavimento de concreto y material de relleno.



3.2.2. Análisis de esfuerzo deformación para el material de relleno

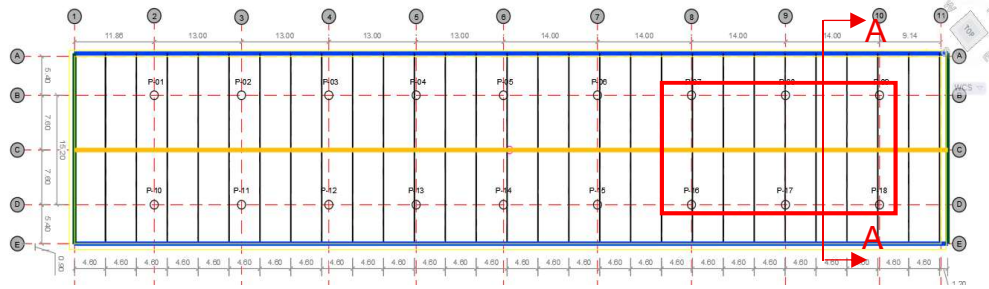
Para corroborar el correcto funcionamiento del poliestireno expandido, se realizará el modelado de la propuesta con elementos finitos mediante el programa INVENTOR.

Según la literatura, la densidad mínima del poliestireno usado para proyectos de carretera es de 20 kg/m³ (Aaboe y Frydenlund, 2011) o 25 kg/m³ (Autelitano et al., 2019), tomando como referencia la ficha técnica del poliestireno expandido comercializado por la empresa DIPROPOR en Perú y el ensayo realizado del mismo producto en el laboratorio Labicer por la empresa CSIL2 (Anexo 1), se opta por realizar el diseño inicial con el EPS Tipo V cuya densidad es de 25kg/m³. Se verificará que el poliestireno no exceda la deformación de 1.00% y su esfuerzo a la compresión sea menor a la indicada en los ensayos y lo expresado en la normativa ASTM D6817/D6817M.

Dado que a mayor dimensión de tamaño y mallado se requiere de mayor tiempo de procesamiento y capacidad computacional por el aumento de grados de libertad del modelo (mayor cantidad de nodos y elementos finitos), se analizará el sector de mayor longitud por ser la zona donde se formaría un mayor momento y por ende se puede obtener mayores valores de esfuerzo y deformación.

Figura 37

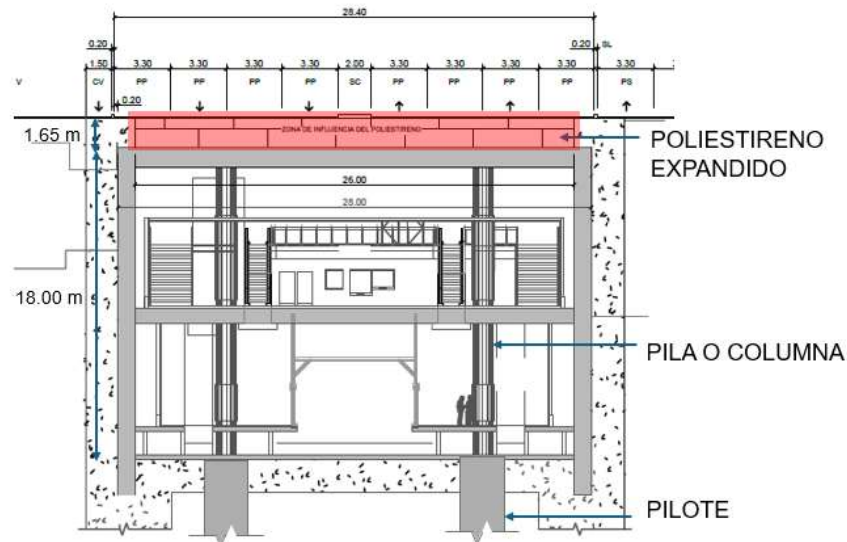
Plano típico de la Caja de una Estación subterránea – zona de estudio – Anexo 3.



Nota: Tomado de (ProInversión, 2014).

Figura 38

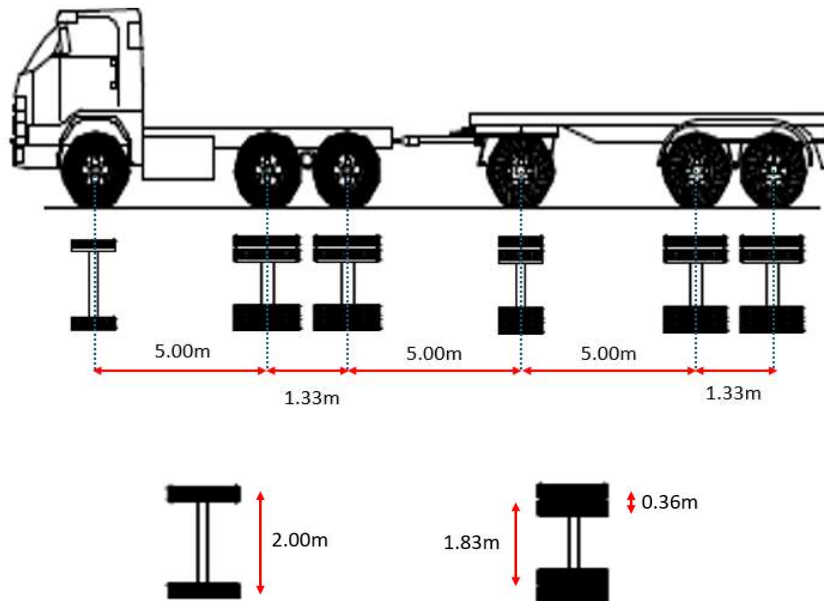
Plano de corte A-A de la Estación subterránea.



La aplicación de cargas vehiculares se hará considerando el vehículo de mayor peso que circularía por el tramo en estudio según la tesis “Análisis y optimización del tránsito vehicular en la Intersección de las avenidas Nicolás Ayllón y los Ruiseñores Santa Anita, Lima 2023” (Capcha, 2024). El vehículo por analizar es un C3R2 (Camión – remolque), los datos de peso y dimensiones se colocaron según limitantes del Reglamento Nacional de Vehículos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003), los neumáticos utilizados comúnmente son del tipo 275/80R22.5 de 80 Psi de presión de inflado (Montalvo, 2019).

Figura 39

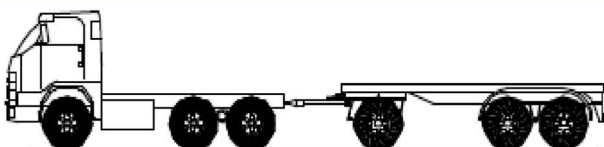
Características del vehículo C3R2 a analizar.



Los ejes del vehículo a representar poseen neumáticos simples y dobles, se halla el área circular equivalente para luego reemplazarlo por un área rectangular (Huang, 2004).

Figura 40

Cargas del vehículo C3R2 a analizar.

CONFIGURACIÓN VEHICULAR	DESCRIPCIÓN GRÁFICA			
C3R2				
EJES	E1	E2	E3	E4
CARGA (Ton)	7	18	11	18
TIPO DE EJE	Simple	Tandem	Simple	Tandem
TIPO DE RUEDA	Simple	Doble	Doble	Doble

Para el eje simple de rueda simple:

$$R_s = \sqrt{\frac{\left(\frac{70KN}{2}\right)}{80PSI * \frac{6894.76Pa}{1PSI} * \pi}} = 0.14 m$$

$$A_{equi} = 0.14^2 * \pi = 0.5227 * L^2$$

$$L = 0.340 m$$

Para el eje tandem de rueda doble:

$$R_D = \sqrt{\frac{0.8521 * \left(\frac{180KN}{8}\right)}{80PSI * \frac{6894.76Pa}{1PSI} * \pi} + \frac{0.36}{\pi} * \sqrt{\frac{\left(\frac{180KN}{8}\right)}{0.5227 * 80PSI * \frac{6894.76Pa}{1PSI}}} = 0.21m$$

$$A_{equi} = 0.21^2 * \pi = 2 * 0.5227 * L^2$$

$$L = 0.364 m$$

Para el eje simple de rueda doble:

$$R_D = \sqrt{\frac{0.8521 * \left(\frac{110KN}{4}\right)}{80PSI * \frac{6894.76Pa}{1PSI} * \pi} + \frac{0.36}{\pi} * \sqrt{\frac{\left(\frac{110KN}{4}\right)}{0.5227 * 80PSI * \frac{6894.76Pa}{1PSI}}} = 0.22 m$$

$$A_{equi} = 0.22^2 * \pi = 2 * 0.5227 * L^2$$

$$L = 0.381 m$$

Tabla 23

Dimensiones de los neumáticos.

Tipo de Eje - Rueda	L (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Dimensiones
Eje simple – Rueda Simple	340	204	296	
Eje tandem – Rueda Doble	364	218	317	
Eje simple – Rueda Doble	381	229	332	

Para iniciar el modelado con el programa INVENTOR, se inicia por definir la geometría y propiedades de la capa de losa de cubierta, poliestireno expandido (Anexo 1) y losa de pavimento. El análisis será del tipo estático – lineal - tridimensional, las propiedades de las capas son las que se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24

Propiedades de las diversas capas a analizar.

Estructura	Densidad (kN/m3)	Módulo de Young (MPa)	Poisson	Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)
Pavimento de Concreto	24	27728.66	0.2	0.35	15.20	28.00
Poliestireno Expandido	0.25	5.90	0.1	1.55		
Concreto de losa de cubierta (Reforzado)	25	35220	0.2	1.20		

Figura 41

Losa de cubierta.

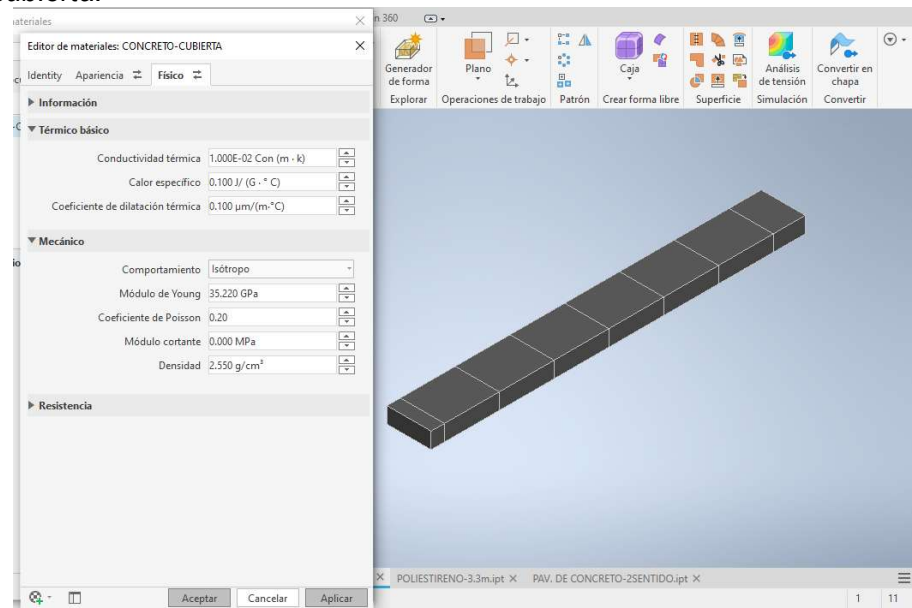


Figura 42

Material de relleno - Poliestireno Expandido.

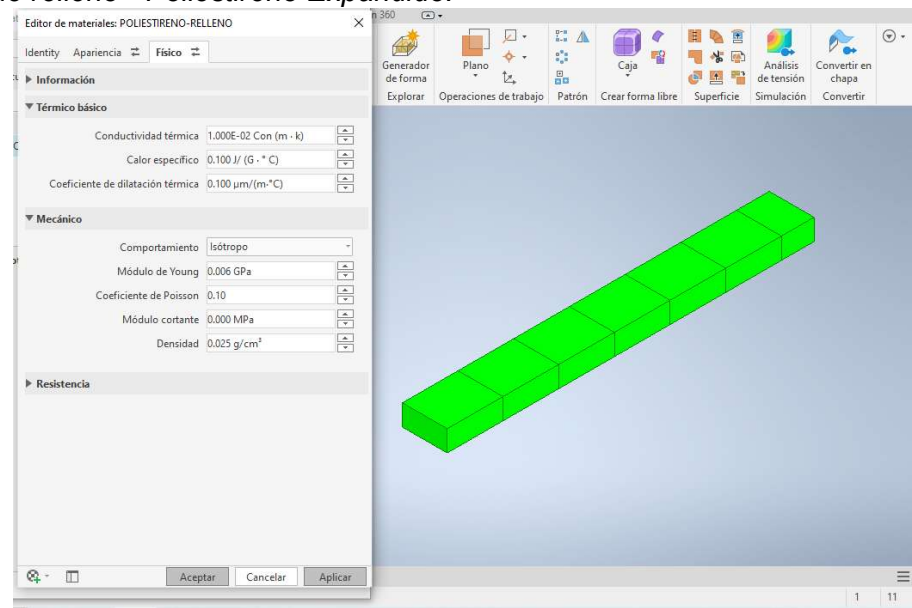
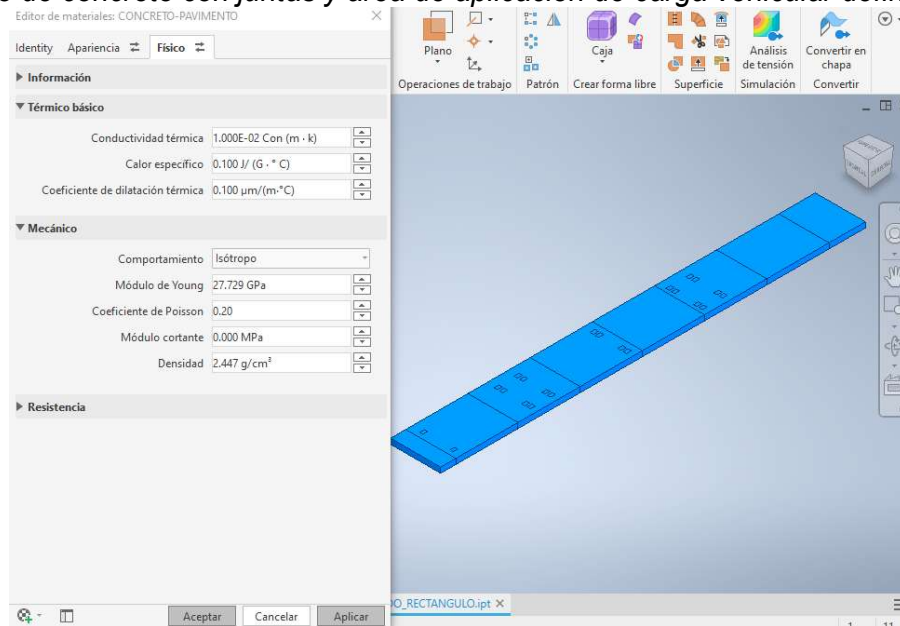


Figura 43

Pavimento de concreto con juntas y área de aplicación de carga vehicular definida.



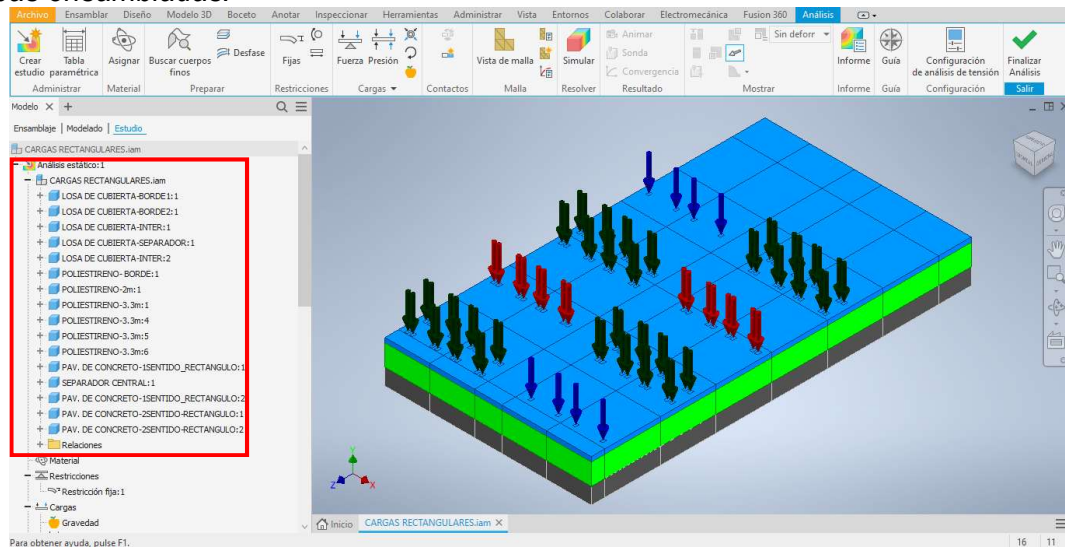
Los elementos son ensamblados mediante la condición de contacto “BONDED” y “SEPARATION”, la primera opción permite transmitir los efectos de cargas de una pieza del modelo a otra por lo que se aplicó para las caras de contacto entre:

- Pavimento de concreto y poliestireno
- Poliestireno y losa de cubierta

La opción de “SEPARATION” fue aplicada a las caras de las juntas para simular el peor de los casos en donde no se da la transferencia de carga por falta de presencia de dovelas.

Figura 44

Capas ensambladas.



Las restricciones de movimiento se realizan sobre la cara inferior de la losa de cubierta, estas restricciones simulan la presencia de las pilas o columnas.

Figura 45

Delimitación geométrica sobre la cara inferior de la losa de cubierta para colocar restricciones de movimiento.

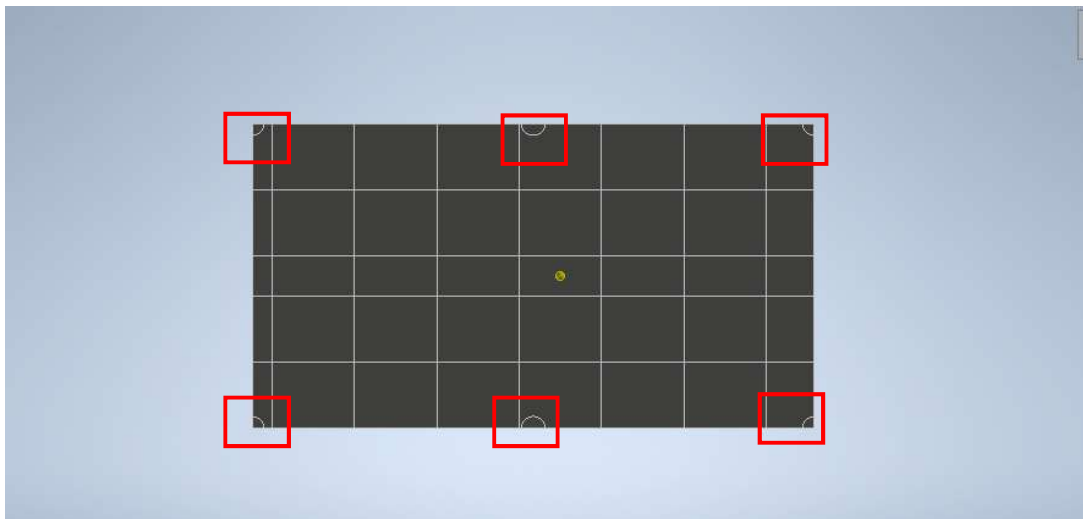
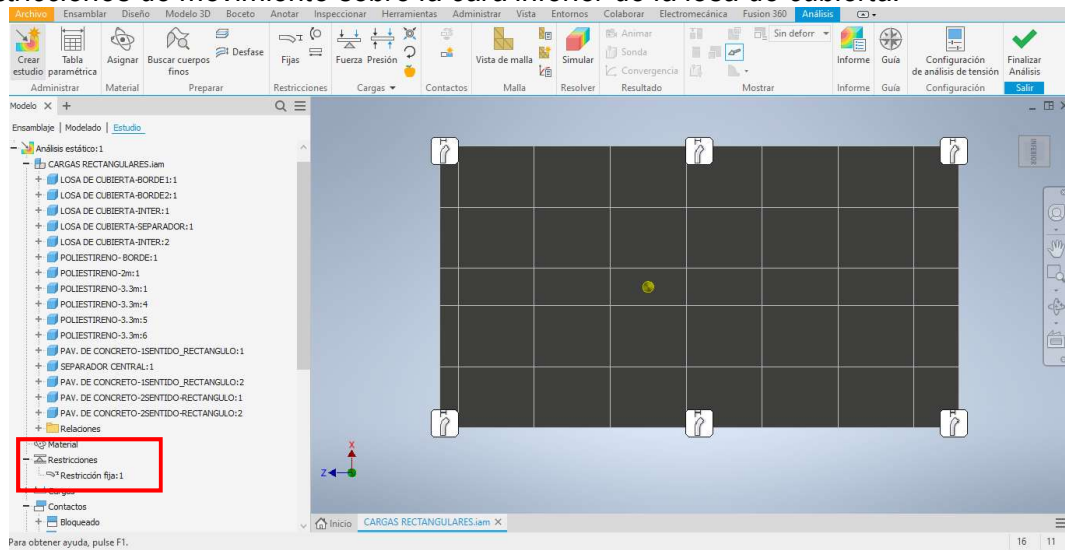


Figura 46

Restricciones de movimiento sobre la cara inferior de la losa de cubierta.



Se aplican los pesos de los vehículos de diseño según lo indicado en la figura 49 y el peso propio de los elementos. El área de contacto entre los neumáticos del vehículo modelo con el pavimento son del tipo rectangular y sus dimensiones son las que se muestran en la tabla 23.

Figura 47

Áreas de neumáticos para aplicar las cargas vehiculares.

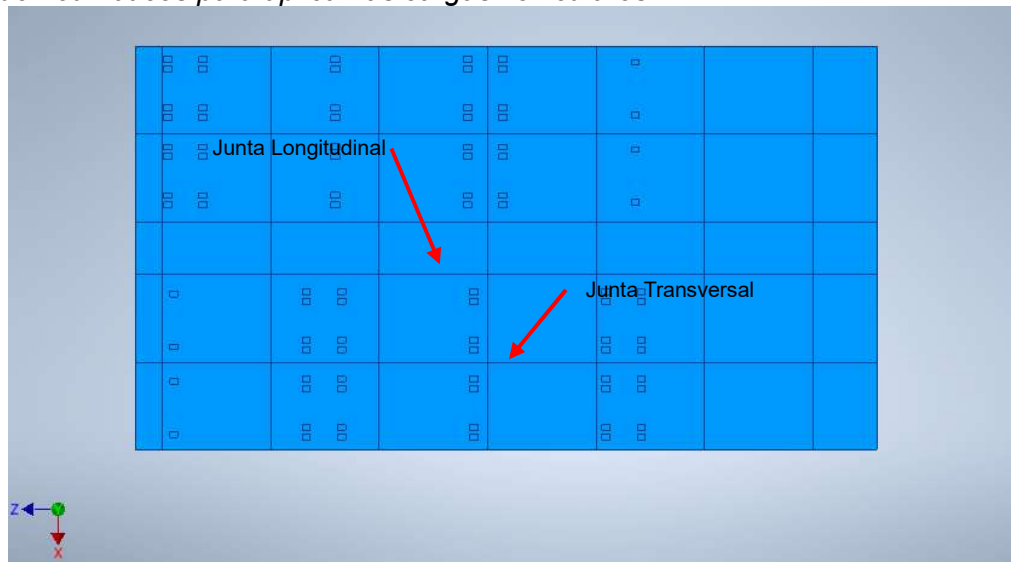


Figura 48

Vista en planta de aplicación de carga vehicular.

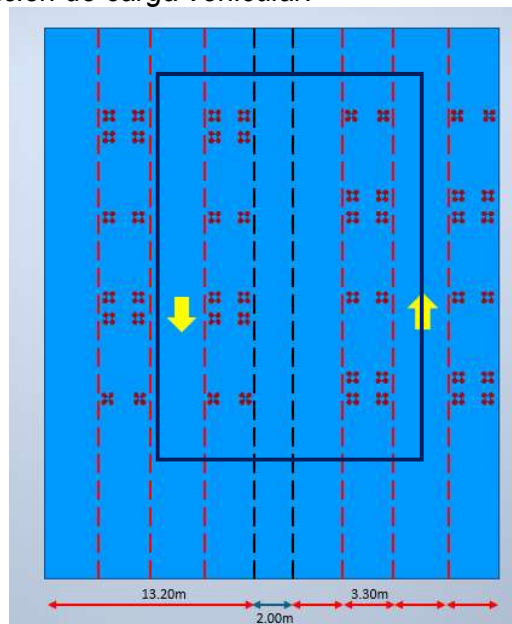


Figura 49

Vista perfil longitudinal de la aplicación de carga vehicular y gravitacional.

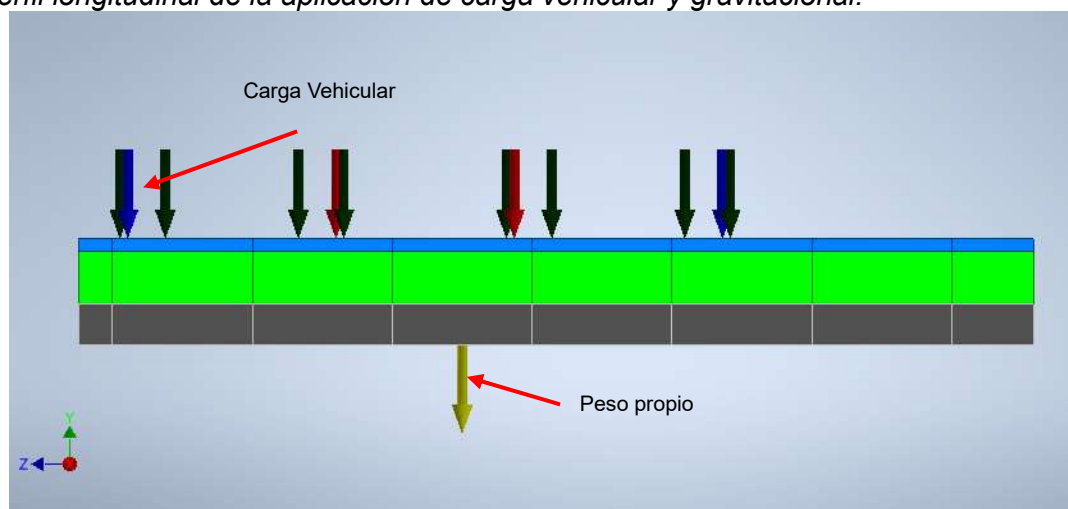
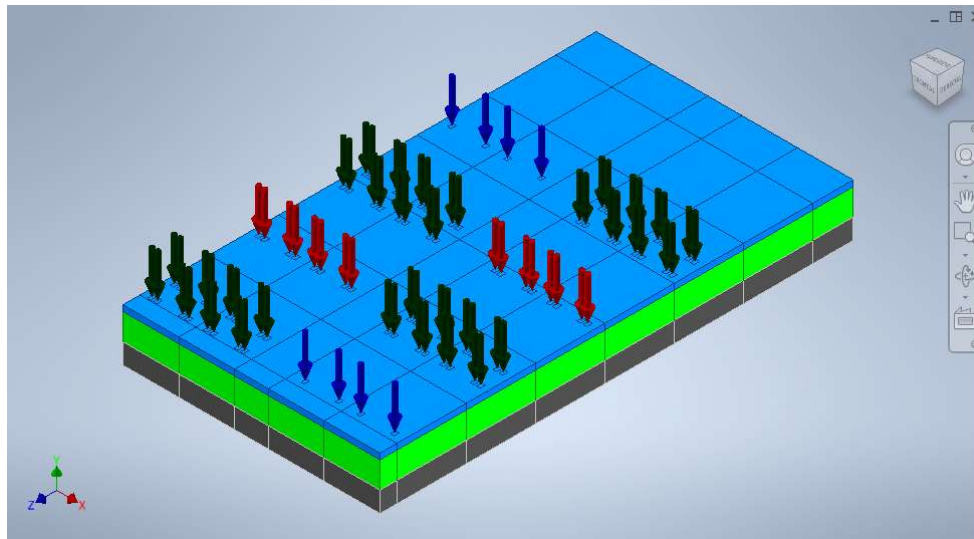


Figura 50

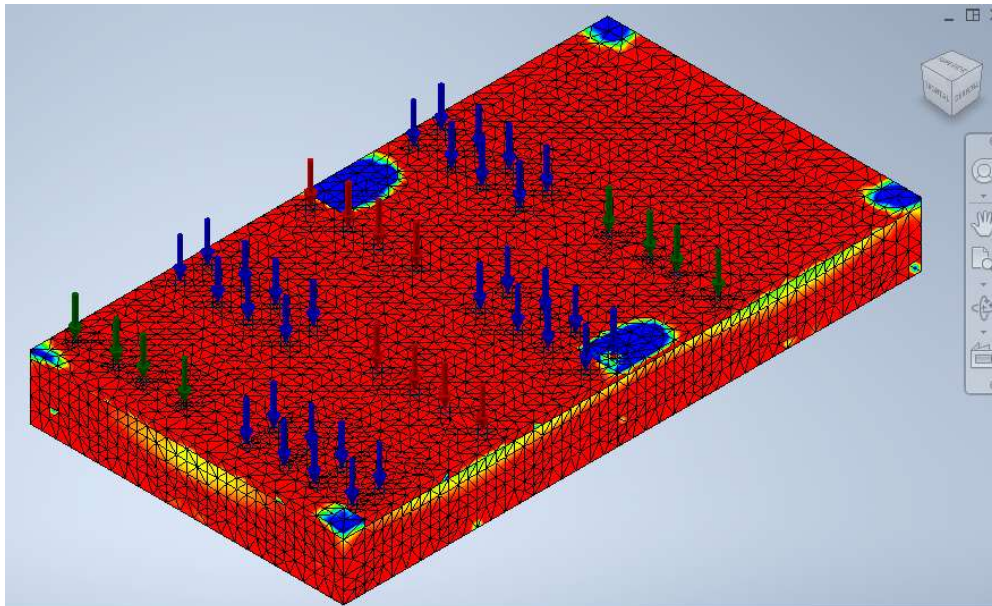
Vista isométrica del modelo.



La configuración de malla se modifica de tal manera que permita la conexión entre nodos y se transmita las reacciones de una pieza a otra. El modelo tiene 180416 nodos para 103304 elementos.

Figura 51

Mallado del modelo.



Se procede a simular el comportamiento de los elementos y se ajusta la escala de visibilidad de resultados. Para validar este modelado se comparó alguno de los valores de esfuerzo máximo obtenido en el pavimento de concreto al aplicar las cargas del vehículo de diseño, entre el programa EVERFE e INVENTOR.

Figura 52

Esfuerzo máximo en el eje YY en el programa INVENTOR.

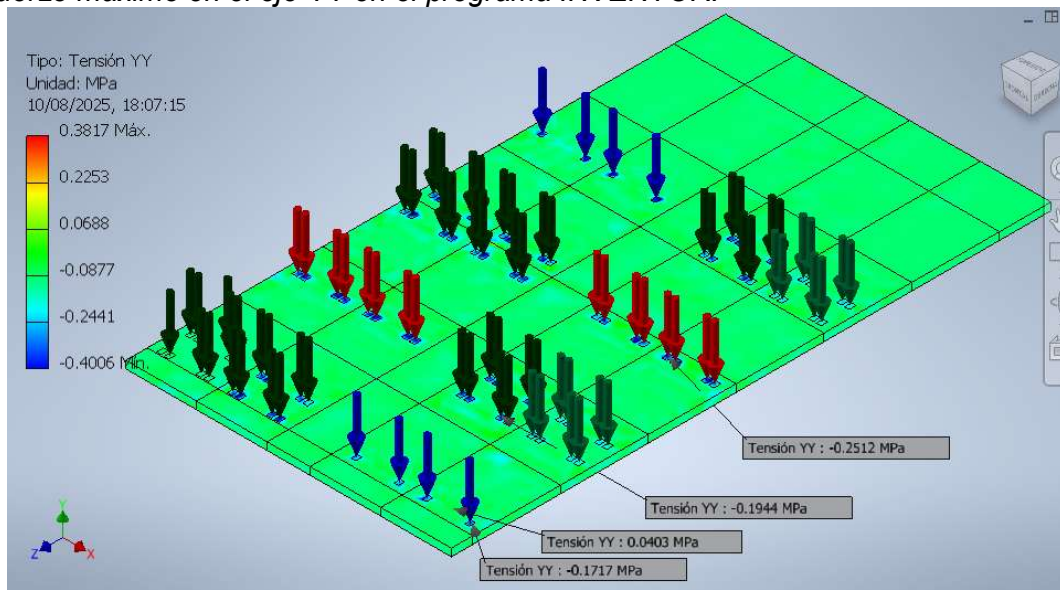
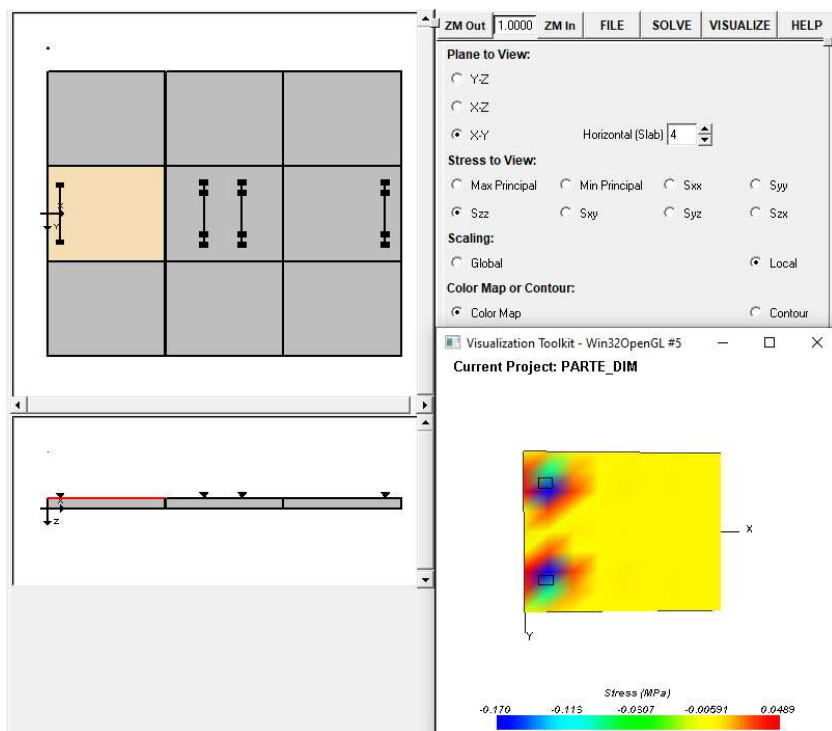


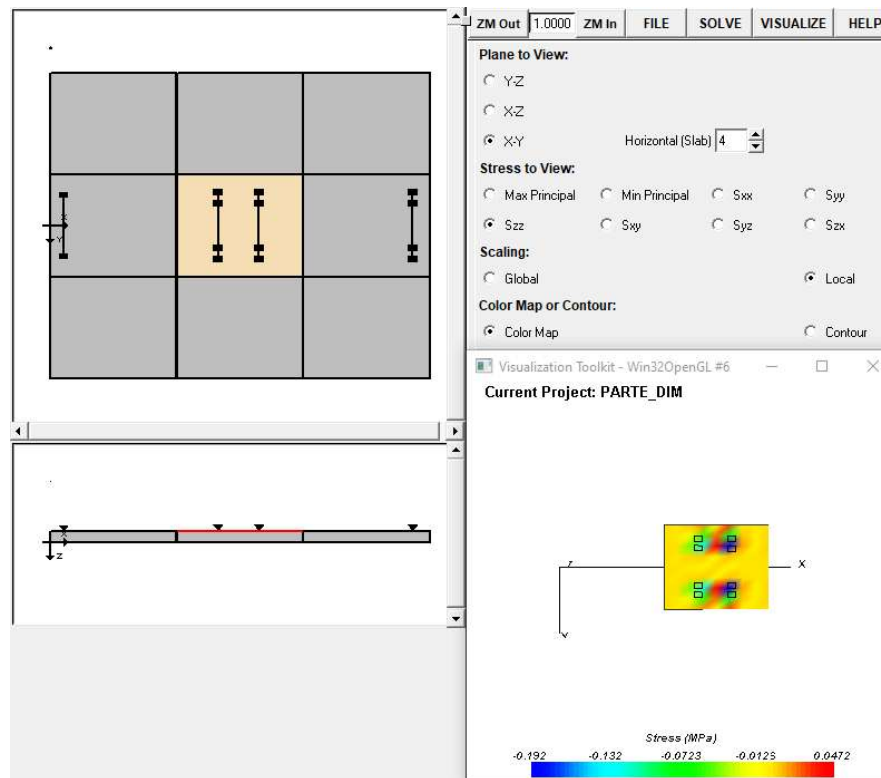
Figura 53

Esfuerzo máximo en el eje ZZ en el programa EVERFE.

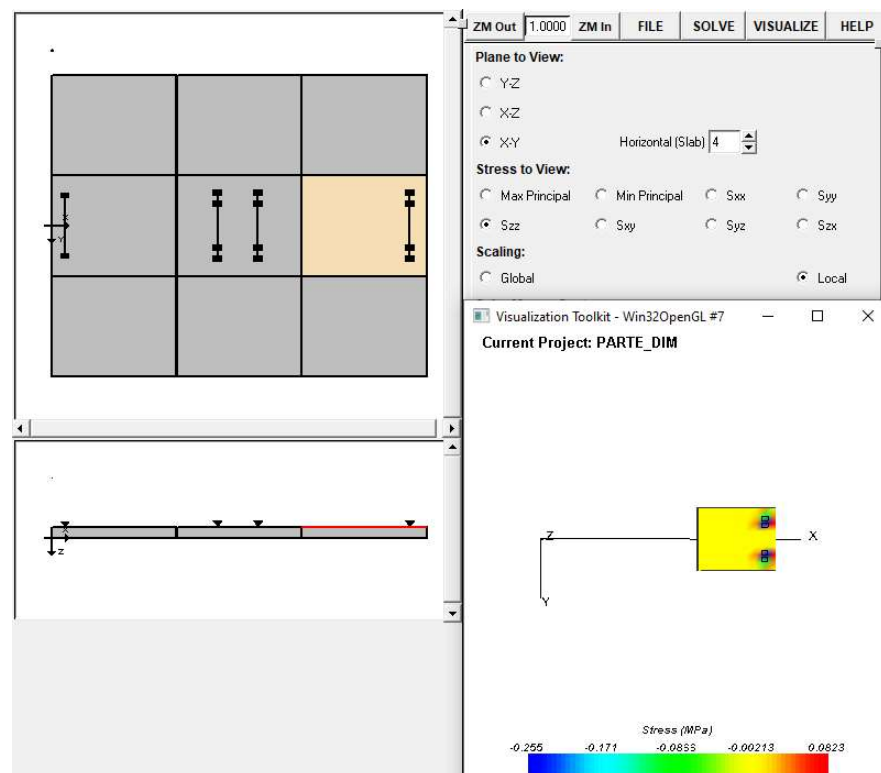
a)



b)



c)



Nota: a) Eje simple de rueda simple, b) Eje tandem de rueda doble y c) Eje simple de rueda doble.

Tabla 25

Comparación de esfuerzos.

Tipo de Eje - Rueda	EVERFE	INVENTOR	Var. %
	Esfuerzo máx zz	Esfuerzo máx yy	
Eje simple - Rueda simple	-0.170	-0.172	1.16%
Eje tandem - Rueda doble	-0.192	-0.194	1.03%
Eje simple - Rueda doble	-0.255	-0.251	1.59%

Como se puede observar en la tabla 25, la variación respecto a los valores es menor al 10%, por lo que se puede considerar como correcto el modelado elaborado en el programa INVENTOR, se procede a obtener los valores de esfuerzo y deformación en el poliestireno para verificar su funcionalidad.

Figura 54

Esfuerzo máximo de compresión en el poliestireno expandido.

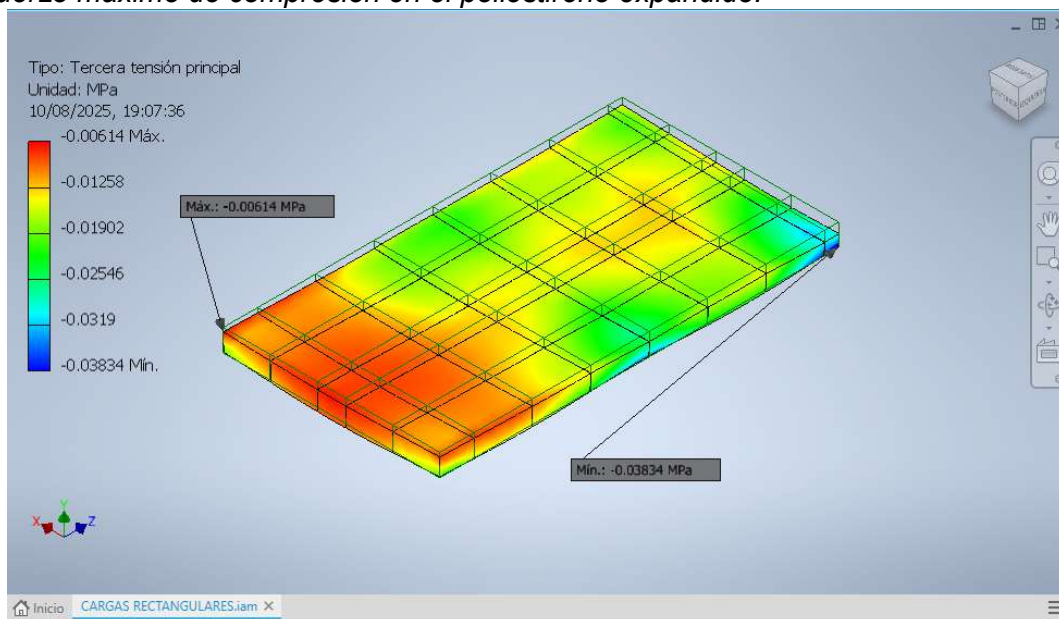


Figura 55

Deformación del poliestireno expandido.

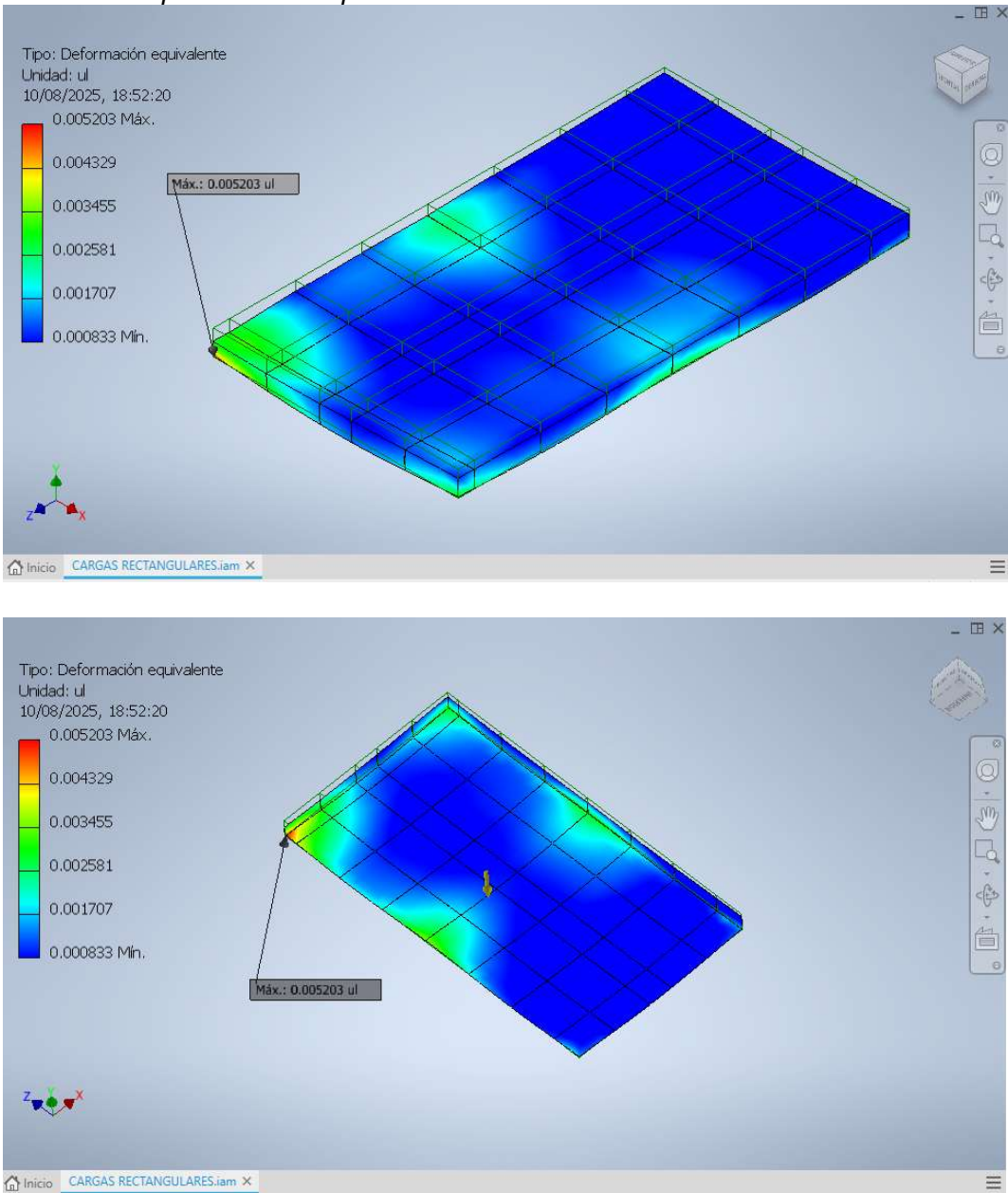


Tabla 26

Comparación de resultados.

Poliestireno Expandido D 25	Elementos finitos	Ensayo EPS D25 (Anexo 1)	Diseño EPS 22 (ASTM D6817) (1)
Esfuerzo de compresión (KPa)	38	77.92	50
Deformación máxima %	0.5	1	1

Nota: La norma ASTM6817 solo registra datos de EPS22 o EPS29; mas no, EPS25. ⁽¹⁾

Los valores obtenidos de la simulación son menores a los límites indicados durante el diseño, por lo que la propuesta de usar el poliestireno expandido como material de relleno para el pavimento de concreto es viable.

3.3. Evaluación de pilotes

3.3.1. Capacidad de carga de pilotes

De la Propuesta Técnica de la Línea 2 del Metro de Lima (ProInversión, 2014), se extrajo los datos de estudios de suelo según profundidad, densidad de los elementos y dimensiones geométricas estándar de la caja de una Estación; con dichas dimensiones se procede a realizar el cálculo de las cargas aplicadas sobre los pilotes mediante el método de áreas tributarias (Anexo 03).

Figura 56

Plano de corte A-A de la Estación subterránea.

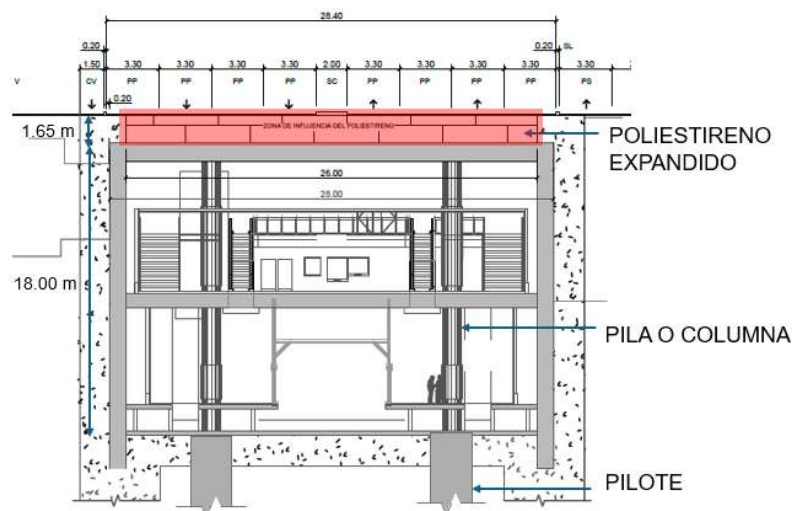


Figura 57

Estratigrafía de la zona de estudio.

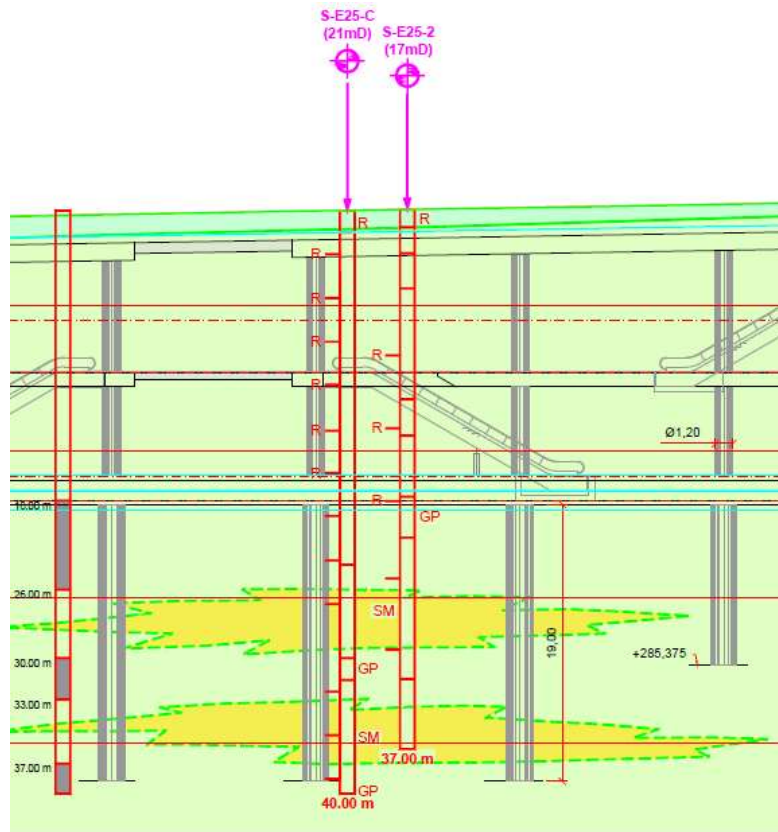


Tabla 27

Propiedades de los diferentes tipos de suelo presentes en la zona – Perfil estratigráfico.

Suelo	De (m)	A (m)	Y' (KN/m ³)	φ (°)	c (KPa)	E (Mpa)	ν
Estación	0	18	-	-	-	-	-
GP	18	26	21	39	32	183	0.3
SM	26	30	16.95	30	5	35	0.3
GP	30	33	21	39	32	183	0.3
SM	33	37	16.95	30	5	35	0.3
GP	>37		21	39	32	183	0.3

Nota: Adaptado de (ProInversión, 2014).

De la exploración geotécnica, se determina que los suelos dentro de los cuales se encontrará empotrado el pilote son GP y SM (ProInversión, 2014). Se tomará un diámetro base de pilote de 1.8 m (Padilla et al., 2017).

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 1.8^2}{4} = 2.54 \text{ m}^2$$

$$P = \pi * D = \pi * 1.8 = 5.65 \text{ m}$$

Tabla 28

Cálculo de cargas sobre cada pilote - material de relleno granular.

PILOTE	CARGAS DE DISEÑO CON MATERIAL GRANULAR		
	PERMANENTE	SOBRECARGA	TOTAL
P01	13,437.26	2,693.33	16,130.58
P02	14,357.41	2,693.33	17,050.74
P03	14,008.68	2,381.61	16,390.29
P04	13,951.46	2,383.61	16,335.07
P05	14,915.64	2,384.12	17,299.76
P06	15,601.17	2,456.32	18,057.50
P07	15,141.51	2,132.56	17,274.07
P08	15,176.52	2,773.05	17,949.56
P09	14,330.45	2,864.26	17,194.71
P10	13,437.26	2,693.33	16,130.58
P11	14,357.41	2,693.33	17,050.74
P12	14,008.68	2,381.61	16,390.29
P13	13,951.46	2,383.61	16,335.07
P14	14,915.64	2,384.12	17,299.76
P15	15,601.17	2,456.32	18,057.50
P16	15,141.51	2,132.56	17,274.07
P17	15,176.52	2,773.05	17,949.56
P18	14,330.45	2,864.26	17,194.71

Para realizar el análisis de asentamiento y distorsión máxima, se requiere el dato de longitud base de pilotes, este cálculo se realiza tomando el dato de las cargas aplicadas para el caso de material de relleno propio de excavación. El cálculo de la longitud del pilote se realizará aplicando el método NAVFAC y el Anejo 07 del Eurocódigo, por su mayor análisis en el tema.

Tabla 29

Factores de seguridad por resistencia y modelo según Eurocódigo-Anejo 07.

Fs punta	1.35	Fs fuste	1.1
Fs modelo	1.4	Fs modelo	1.4
Fs punta total	1.89	Fs fuste total	1.54

Tabla 30

Cálculo de capacidad de carga de pilotes según método NAVFAC.

Cota																		
De (m)	A (m)	Suelo	Y (KN/m ³)	Φ (°)	c (KPa)	Nq	σ _v (KN/m ²)	qp (KN/m ²)	Qp (KN)	δ=3/4 φ	K _{HC} =1-SENφ	tan(δ)*K _{HC}	qs (KN/m ²)	Qs (KN)	Qs acum (KN)	Qp (KN)/FS	Qs acum (KN)/FS	Qadm (KN)
0	18	Est.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-	-
18	19	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	21.00	1,260.00	3,206.31	29.25	0.37	0.21	36.36	205.61	205.61	1,696.46	133.51	3,603.54
19	20	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	42.00	2,520.00	6,412.62	29.25	0.37	0.21	40.72	230.26	435.87	3,392.92	283.03	4,755.52
20	21	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	63.00	3,780.00	9,618.93	29.25	0.37	0.21	45.08	254.91	690.78	5,089.38	448.56	6,000.61
21	22	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	84.00	5,040.00	12,825.24	29.25	0.37	0.21	49.44	279.56	970.34	6,785.84	630.09	6,061.02
22	23	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	105.00	6,300.00	16,031.55	29.25	0.37	0.21	53.80	304.21	1,274.56	8,482.30	827.63	6,067.73
23	24	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	126.00	7,560.00	19,237.86	29.25	0.37	0.21	58.16	328.87	1,603.42	10,178.76	1,041.18	6,020.73
24	25	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	147.00	8,820.00	22,444.17	29.25	0.37	0.21	62.52	353.52	1,956.94	11,875.22	1,270.74	5,920.03
25	26	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	168.00	10,080.00	25,650.48	29.25	0.37	0.21	66.88	378.17	2,335.11	13,571.68	1,516.31	7,499.85
26	27	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	184.95	1,849.50	4,706.40	22.50	0.50	0.21	43.30	244.88	2,579.99	2,490.16	1,675.32	9,767.21
27	28	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	201.90	2,019.00	5,137.73	22.50	0.50	0.21	46.81	264.73	2,844.72	2,718.38	1,847.22	12,204.66
28	29	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	218.85	2,188.50	5,569.05	22.50	0.50	0.21	50.33	284.58	3,129.31	2,946.59	2,032.02	12,653.86
29	30	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	235.80	2,358.00	6,000.38	22.50	0.50	0.21	53.84	304.43	3,433.74	3,174.80	2,229.70	13,049.21
30	31	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	256.80	15,408.00	39,208.58	29.25	0.37	0.21	85.31	482.41	3,916.15	20,745.28	2,542.96	12,547.44
31	32	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	277.80	16,668.00	42,414.89	29.25	0.37	0.21	89.67	507.06	4,423.22	22,441.74	2,872.22	11,914.87
32	33	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	298.80	17,928.00	45,621.20	29.25	0.37	0.21	94.03	531.72	4,954.93	24,138.20	3,217.49	13,766.24
33	34	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	315.75	3,157.50	8,034.86	22.50	0.50	0.21	70.39	398.07	5,353.00	4,251.25	3,475.98	16,708.11
34	35	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	332.70	3,327.00	8,466.18	22.50	0.50	0.21	73.90	417.92	5,770.92	4,479.46	3,747.35	19,742.95
35	36	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	349.65	3,496.50	8,897.51	22.50	0.50	0.21	77.41	437.77	6,208.69	4,707.68	4,031.62	22,870.77
36	37	SM	16.95	30.00	5.00	10.00	366.60	3,666.00	9,328.83	22.50	0.50	0.21	80.93	457.62	6,666.32	4,935.89	4,328.78	26,091.57
37	38	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	387.60	23,256.00	59,179.31	29.25	0.37	0.21	112.46	635.96	7,302.27	31,311.81	4,741.74	28,662.83
38	39	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	408.60	24,516.00	62,385.62	29.25	0.37	0.21	116.82	660.61	7,962.88	33,008.27	5,170.70	31,316.84
39	40	GP	21.00	39.00	32.00	60.00	429.60	25,776.00	65,591.93	29.25	0.37	0.21	121.18	685.26	8,648.15	34,704.73	5,615.68	34,053.60

La carga admisible del terreno debe ser comparada con los valores de carga a aplicar en los pilotes según el estado límite último (ELU).

Tabla 31

Cálculo de longitud de pilotes – material granular.

Cota		Suelo	Qp/FS (KN)	Qs/FS (KN)	Qadm (KN)	PILOTE	QELU (KN) (1.35 CM + 1.5 CV)	Lp (m)
De (m)	A (m)							
0	18	Estación	0.00	0.00	-	P01	22,180	18
18	19	GP	1,696.46	133.51	3,603.54	P02	23,422	19
19	20	GP	3,392.92	283.03	4,755.52	P03	22,484	18
20	21	GP	5,089.38	448.56	6,000.61	P04	22,410	18
21	22	GP	6,785.84	630.09	6,061.02	P05	23,712	19
22	23	GP	8,482.30	827.63	6,067.73	P06	24,746	19
23	24	GP	10,178.76	1,041.18	6,020.73	P07	23,640	19
24	25	GP	11,875.22	1,270.74	5,920.03	P08	24,648	19
25	26	GP	13,571.68	1,516.31	7,499.85	P09	23,643	19
26	27	SM	2,490.16	1,675.32	9,767.21	P10	22,180	18
27	28	SM	2,718.38	1,847.22	12,204.66	P11	23,422	19
28	29	SM	2,946.59	2,032.02	12,653.86	P12	22,484	18
29	30	SM	3,174.80	2,229.70	13,049.21	P13	22,410	18
30	31	GP	20,745.28	2,542.96	12,547.44	P14	23,712	19
31	32	GP	22,441.74	2,872.22	11,914.87	P15	24,746	19
32	33	GP	24,138.20	3,217.49	13,766.24	P16	23,640	19
33	34	SM	4,251.25	3,475.98	16,708.11	P17	24,648	19
34	35	SM	4,479.46	3,747.35	19,742.95	P18	23,643	19
35	36	SM	4,707.68	4,031.62	22,870.77			
36	37	SM	4,935.89	4,328.78	26,091.57			
37	38	GP	31,311.81	4,741.74	28,662.83			
38	39	GP	33,008.27	5,170.70	31,316.84			
39	40	GP	34,704.73	5,615.68	34,053.60			

Para hallar las cargas a aplicar en los pilotes por el material de relleno de poliestireno expandido, se aplica el método de áreas tributarias (Anexo 03). De la Tabla 32, se observa que la reducción de peso es de 25.50 KN/m².

Tabla 32

Comparación de reducción de pesos entre material de relleno granular y poliestireno expandido.

CASO	MATERIAL	Densidad (KN/M3)	H(M)	KN/M2	TOTAL (KN/M2)
CASO 01	RELLENO	16.70	1.55	25.89	34.29
	CONCRETO	24.00	0.35	8.40	

CASO	MATERIAL	Densidad (KN/M3)	H(M)	KN/M2	TOTAL (KN/M2)
CASO 02	POLIESTIRENO	0.25	1.55	0.39	8.79
	CONCRETO	24.00	0.35	8.40	
				VARIACIÓN	25.50

Tabla 33

Cálculo de cargas sobre cada pilote – poliestireno expandido.

PILOTE	ÁREA TRIBUTARIA	CARGAS DE DISEÑO CON POLIESTIRENO		
		PERMANENTE	SOBRECARGA	TOTAL
P01	128.03	10,172.84	2,693.33	12,866.16
P02	133.90	10,943.30	2,693.33	13,636.62
P03	133.90	10,594.56	2,381.61	12,976.18
P04	133.90	10,537.34	2,383.61	12,920.95
P05	139.05	11,370.22	2,384.12	13,754.33
P06	144.20	11,924.43	2,456.32	14,380.76
P07	144.20	11,464.77	2,132.56	13,597.33
P08	144.20	11,499.78	2,773.05	14,272.82
P09	119.17	11,291.89	2,864.26	14,156.15
P10	128.03	10,172.84	2,693.33	12,866.16
P11	133.90	10,943.30	2,693.33	13,636.62
P12	133.90	10,594.56	2,381.61	12,976.18
P13	133.90	10,537.34	2,383.61	12,920.95
P14	139.05	11,370.22	2,384.12	13,754.33
P15	144.20	11,924.43	2,456.32	14,380.76
P16	144.20	11,464.77	2,132.56	13,597.33
P17	144.20	11,499.78	2,773.05	14,272.82
P18	119.17	11,291.89	2,864.26	14,156.15

3.3.2. Evaluación de asentamiento y distorsión angular de pilotes

Tabla 34

Cálculo de cargas actuante en pilotes – material granular (izquierda) y poliestireno (derecha).

PILOTE	QELS (KN) (CV+CM)	Lp propuesto (m)	Punta Qp (KN)	qo (KN/m2)	Fuste Qs (KN)	Acción de pilote Qp (QELS- Qs) (KN)	PILOTE	QELS (KN) (CV+CM)	Lp propuesto (m)	Punta Qp (KN)	qo (KN/m2)	Fuste Qs (KN)	Acción de pilote Qp (QELS- Qs) (KN)
P01	16,131	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	9,921.89	P01	12,866	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,657.47
P02	17,051	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,384.42	P02	13,637	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	6,970.31
P03	16,390	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	10,181.60	P03	12,976	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,767.48
P04	16,335	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	10,126.38	P04	12,921	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,712.26
P05	17,300	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,633.44	P05	13,754	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,088.02
P06	18,057	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	11,391.18	P06	14,381	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,714.44
P07	17,274	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,607.76	P07	13,597	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	6,931.02
P08	17,950	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	11,283.25	P08	14,273	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,606.51
P09	17,195	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,528.40	P09	14,156	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,489.84
P10	16,131	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	9,921.89	P10	12,866	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,657.47
P11	17,051	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,384.42	P11	13,637	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	6,970.31
P12	16,390	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	10,181.60	P12	12,976	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,767.48
P13	16,335	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	10,126.38	P13	12,921	18	8,897.51	3,496.50	6,208.69	6,712.26
P14	17,300	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,633.44	P14	13,754	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,088.02
P15	18,057	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	11,391.18	P15	14,381	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,714.44
P16	17,274	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,607.76	P16	13,597	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	6,931.02
P17	17,950	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	11,283.25	P17	14,273	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,606.51
P18	17,195	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	10,528.40	P18	14,156	19	9,328.83	3,666.00	6,666.32	7,489.84

Tabla 35

Cálculo de asentamientos para cada pilote – material granular.

			Asiento elástico						Asiento por punta			Asiento por fuste		Asiento total (mm)
PILOTE	QELS (KN)	Qp (QELS-Qs) (KN)	Qs (KN)	α_s	Lp (m)	Concreto E (Pa)	A (m2)	Δs_e (m)	qo	Cp	Δs_p (m)	Cs	Δs_s (m)	
P01	16,131	9,921.89	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.85E-03	3,496.50	0.05	7.88E-02	0.13	1.25E-02	94.15
P02	17,051	10,384.42	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.17E-03	3,666.00	0.05	7.87E-02	0.13	1.25E-02	94.38
P03	16,390	10,181.60	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.90E-03	3,496.50	0.05	8.09E-02	0.13	1.25E-02	96.26
P04	16,335	10,126.38	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.89E-03	3,496.50	0.05	8.04E-02	0.13	1.25E-02	95.81
P05	17,300	10,633.44	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.22E-03	3,666.00	0.05	8.06E-02	0.13	1.25E-02	96.32
P06	18,057	11,391.18	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.38E-03	3,666.00	0.05	8.63E-02	0.13	1.25E-02	102.23
P07	17,274	10,607.76	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.22E-03	3,666.00	0.05	8.04E-02	0.13	1.25E-02	96.12
P08	17,950	11,283.25	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.36E-03	3,666.00	0.05	8.55E-02	0.13	1.25E-02	101.39
P09	17,195	10,528.40	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.20E-03	3,666.00	0.05	7.98E-02	0.13	1.25E-02	95.51
P10	16,131	9,921.89	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.85E-03	3,496.50	0.05	7.88E-02	0.13	1.25E-02	94.15
P11	17,051	10,384.42	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.17E-03	3,666.00	0.05	7.87E-02	0.13	1.25E-02	94.38
P12	16,390	10,181.60	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.90E-03	3,496.50	0.05	8.09E-02	0.13	1.25E-02	96.26
P13	16,335	10,126.38	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.89E-03	3,496.50	0.05	8.04E-02	0.13	1.25E-02	95.81
P14	17,300	10,633.44	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.22E-03	3,666.00	0.05	8.06E-02	0.13	1.25E-02	96.32
P15	18,057	11,391.18	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.38E-03	3,666.00	0.05	8.63E-02	0.13	1.25E-02	102.23
P16	17,274	10,607.76	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.22E-03	3,666.00	0.05	8.04E-02	0.13	1.25E-02	96.12
P17	17,950	11,283.25	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.36E-03	3,666.00	0.05	8.55E-02	0.13	1.25E-02	101.39
P18	17,195	10,528.40	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	3.20E-03	3,666.00	0.05	7.98E-02	0.13	1.25E-02	95.51

Tabla 36

Cálculo de asentamientos para cada pilote – poliestireno expandido.

			Asiento elástico						Asiento por punta			Asiento por fuste		Asiento total (mm)
PILOTE	QELS (KN)	Qp (QELS-Qsprom) (KN)	Qs (KN)	αs	Lp (m)	Concreto E (Pa)	A (m2)	Δse (m)	qo	Cp	Δsp (m)	Cs	Δss (m)	
P01	12,866	6,657.47	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.19E-03	3,496.50	0.05	5.29E-02	0.13	1.25E-02	67.56
P02	13,637	6,970.31	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.44E-03	3,666.00	0.05	5.28E-02	0.13	1.25E-02	67.79
P03	12,976	6,767.48	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.21E-03	3,496.50	0.05	5.38E-02	0.13	1.25E-02	68.45
P04	12,921	6,712.26	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.20E-03	3,496.50	0.05	5.33E-02	0.13	1.25E-02	68.00
P05	13,754	7,088.02	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.46E-03	3,666.00	0.05	5.37E-02	0.13	1.25E-02	68.70
P06	14,381	7,714.44	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.60E-03	3,666.00	0.05	5.85E-02	0.13	1.25E-02	73.58
P07	13,597	6,931.02	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.43E-03	3,666.00	0.05	5.25E-02	0.13	1.25E-02	67.48
P08	14,273	7,606.51	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.58E-03	3,666.00	0.05	5.76E-02	0.13	1.25E-02	72.74
P09	14,156	7,489.84	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.55E-03	3,666.00	0.05	5.68E-02	0.13	1.25E-02	71.83
P10	12,866	6,657.47	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.19E-03	3,496.50	0.05	5.29E-02	0.13	1.25E-02	67.56
P11	13,637	6,970.31	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.44E-03	3,666.00	0.05	5.28E-02	0.13	1.25E-02	67.79
P12	12,976	6,767.48	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.21E-03	3,496.50	0.05	5.38E-02	0.13	1.25E-02	68.45
P13	12,921	6,712.26	6,208.69	0.67	18	35000000	2.54	2.20E-03	3,496.50	0.05	5.33E-02	0.13	1.25E-02	68.00
P14	13,754	7,088.02	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.46E-03	3,666.00	0.05	5.37E-02	0.13	1.25E-02	68.70
P15	14,381	7,714.44	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.60E-03	3,666.00	0.05	5.85E-02	0.13	1.25E-02	73.58
P16	13,597	6,931.02	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.43E-03	3,666.00	0.05	5.25E-02	0.13	1.25E-02	67.48
P17	14,273	7,606.51	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.58E-03	3,666.00	0.05	5.76E-02	0.13	1.25E-02	72.74
P18	14,156	7,489.84	6,666.32	0.67	19	35000000	2.54	2.55E-03	3,666.00	0.05	5.68E-02	0.13	1.25E-02	71.83

Tabla 37

Comparación entre asentamientos calculados.

PILOTE	Asiento total (mm)		Δ Asiento total (mm)	$\Delta\%$
	POLIESTIRENO	RELLENO GRANULAR		
P01	67.56	94.15	26.59	28.2%
P02	67.79	94.38	26.60	28.2%
P03	68.45	96.26	27.81	28.9%
P04	68.00	95.81	27.81	29.0%
P05	68.70	96.32	27.62	28.7%
P06	73.58	102.23	28.64	28.0%
P07	67.48	96.12	28.64	29.8%
P08	72.74	101.39	28.64	28.3%
P09	71.83	95.51	23.67	24.8%
P10	67.56	94.15	26.59	28.2%
P11	67.79	94.38	26.60	28.2%
P12	68.45	96.26	27.81	28.9%
P13	68.00	95.81	27.81	29.0%
P14	68.70	96.32	27.62	28.7%
P15	73.58	102.23	28.64	28.0%
P16	67.48	96.12	28.64	29.8%
P17	72.74	101.39	28.64	28.3%
P18	71.83	95.51	23.67	24.8%
Máx Δ			28.64	29.8%

Tabla 38

Espaciamiento entre pilotes en dirección X y Y.

Espaciamiento entre pilotes en dirección X			Espaciamiento entre pilotes en dirección Y		
Pilote inicial	Pilote final	e_x (m)	Pilote inicial	Pilote final	e_y (m)
P01	P02	13	P01	P10	15.2
P02	P03	13	P02	P11	15.2
P03	P04	13	P03	P12	15.2
P04	P05	13	P04	P13	15.2
P05	P06	14	P05	P14	15.2
P06	P07	14	P06	P15	15.2
P07	P08	14	P07	P16	15.2
P08	P09	14	P08	P17	15.2
			P09	P18	15.2

Dado que la estructura de caja presentada es simétrica, la variación entre asentamientos para el Eje Y es 0; por lo que, solo se presenta la distorsión en el Eje X.

Tabla 39

Distorsión angular en el Eje X – material granular.

DISTORSIÓN ANGULAR EN EJE X							
Pilote inicial		Pilote final		d _x (m)	e _x (m)	a _x	a _{máx.} (1/750)
Pilote	Asiento total (m)	Pilote	Asiento total (m)				
P01	9.41E-02	P02	9.44E-02	2.35E-04	13	1.81E-05	OK
P02	9.44E-02	P03	9.63E-02	1.88E-03	13	1.45E-04	OK
P03	9.63E-02	P04	9.58E-02	4.50E-04	13	3.46E-05	OK
P04	9.58E-02	P05	9.63E-02	5.10E-04	13	3.92E-05	OK
P05	9.63E-02	P06	1.02E-01	5.90E-03	14	4.22E-04	OK
P06	1.02E-01	P07	9.61E-02	6.10E-03	14	4.36E-04	OK
P07	9.61E-02	P08	1.01E-01	5.26E-03	14	3.76E-04	OK
P08	1.01E-01	P09	9.55E-02	5.88E-03	14	4.20E-04	OK
P10	9.41E-02	P11	9.44E-02	2.35E-04	13	1.81E-05	OK
P11	9.44E-02	P12	9.63E-02	1.88E-03	13	1.45E-04	OK
P12	9.63E-02	P13	9.58E-02	4.50E-04	13	3.46E-05	OK
P13	9.58E-02	P14	9.63E-02	5.10E-04	13	3.92E-05	OK
P14	9.63E-02	P15	1.02E-01	5.90E-03	14	4.22E-04	OK
P15	1.02E-01	P16	9.61E-02	6.10E-03	14	4.36E-04	OK
P16	9.61E-02	P17	1.01E-01	5.26E-03	14	3.76E-04	OK
P17	1.01E-01	P18	9.55E-02	5.88E-03	14	4.20E-04	OK

Tabla 40

Distorsión angular en el Eje X – poliestireno expandido.

DISTORSIÓN ANGULAR EN EJE X							
Pilote inicial		Pilote final		d _x (m)	e _x (m)	a _x	a _{máx.} (1/750)
Pilote	Asiento total (m)	Pilote	Asiento total (m)				
P01	6.76E-02	P02	6.78E-02	2.32E-04	13	1.78E-05	OK
P02	6.78E-02	P03	6.85E-02	6.65E-04	13	5.11E-05	OK
P03	6.85E-02	P04	6.80E-02	4.50E-04	13	3.46E-05	OK
P04	6.80E-02	P05	6.87E-02	7.02E-04	13	5.40E-05	OK
P05	6.87E-02	P06	7.36E-02	4.88E-03	14	3.49E-04	OK
P06	7.36E-02	P07	6.75E-02	6.10E-03	14	4.36E-04	OK
P07	6.75E-02	P08	7.27E-02	5.26E-03	14	3.76E-04	OK
P08	7.27E-02	P09	7.18E-02	9.09E-04	14	6.49E-05	OK
P10	6.76E-02	P11	6.78E-02	2.32E-04	13	1.78E-05	OK
P11	6.78E-02	P12	6.85E-02	6.65E-04	13	5.11E-05	OK
P12	6.85E-02	P13	6.80E-02	4.50E-04	13	3.46E-05	OK
P13	6.80E-02	P14	6.87E-02	7.02E-04	13	5.40E-05	OK

DISTORSIÓN ANGULAR EN EJE X							
Pilote inicial		Pilote final		d_x (m)	e_x (m)	a_x	$a_{\text{máx.}}$ (1/750)
Pilote	Asiento total (m)	Pilote	Asiento total (m)				
P14	6.87E-02	P15	7.36E-02	4.88E-03	14	3.49E-04	OK
P15	7.36E-02	P16	6.75E-02	6.10E-03	14	4.36E-04	OK
P16	6.75E-02	P17	7.27E-02	5.26E-03	14	3.76E-04	OK
P17	7.27E-02	P18	7.18E-02	9.09E-04	14	6.49E-05	OK

Al comparar los valores de asentamiento calculados se registra una reducción máxima de 29.8% equivalente a 28.64mm, calculado mediante el método NAVFAC y considerando factores de seguridad provenientes del Eurocódigo-Anejo 07. En el caso de distorsión, si bien ambos casos cumplen con el escenario más crítico de 1/750, se observa una reducción de valores de asentamiento en lo obtenido al usar el poliestireno expandido en comparación con el material proveniente de excavación.

Capítulo IV. Método constructivo de la estructura de pavimento propuesto

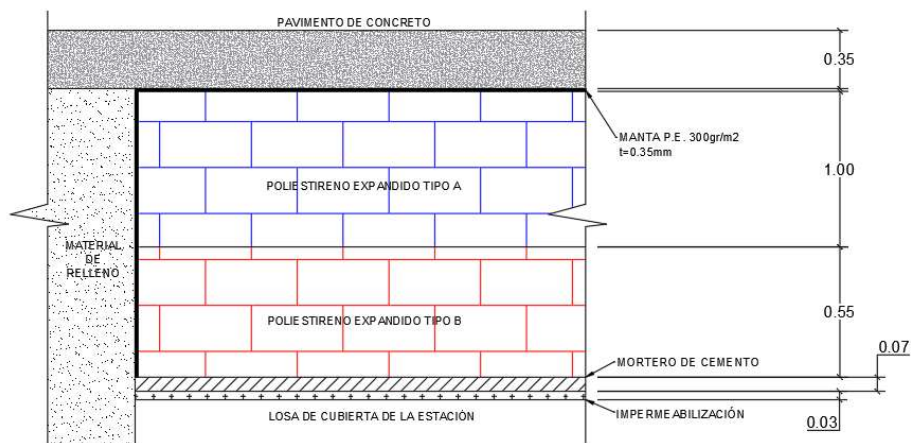
El siguiente método constructivo fue aplicado en la línea del metro de Lima y es un tramo en donde hay circulación vehicular actualmente.

4.1. Ejecución

- Previo a la instalación de los bloques de poliestireno, se debe realizar la limpieza de la superficie sobre la cual será colocada, esta zona debe estar libre de suciedad o empozamiento. Para este caso, el poliestireno es colocado sobre el mortero que forma parte de la protección del sistema de impermeabilización de la losa de cubierta. Se deberá realizar el trazo y replanteo previo a la colocación de bloques de poliestireno expandido.

Figura 58

Detalle de pavimento.



- Los bloques de poliestireno expandido serán unidos mediante conectores de acero liso de 3/8", en caso existieran interferencias (instalaciones) se realizan cortes a los bloques de poliestireno expandido, adecuándolos a los espacios y evitando dañar u obstruir las instalaciones existentes. La instalación se realiza en 2 capas como mínimo; ya que, diversas investigaciones indican que una sola capa podría facilitar la falla prematura (Ballesteros y Ruiz, 2012). Las propiedades del poliestireno tipo A y B, son las mismas, solo varían dimensiones para poder llegar a la altura requerida.

Figura 59

Detalle de conector para poliestireno expandido.

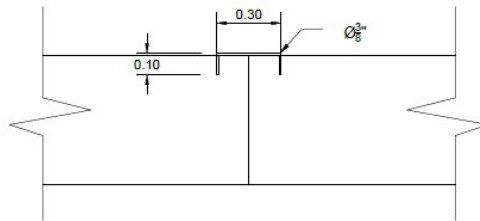


Figura 60

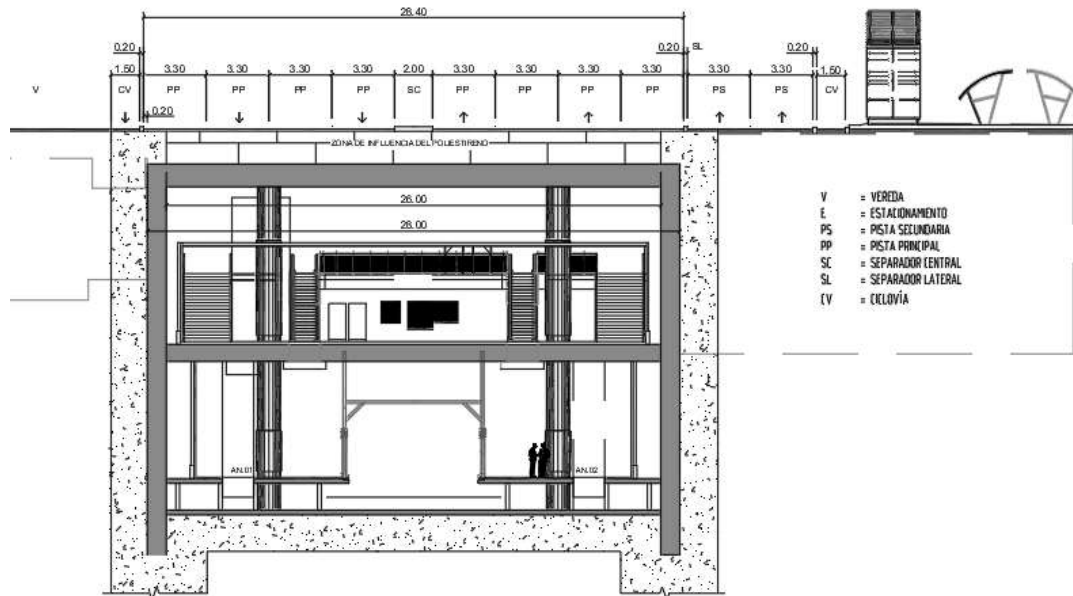
Instalación de bloques de poliestireno expandido.



- Dado que se debe proteger los bloques de poliestireno, se instala un manto de protección de polietileno de alta densidad (Espesor: 0,35 mm, Peso: 300 g/m²), los traslapes entre mantos deben tener como mínimo 5 cm y se aplica la fusión por temperatura para garantizar el sellado correcto. El manto no debe presentar desgaste o anomalías en su superficie. De ocurrir algún daño, el área deberá ser reparada y/o reemplazada con los traslapes necesarios, cuidando en todo momento que las nuevas uniones queden totalmente herméticas.
- De la figura 61, se puede observar que se requiere realizar la compactación cada 15 cm del relleno natural que se coloca lateralmente al poliestireno expandido, para poder realizar el vaciado de concreto de las losas laterales de la vía principal.

Figura 61

Vista de corte transversal a las vías de tránsito.



- Se procede a iniciar con la instalación de acero para las juntas, los aceros a colocar son de 2 tipos: liso para las juntas transversales y corrugado para las juntas longitudinales. El área por vaciar con concreto está delimitada por el encofrado a base de triplay fenólico.

Figura 62

Instalación de acero y encofrado para pavimento de concreto sobre el manto de protección de los bloques de EPS.



- El vaciado de concreto se realiza con la ayuda de una bomba que permita distribuir de manera homogénea el concreto en toda el área. El curado será mínimo de 7 días, para mantener la humedad se usará yute.

Figura 63

Vaciado de concreto para pavimento rígido.



Figura 64

Curado de concreto para pavimento rígido.



- La ejecución de juntas de contracción y construcción se realiza cuando el concreto alcanzó la resistencia suficiente para soportar los cortes sin desmoronarse.

4.2. Maquinaria - equipos

A continuación, se indican a modo de referencia, la maquinaria y/o equipos para realizar las labores contempladas:

Figura 65

Estación total y mira estadimétrica.



Figura 66

Equipo para termosellado.



Nota: Tomado de (TECOAD SAC, sf.).

Figura 67

Camión volquete.



Figura 68

Minicargador frontal.



Figura 69

Rodillo compactador.



Figura 70

Camión mixer con concreto premezclado.



Figura 71

Bomba de concreto.



Figura 72

Cortadora de concreto.



Capítulo V. Comparación tiempo – costo de ejecución del método propuesto y el método tradicional

A continuación, se muestra el presupuesto y el diagrama de Gantt – Cronograma de la ejecución de pavimento rígido de la vía principal indicada en, con material de relleno propio de excavación y el caso de poliestireno expandido (explicado en el capítulo IV). El rendimiento de la partida de material de relleno propio de excavación fue medida en la obra de la Línea 2 del Metro de Lima. Se considera un gasto general y utilidad del 10% respectivamente. El análisis de costos unitarios para cada caso se presenta en el Anexo 02.

Tabla 41

Presupuesto de vía superficial con material de relleno propio de excavación.

PRESUPUESTO					
PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO					
MATERIAL RELLENO PROPIO					
MONEDA: SOLES					
Item	Partida	Unidad	Metrado	PU	Parcial
1	TRABAJOS PRELIMINARES				20,747.22
1.1	OFICINA Y ALMACÉN	GLB	1.00	1,864.41	1,864.41
1.2	EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	GLB	1.00	1,472.08	1,472.08
1.3	EQUIPO DE PROTECCIÓN COLECTIVA	GLB	1.00	3,218.77	3,218.77
1.4	TRAZO Y REPLANTEO	M2	3,663.60	2.89	10,587.80
1.5	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	GLB	1.00	3,604.16	3,604.16
2	RELLENOS				1,297,924.78
2.1	MATERIAL DE RELLENO PROPIO DE EXCAVACIÓN	M3	6,184.13	209.88	1,297,924.78
3	PAVIMENTO DE CONCRETO				554,030.17
3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	3,663.60	7.58	27,770.09
3.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=350 kg/cm2	M3	1,282.26	348.95	447,444.63
3.3	ACERO LONGITUDINAL (BARRA DE AMARRE)	ML	903.00	14.78	13,346.34
3.4	ACERO TRANSVERSAL (PASA JUNTA)	ML	775.68	15.93	12,356.58
3.5	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTRACCIÓN	ML	1,811.80	25.15	45,566.77
3.6	JUNTA DE AISLAMIENTO	ML	314.80	23.97	7,545.76
4	SEPARADOR CENTRAL				11,121.12
4.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	212.50	7.33	1,557.63
4.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=175 kg/cm2	M3	31.88	289.71	9,235.95
4.3	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	ML	53.00	6.18	327.54
5	SEÑALIZACIÓN				4,386.39
5.1	PINTADO DE FRANJAS EN PAVIMENTO	M	30.00	9.98	299.40
5.2	PINTADO DE PASE PEATONAL Y FLECHAS	M2	62.40	19.33	1,206.19
5.3	PINTADO DE BORDE DE VEREDA	M	260.00	11.08	2,880.80
COSTO DIRECTO					1,888,209.69
GASTOS GENERALES 10%					188,820.97
UTILIDAD 10%					188,820.97
SUB TOTAL					2,265,851.63
IGV 18%					407,853.29
TOTAL PRESUPUESTO					2,673,704.92

SON: DOS MILLONES SEISCIENTOS SETENTA Y TRES MIL SETECIENTOS CUATRO CON 92/100 SOLES

Tabla 42

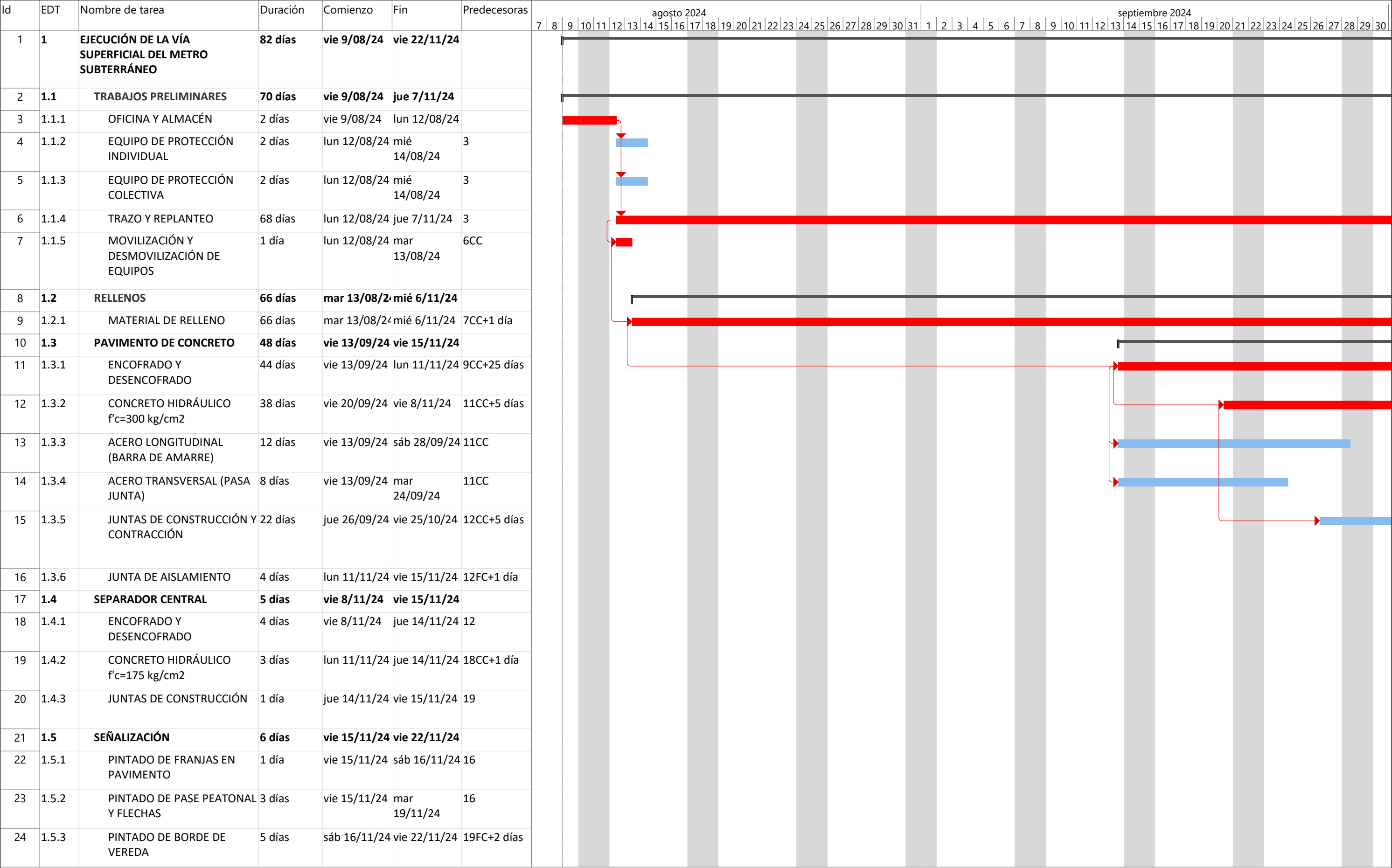
Presupuesto de vía superficial con poliestireno expandido como material de relleno.

PRESUPUESTO

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO
MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO
MONEDA: SOLES

Item	Partida	Unidad	Metrado	PU	Parcial
1	TRABAJOS PRELIMINARES				18,119.72
1.1	OFICINA Y ALMACÉN	GLB	1.00	1,864.41	1,864.41
1.2	EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	GLB	1.00	1,472.08	1,472.08
1.3	EQUIPO DE PROTECCIÓN COLECTIVA	GLB	1.00	3,218.77	3,218.77
1.4	TRAZO Y REPLANTEO	M2	3,663.60	2.89	10,587.80
1.5	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	GLB	1.00	976.66	976.66
2	RELLENOS				1,272,561.54
2.1	POLIESTIRENO EXPANDIDO	M3	5,598.60	217.19	1,215,959.93
2.2	MANTO PROTECTOR E=300 GR/M2	M2	3,834.50	7.74	29,679.03
2.3	MATERIAL DE RELLENO PROPIO DE EXCAVACIÓN	M3	585.53	45.98	26,922.58
3	PAVIMENTO DE CONCRETO				554,030.17
3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	3,663.60	7.58	27,770.09
3.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=350 kg/cm2	M3	1,282.26	348.95	447,444.63
3.3	ACERO LONGITUDINAL (BARRA DE AMARRE)	ML	903.00	14.78	13,346.34
3.4	ACERO TRANSVERSAL (PASA JUNTA)	ML	775.68	15.93	12,356.58
3.5	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTRACCIÓN	ML	1,811.80	25.15	45,566.77
3.6	JUNTA DE AISLAMIENTO	ML	314.80	23.97	7,545.76
4	SEPARADOR CENTRAL				11,121.12
4.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	M2	212.50	7.33	1,557.63
4.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=175 kg/cm2	M3	31.88	289.71	9,235.95
4.3	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	ML	53.00	6.18	327.54
5	SEÑALIZACIÓN				4,386.39
5.1	PINTADO DE FRANJAS EN PAVIMENTO	M	30.00	9.98	299.40
5.2	PINTADO DE PASE PEATONAL Y FLECHAS	M2	62.40	19.33	1,206.19
5.3	PINTADO DE BORDE DE VEREDA	M	260.00	11.08	2,880.80
COSTO DIRECTO					1,860,218.94
GASTOS GENERALES 10%					186,021.89
UTILIDAD 10%					186,021.89
SUB TOTAL					2,232,262.72
IGV 18%					401,807.29
TOTAL PRESUPUESTO					2,634,070.02

SON: DOS MILLONES SEISCIENTOS TREINTA Y CUATRO MIL SETENTA CON 02/100 SOLES



Proyecto: VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

Tarea

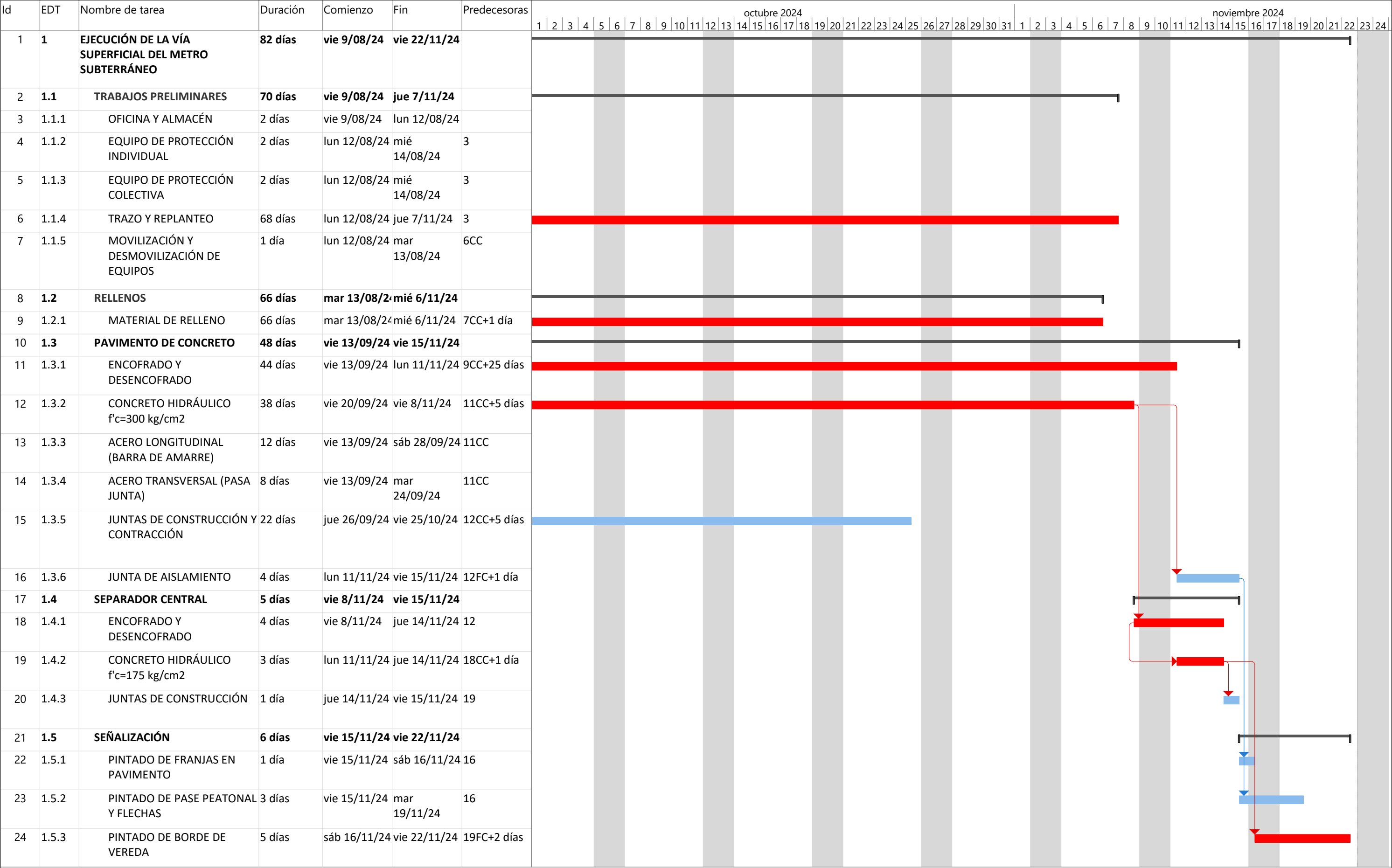


Resumen



Tareas críticas





Proyecto: VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

Tarea

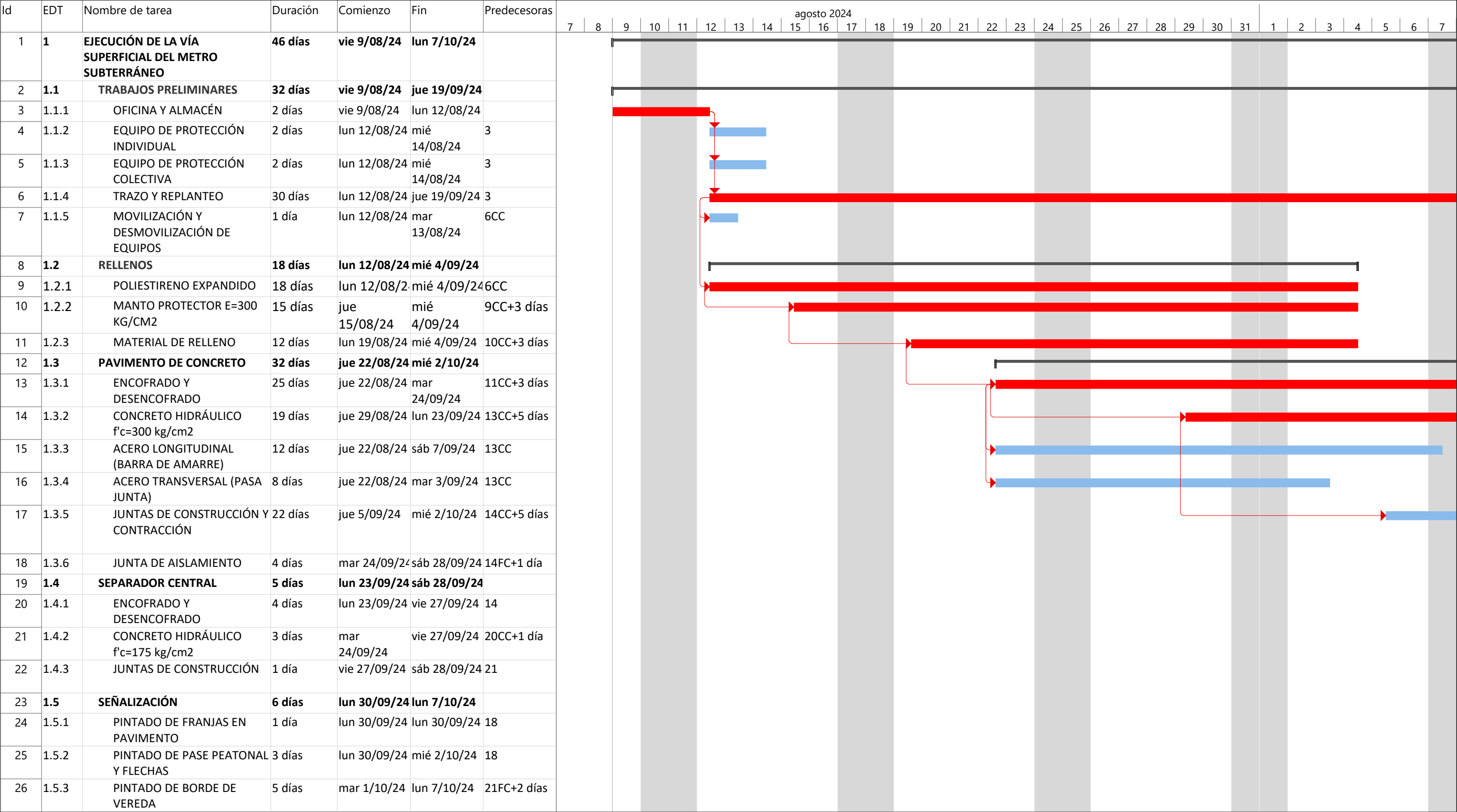


Resumen



Tareas críticas





Id	EDT	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	septiembre 2024																														
							8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO	46 días	vie 9/08/24	lun 7/10/24																																
2	1.1	TRABAJOS PRELIMINARES	32 días	vie 9/08/24	jue 19/09/24																																
3	1.1.1	OFICINA Y ALMACÉN	2 días	vie 9/08/24	lun 12/08/24																																
4	1.1.2	EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	2 días	lun 12/08/24	mié 14/08/24	3																															
5	1.1.3	EQUIPO DE PROTECCIÓN COLECTIVA	2 días	lun 12/08/24	mié 14/08/24	3																															
6	1.1.4	TRAZO Y REPLANTEO	30 días	lun 12/08/24	jue 19/09/24	3																															
7	1.1.5	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS	1 día	lun 12/08/24	mar 13/08/24	6CC																															
8	1.2	RELLENOS	18 días	lun 12/08/24	mié 4/09/24																																
9	1.2.1	POLIESTIRENO EXPANDIDO	18 días	lun 12/08/24	mié 4/09/24	6CC																															
10	1.2.2	MANTO PROTECTOR E=300 KG/CM2	15 días	jue 15/08/24	mié 4/09/24	9CC+3 días																															
11	1.2.3	MATERIAL DE RELLENO	12 días	lun 19/08/24	mié 4/09/24	10CC+3 días																															
12	1.3	PAVIMENTO DE CONCRETO	32 días	jue 22/08/24	mié 2/10/24																																
13	1.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	25 días	jue 22/08/24	mar 24/09/24	11CC+3 días																															
14	1.3.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=300 kg/cm2	19 días	jue 29/08/24	lun 23/09/24	13CC+5 días																															
15	1.3.3	ACERO LONGITUDINAL (BARRA DE AMARRE)	12 días	jue 22/08/24	sáb 7/09/24	13CC																															
16	1.3.4	ACERO TRANSVERSAL (PASA JUNTA)	8 días	jue 22/08/24	mar 3/09/24	13CC																															
17	1.3.5	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTRACCIÓN	22 días	jue 5/09/24	mié 2/10/24	14CC+5 días																															
18	1.3.6	JUNTA DE AISLAMIENTO	4 días	mar 24/09/24	sáb 28/09/24	14FC+1 día																															
19	1.4	SEPARADOR CENTRAL	5 días	lun 23/09/24	sáb 28/09/24																																
20	1.4.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	4 días	lun 23/09/24	vie 27/09/24	14																															
21	1.4.2	CONCRETO HIDRÁULICO f'c=175 kg/cm2	3 días	mar 24/09/24	vie 27/09/24	20CC+1 día																															
22	1.4.3	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	1 día	vie 27/09/24	sáb 28/09/24	21																															
23	1.5	SEÑALIZACIÓN	6 días	lun 30/09/24	lun 7/10/24																																
24	1.5.1	PINTADO DE FRANJAS EN PAVIMENTO	1 día	lun 30/09/24	lun 30/09/24	18																															
25	1.5.2	PINTADO DE PASE PEATONAL Y FLECHAS	3 días	lun 30/09/24	mié 2/10/24	18																															
26	1.5.3	PINTADO DE BORDE DE VEREDA	5 días	mar 1/10/24	lun 7/10/24	21FC+2 días																															

Respecto al presupuesto total calculado para cada situación, se obtiene una diferencia de S/ 27,990.75 (veinte siete mil novecientos noventa con 75/100 soles). En donde el mayor costo corresponde al pavimento de concreto con material de relleno propio. Además, al comparar los cronogramas se observa una reducción en tiempo de ejecución de hasta casi el 50% con la nueva propuesta de relleno.

Tabla 43

Comparación de resultados respecto a costo y tiempo de ejecución.

PROYECTO	COSTO DIRECTO (S/.)	GASTOS GENERALES Y UTILIDADES (S/.)	PRESUPUESTO TOTAL (S/.)	TIEMPO DE EJECUCIÓN
PAVIMENTO DE CONCRETO - RELLENO MATERIAL PROPIO	1,888,209.69	377,641.94	2,673,704.92	82
PAVIMENTO DE CONCRETO - RELLENO POLIESTIRENO EXPANDIDO	1,860,218.94	372,043.78	2,634,070.02	46
DIFERENCIA (MONTO)	27,990.75	5,598.16	39,634.90	36.00
OPTIMIZACIÓN (%)	1.48%	1.48%	1.48%	43.90%

Figura 73

Comparación de presupuestos según variación de tipo de material de relleno.

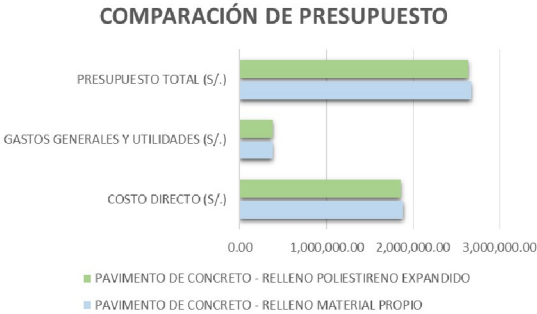
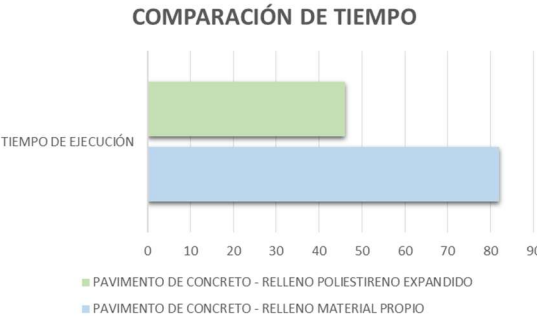


Figura 74

Comparación de tiempo de ejecución según variación de tipo de material de relleno.



Conclusiones

Se analizó el uso de poliestireno expandido del tipo D25 como material de relleno para pavimento rígido mediante un modelo lineal - estático y tridimensional de elementos finitos, aplicando cargas de vehículos de diseño del tipo C3R2. De este análisis se obtuvo que la deformación máxima del poliestireno, fue de 0.5% y el esfuerzo máximo fue de 38KPa.

La norma ASTM D6817/D6817M especifica que el poliestireno expandido mantiene su funcionalidad a largo plazo con una deformación de hasta el 1% y el ensayo de laboratorio (Labicer) mostró que a dicha deformación el esfuerzo máximo aplicado es de 77.92 KPa. El resultado de deformación máxima del modelo computacional elaborado es del 0.5%, estando este por debajo de los límites de diseño de la norma Internacional y de desempeño experimental; por lo que, la propuesta es viable.

Al sustituir el material de relleno convencional propio de excavación por poliestireno expandido y realizar el cálculo según el método NAVFAC, se logra una reducción de asentamiento total de hasta 29.8% equivalente a 28.64 mm registrado en uno de los pilotes analizados. Además, los valores de distorsión angular también registran una reducción ante el cambio de material de relleno. Si bien ambos casos cumplen con el límite de distorsión angular máximo permitido por la norma, al aplicar el poliestireno expandido como relleno se obtiene valores de asentamiento muchos más bajos.

El método constructivo presentado en la investigación requirió de la instalación del poliestireno expandido en un mínimo de dos capas, además de un manto protector, previo a la ejecución del pavimento rígido. Al usar poliestireno expandido como material de relleno, no se requiere de maquinaria pesada como el caso de relleno con material propio de excavación.

El análisis de tiempo y costo de ejecución de la estructura de pavimento rígido con relleno de poliestireno expandido y el caso de relleno con material propio de excavación reveló beneficios significativos. Los resultados demostraron que la implementación del poliestireno expandido, en el caso estudiado, generó una reducción del 43.90% en el tiempo de ejecución y una disminución del 1.48% en el costo.

El uso de bloques de poliestireno expandido facilita significativamente la instalación debido a su bajo peso. En el caso analizado, se logró un rendimiento de hasta 350 m³/día

sin necesidad de maquinaria pesada, superando ampliamente los 98 m³/día registrados para el relleno con material de excavación convencional.

Recomendaciones

A diferencia de la normativa peruana, que emplea un factor de seguridad global en el diseño geotécnico de pilotes, el Eurocódigo utiliza factores parciales que consideran las incertidumbres específicas de las propiedades del terreno, las acciones (cargas) y la resistencia. Esta diferencia metodológica puede resultar en longitudes mínimas de pilote distintas. Dada la mayor experiencia europea en la construcción de metros subterráneos, se recomienda una evaluación experimental en el contexto peruano para comprender el efecto real de ambos enfoques y la viabilidad de adoptar el método de factores parciales.

Con el fin de corroborar la efectividad a largo plazo del poliestireno expandido como material de relleno en pavimentos, se sugiere realizar una medición comparativa de las deflexiones con pavimentos que utilicen relleno convencional.

Referencias Bibliográficas

- Aaboe, R., y Frydenlund, T. (2011). 40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in road [Sesión de conferencia]. *4th international conference on geofoam blocks in construction applications*, Lillestrom, Noruega. https://michiganfoam.com/wp-content/uploads/2019/03/40_years_of_Geofoam_experience_in_Norway.pdf
- Abasolo, M., Aguirrebeitia, J., Coria, I., y Heras, I. (Ed.). (2017). *Guía práctica de elementos finitos*. Paraninfo. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=dpY4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=P1&dq=tesis+de+modelado+con+elementos+finitos&ots=7cZQ6WlaGp&sig=mwRtkw02eoFjfoDabj6EVZ10wXc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Abdihashi, L., Ashdown, M., Mohajerani, A., y Nazem, M. (2017). Expanded polystyrene geofoam in pavement construction. *Construction and Building Materials*, 157, 438 - 448. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.113>
- ACI Committee 318. (2017). *Building Code Requirements for Structural Concrete & Commentary*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.usb.ac.ir/FileStaff/5526_2020-1-25-11-12-7.pdf
- Agencia de Promoción de la Inversión Privada. (2014). *Contrato de Concesión del Concurso de Proyectos Integrales para la entrega en concesión del proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”*. <https://www.ositran.gob.pe/anterior/vias-ferreas/linea-dos-metro-de-lima-callao/>
- Aguilar, C., Alvarado, P., Díaz, D., Jaime, D. y Ovalle, J. (2023). *Uso de biopolímeros en el control de asentamientos* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/26229>
- Almeida, C. (2014). *Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2972>

- Alva, J. (2012). *Diseño de cimentaciones*. Instituto de la Construcción y Gerencia. <https://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>
- Alva, J., Huamán, C., y Ohtsuki, T. (1994). Respuesta dinámica de los suelos de los distritos de La Punta – Callao en Lima, Perú [Sesión de conferencia]. *XIII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*, Nueva Delhi, India. https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis07_a.pdf
- Arellano, D. (2005). *Guidelines for the Use of Expanded Polystyrene (EPS)-Block* [Tesis de doctorado, University of Illinois at Urbana-Champaign]. Illinois library. <https://hdl.handle.net/2142/83257>
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Test Method for apparent density of rigid cellular plastics* (ASTM D1622 - 20). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/sample/s/106930/55f5b21b54db4774afcc588bd99c40ab/ASTM-D1622-20.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2021). *Standard Specification for Rigid cellular polystyrene geofom* (ASTM D6817/D6817M). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/sample/s/108917/f15b7a4f323a4a1d9653088b34d0b996/ASTM-D6817-D6817M-17-2021-.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2023). *Standard Test Method for Compressive properties of rigid cellular plastics* (ASTM D1621). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://cdn.standards.iteh.ai/sample/s/115268/fa54e680e0b6417c9f5197fc69e74ac2/ASTM-D1621-16-2023-.pdf>
- Autelitano, F., Garilli, E., Giuliani, F. y Montepara, A. (2019). Expanded polystyrene (EPS) in road construction: Twenty years of Italian experiences. *Transportation Research Procedia*, 45(1), 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.033>
- Ballesteros, I., y Ruiz, G. (2012). *Análisis del poliestireno expandido como material de relleno en suelos de alta compresibilidad* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26166>
- Bernal, I., Gómez, J., y Tavera, H. (2010). Zonificación sísmico - geotécnica para el Centro Histórico de Lima. *Cooperazione Internazionale – COOPI*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/524>

- Calo, D. (2020, 02 de junio). Diseño y construcción de juntas en pavimentos de hormigón [Webinar]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=lqWrVsro9yY&t=1303s>
- Capcha, L. (2024). *Análisis de optimización del tránsito vehicular en la intersección de las avenidas Nicolás Ayllón y los Ruiseñores Santa Anita, Lima 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de los Andes]. Repositorio de la UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/7346>
- Castro, F., Garnica, P., Juárez, R., Pérez, A., y Pérez, N., (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido* (Publicación Técnica No. 476). Instituto Mexicano del Transporte. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt476.pdf>
- Coria, C., Garnica, P., y Hernández, R. (2018). *Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista* (Documento Técnico No. 72). Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt72.pdf>
- Comité AEN-CTN 140. (2016). *Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico. Anejo Nacional AN/UNE-EN 1997-1*. Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/carreteras/normativa/AN_UNE-EN%201997-1.pdf
- Das, B. (2012). *Fundamento de Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning.
- Dávila, J. (2013). *La utilización de poliestireno expandido en obras de geotecnia* [Tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. Depósito de investigación de la Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/74934>
- Dirección General de Carreteras. (2009). *Guía de cimentaciones en obras de carretera*. Ministerio de fomento.
- Elgari, A. (2000). *Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam* [Tesis de doctorado, State University of New York]. Base de datos de ProQuest. <https://www.proquest.com/docview/304629927>
- Federal Highway Administration. (2022). *History Highway – AASHTO Road Test*. <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/50aasho.cfm>

- Fuertes, L. y Segura, N. (2024). *Análisis de estabilización de excavaciones subterráneas en suelos de un tramo del metro de Lima: Un enfoque en pilas-pilote* [Tesis de grado, Universidad peruana de ciencias aplicadas]. Repositorio de la: Universidad peruana de ciencias aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/674478>
- Huamán, C. (1991). *Microzonificación sísmica de La Punta y el Callao* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3860>
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and design*. Pearson.
- Instituto Nacional de Estadística. (2024). *Perú – Producto Bruto Interno por departamentos 2007-2023*. <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/producto-bruto-interno-por-departamentos-9089/>
- Justiniano, P. y Mori, R. (2020). *Uso de poliestireno expandido en terraplén para pavimento sobre suelo blando en zona inundable distrito de Punchana – Maynas 2019* [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio de la Universidad Científica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1320>
- Kassimali, A. (2015). *Análisis Estructural*. Cengage Learning.
- McCormac, J. (2010). *Análisis de estructuras - Métodos Clásico y Matricial*. Alfaomega.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (s.f.). *Línea 2 y Ramal Av. Faucett - Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. https://portal.Ministerio de Transportes y Comunicaciones.gob.pe/transportes/concesiones/ferrovias/sistema_electrico_linea2.html
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras – suelos, geología, geotécnica y pavimento: sección suelos y pavimento*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma Técnica de Edificación E.050 Suelos y cimentaciones*. SENCICO.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2020). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. SENCICO.

- Montalvo, M. (2019). Evaluación de daños en el pavimento debido a nuevos diseños de neumáticos [Sesión de conferencia]. *II Congreso Nacional de pavimentos, Instituto Latinoamericano de investigación y estudios viales – ILIEV*, Lima, Perú.
<https://www.youtube.com/watch?v=0Z8sSbjM7aw>
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimento – Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Agora.
- Naval Facilities Engineering Systems Command. (1986). *Foundations & earth structures*. US Government Printing Office. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://web.mst.edu/rogersda/umrcourses/ge441/DM7_02.pdf
- Ossa, A. (2009). *Comportamiento Mecánico del Poliestireno Expandido (EPS) bajo carga de compresión* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/92585>
- Padilla, A., Pando, L. y Soto, H. (2017). *Análisis de los procesos constructivos cut and cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica* [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la UPC. <http://hdl.handle.net/10757/622772>
- Sifuentes, J., y Quiñe, R. (2024). *Propuesta de diseño de mejoramiento de suelos blandos con inclusiones rígidas para disminuir el asentamiento en el centro comercial Megaplaza Jaén-Cajamarca* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio de la UPC.
<http://hdl.handle.net/10757/682804>
- TECOAD SAC. (sf). *Soldadura de geomembranas y control de calidad*.
<https://tecoad.com/categoria-producto/termoplasticos/soldadora-de-geomembranas-y-control-de-calidad/>
- Uriel, A. (1983). Patología de las cimentaciones. *Informes De La Construcción*, 35(350), 5-35. <https://doi.org/10.3989/ic.1983.v35.i350.2019>
- Yepes, V. (2019). *Pilotes metálicos hincados*. Universidad Politécnica de Valencia.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/22/pilotes-metalicos-hincados/>

- Yepes, V. (2019). *Pilotes prefabricados de hormigón armado hincados*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/04/09/pilotes-prefabricados-de-hormigon-armado-hincados/>
- Vésic, A. (1970). Test on instrumented piles, Ogeechee River Site. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96 (2). <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JSFEAQ.0001404>

Anexos

Anexo 1: Ficha Técnica y ensayo de laboratorio.....	1
Anexo 2: Análisis de precios unitarios.....	6
Anexo 3: Planos.....	18
Anexo 4: Matriz de consistencia	23

Anexo 1: Ficha Técnica y ensayo de laboratorio

Planchas DIPROPOR®

Planchas de Poliestireno Expandido "EPS" para construcción, industria, refrigeración, embalaje y otros.



Auto Extinguible



100% Reciclable



DESCRIPCIÓN

Las Planchas y Tiras DIPROPOR® son material plástico celular y rígido fabricado a partir de la expansión del Poliestireno Expandible o EPS, de alta calidad y de excelentes prestaciones mecánicas para las distintas aplicaciones en el sector de la construcción, así como para aislamiento térmico y acústico.

RECOMENDACIONES: HABILITACIÓN Y CORTE

El Poliestireno Expandido, es trabajado en obra con elementos de corte convencional (es decir con hoja de sierra, navaja, cúter) y para lograr cortes rápidos y limpios se sugiere utilizar cortadores para Poliestireno (de hilo caliente).

CAMPOS DE APLICACIÓN

Las Planchas DIPROPOR® es material multiuso para juntas y/o rellenos especiales como en:

- Juntas de contracción y dilatación.
- Juntas para áreas peatonales y de tráfico vehicular.
- Juntas en almacenes y plantas industriales.
- Juntas en pisos de la industria alimentaria.
- Juntas en conductos de aguas residuales y plantas de tratamiento.
- Juntas en la construcción de túneles.
- Juntas en cuartos limpios.
- Negativos para encofrados.
- Reemplazo del relleno de losas aligeradas.
- Relleno para la nivelación losas.
- Protección de elementos.
- Aislamiento térmico y acústico.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Dentro de la amplia gama podemos mencionar:

- Excelente presentación.
- Buen comportamiento mecánico.
- Bajo peso y alta resistencia.
- Limpio e inocuo con la naturaleza.
- No es afectado por hongos, termitas ni polillas.
- No absorbe humedad.
- Muy buenas propiedades de aplicación.
- Buena resistencia química.
- Buena adherencia del concreto o morteros.

CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

El Poliestireno Expandido es un material 100% reciclable, igualmente es:

- Resistente al envejecimiento.
- Versátil y fácil de utilizar y/o transformar.
- Fácil de manipular o instalar.
- Amortiguador de impactos.
- Ligero.
- Autoextinguible.

INDUSTRIA NACIONAL DEL POLIESTIRENO S.A.C.

Oficina: Av. Intihuatana 845 Piso 2, Urb. Higuera - Santiago de Surco, Lima Telf. 715-1818 / 717-9496

Planta Lima: Jr. Los Visos MZ.LT.32 Parcela Rústica

Cajamarquilla - Lurigancho, Lima Telf. 717-6444

Planta Chiclayo: Calle Parque Industrial Mz. C Lote 23 -

Chiclayo, Lambayeque Telf. 074-203071

RUC: 20556128384

Mail: ventas@dipropor.com

Web: www.dipropor.com

DATOS TÉCNICOS

PROPIEDADES	NORMA UNE	UDS.	TIPOS EPS							
			TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	TIPO VI	TIPO VII	TIPO VIII
DENSIDAD Nominal	EN-1602	Kg/m³	10	12	15	20	25	30	35	40
DENSIDAD Mínima		Kg/m³	9	11	13.5	18	22.5	27	31.5	36
ESPESOR MÍNIMO		mm	50	40	30	20	20	20	20	20
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA I (10°C)	92201	mW/(mK)	46	43	39	36	35	34	33	32
Tensión por COMPRESIÓN (s10)	EN-826	KPa	30	40	65	100	150	200	250	300
Resistencia permanente a la COMPRESIÓN con una deformación del 2%		KPa	-	-	15-25	25-40	35-50	45-60	55-70	65-80
Resistencia a la FLEXION (sB)	EN-12089	KPa	50	60	100	150	200	275	375	490
Resistencia al CIZALLAMIENTO	EN-12090	KPa	25	35	50	75	100	135	184	260
Resistencia a la TRACCION	EN-1607 EN-1608	KPa	-	<100	110-290	170-350	320-410	300-480	420-580	510-610
Módulo de Elasticidad		MPa	-	<1.5	1.6-5.2	3.4-7.0	5.9-7.2	7.7-9.5	9-10.8	10-13.5
Indeformabilidad al calor instantánea		°C	100	100	100	100	100	100	100	100
Indeformabilidad al calor duradera con 20.000 N/m2		°C	75	75	75	80	80	80	80	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal		1/K (xE-5)	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7	5-7
Capacidad Térmica Específica		J/(kgK)	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210	1210
Clase de reacción al fuego		-	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4	M1 ó M4
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 7 días	EN-12087	% (vol.)	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5
Absorción de agua en condiciones de inmersión al cabo de 28 días	EN-12087	% (vol.)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua	92226	1	<20	<20	20-40	30-50	40-70	50-100	60-120	70-140

Nota Legal

La información y en particular las recomendaciones sobre la utilización y el uso final de los productos Dipropor® son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Indupol S.A.C. respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como utilizados en condiciones normales.

En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se utilizarán los productos son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual.



INFORME TÉCNICO N° 0992 – 22 – LABICER

1. **DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : INDUSTRIA NACIONAL DEL POLIESTIRENO S.A.C.
 - 1.2 RUC : 20556128384
2. **CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 12 / 09 / 2022
 - 2.2 FECHA DE ENSAYO : 19 / 09 / 2022
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 20 / 09 / 2022
3. **ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE POLIESTIRENO
4. **DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA SEGÚN SOLICITANTE**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (TECNOPOR)
 - 4.2 CODIFICACIÓN : MUESTRA D25
5. **LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER - FACULTAD DE CIENCIAS
6. **CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 21.5 °C; Humedad relativa: 65 %
7. **EQUIPO UTILIZADO** : Balanza digital. Shimadzu, AUW 120
Maquina detracción universal. ZWICK ROELL, Z010
8. **RESULTADO**
 - 8.1 **RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DENSIDAD**

REPETICIÓN	RESULTADO (Kg/m ³)	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
1	24.964	ASTM D1622
2	25.240	
3	25.149	
4	24.880	
5	24.874	
PROMEDIO	25.021	

⁽¹⁾Método de referencia aceptado por el solicitante

8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COMPRESIÓN

N° DE PROBETA	ÁREA TRANSVERSAL (mm ²)	FUERZA AL 10 % DE DEFORMACIÓN (N)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AL 10 % DE DEFORMACIÓN (MPa)	MÉTODO DE REFERENCIA ⁽¹⁾
1	3624.04	606.89	0.167	ASTM D1621
2	3612.59	591.15	0.164	
3	3625.24	588.00	0.162	
4	3643.32	585.49	0.161	
5	3637.90	618.88	0.170	
PROMEDIO	3628.62	598.08	0.165	

⁽¹⁾Método de referencia aceptado por el solicitante

9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO

Los resultados de este informe técnico son válidos solo para la muestra proporcionada por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe técnico.

Bach. David Rojas M.
Analista química
LABICER – UNI



M.Sc. Ily Marilú Maza Mejía
Responsable de análisis
Jefe de Laboratorio
CQP 1149

(*) El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

ANEXO

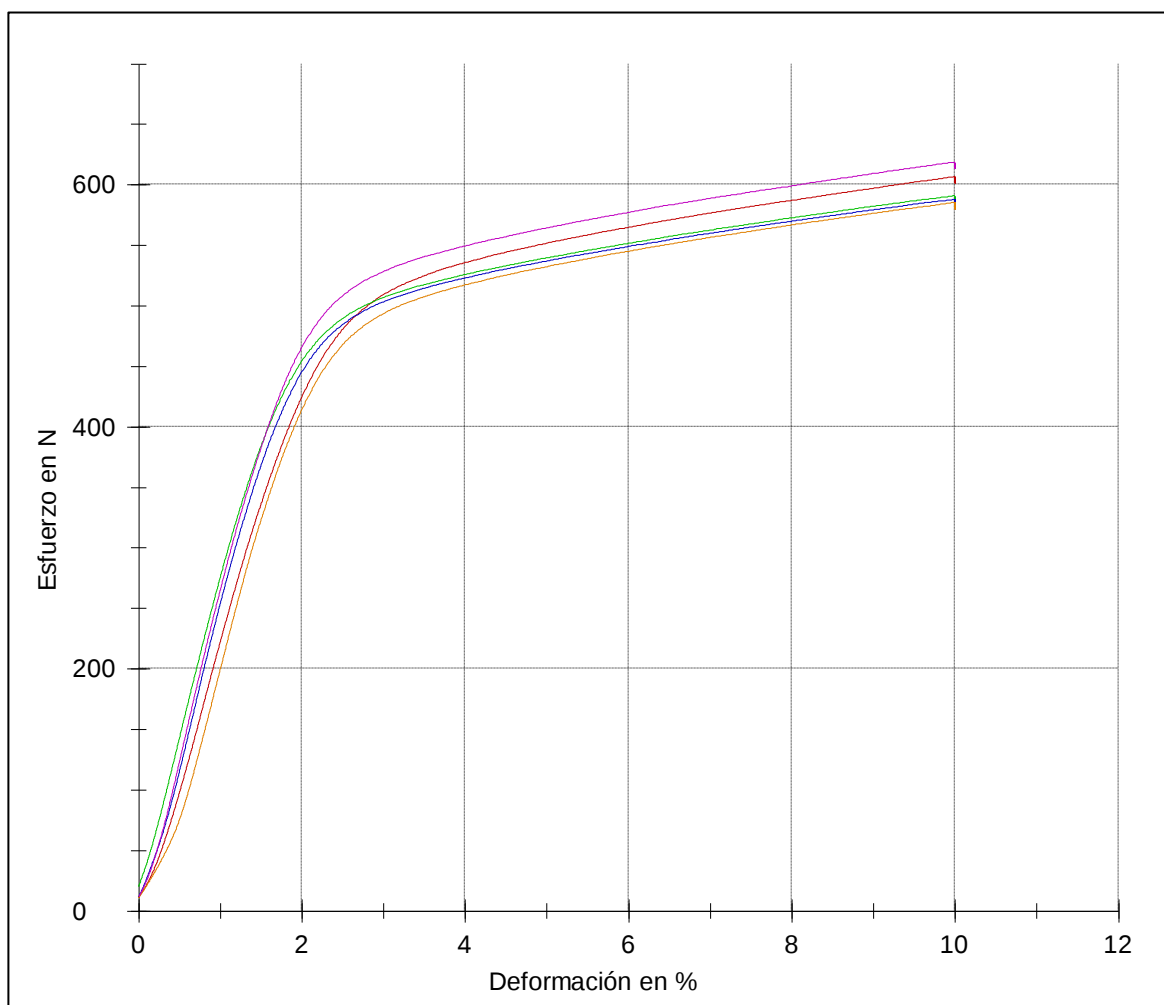


FIGURA N°1. GRÁFICA DEL ESFUERZO (N) VS DEFORMACIÓN (%) DE LA MUESTRA



Anexo 2: Análisis de precios unitarios

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: RELLENO PROPIO

MONEDA: SOLES

1.1 OFICINA Y ALMACÉN

Rendimiento: 500.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	1,864.41 Parcial
ALMACÉN PREFABRICADO DE 15M2	UND		1.0000	1,864.41	1,864.41
				Subcontratos:	1,864.41

1.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	1,472.08 Parcial
CASCO DE SEGURIDAD	UND		8.0000	12.63	101.04
BARBIQUEJO ELÁSTICO CON MENTONERA	UND		8.0000	1.69	13.52
LENTES DE SEGURIDAD	UND		8.0000	5.00	40.00
PROTECTOR DE OÍDOS	UND		8.0000	3.30	26.40
POLO MANGA LARGA	UND		8.0000	15.70	125.60
PANTALÓN	UND		8.0000	33.81	270.48
TRAJE TIVEK	UND		8.0000	8.47	67.76
ZAPATOS DE SEGURIDAD	PAR		8.0000	53.38	427.04
BOTA DE PVC CON PUNTA DE ACERO	PAR		8.0000	46.53	372.24
GUANTES DE SEGURIDAD	PAR		8.0000	3.50	28.00
				Materiales:	1,472.08

1.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN COLECTIVA

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	3,218.77 Parcial
BOTIQUIN DE PRIMEROS AUXILIOS	UND		1.0000	338.00	338.00
CAMILLA DE PRIMEROS AUXILIOS	UND		1.0000	213.47	213.47
EXTINTOR PQS 12KG	UND		1.0000	88.93	88.93
BLOQUEADOR SOLAR	UND		11.0000	22.71	249.81
CONO DE SEGURIDAD	UND		62.0000	21.10	1,308.20
BARRA CONECTORA DE CONO EXTENDIBLE 2.10M	UND		61.0000	13.56	827.16
CAPUCHONES PARA ACERO (25 UND)	BLS		5.0000	18.64	93.20
SEÑALIZACION HORIZONTAL Y VERTICAL	UND		10.0000	10.00	100.00
				Materiales:	3,218.77

1.4 TRAZO Y REPLANTEO

Rendimiento: 600.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	2.89 Parcial
PEON	HH	3.0000	0.0400	20.22	0.81
OPERARIO TOPOGRAFO	HH	1.0000	0.0133	29.57	0.39
				Mano de obra:	1.20
YESO BOLSA 25 KG	BLS		0.0300	46.61	1.40
				Materiales:	1.40
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.20	0.04
ESTACION TOTAL	HM	1.0000	0.0133	15.00	0.20
NIVEL TOPOGRAFICO	HM	1.0000	0.0133	3.75	0.05
				Equipo:	0.29

1.5 MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	3,604.16 Parcial
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB		1.0000	3,604.16	3,604.16
				Subcontratos:	3,604.16

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: RELLENO PROPIO

MONEDA: SOLES

2.1 MATERIAL DE RELLENO PROPIO DE EXCAVACIÓN

Rendimiento: 98.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3		Cantidad	Costo Unitario:		209.88
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OFICIAL	HH	1.0000		0.0816	22.33	1.82	
PEON	HH	2.0000		0.1633	20.22	3.30	
					Mano de obra:	5.12	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	5.12	15.37	
CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP 4.0-4.1 YD3	HM	1.0000		0.0816	340.83	27.82	
CAMION VOLQUETE DE 15 M3	HM	3.0000		0.2449	380.58	93.20	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135 HP 1	HM	1.0000		0.0816	221.63	18.09	
MOTONIVELADORA 145-150 HP	HM	1.0000		0.0816	299.99	24.49	
CAMION CISTERNA AGUA 4X2 145-165 HP 2000 GAL	HM	1.0000		0.0816	206.52	16.86	
					Equipo:	195.84	
ENSAYO DE DENSIDAD NUCLEAR	UND			0.0010	8,915.36	8.92	
					Subcontratos:	8.92	

3.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

Rendimiento: 200.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2		Cantidad	Costo Unitario:		7.58
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.0400	28.39	1.14	
OFICIAL	HH	1.0000		0.0400	22.33	0.89	
PEON	HH	2.0000		0.0800	20.22	1.62	
					Mano de obra:	3.65	
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG			0.0600	3.24	0.19	
CLAVOS	KG			0.0600	3.78	0.23	
MADERA TORNILLO	P2			0.4070	5.79	2.36	
TRIPLAY FENÓLICO DE 1.20X2.40MX18MM	PLN			0.0127	82.12	1.04	
					Materiales:	3.82	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	3.65	0.11	
					Equipo:	0.11	

3.2 CONCRETO HIDRÁULICO f'c=350 kg/cm2

Rendimiento: 70.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3		Cantidad	Costo Unitario:		348.95
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1143	28.39	3.24	
OFICIAL	HH	2.0000		0.2286	22.33	5.10	
PEON	HH	5.0000		0.5714	20.22	11.55	
					Mano de obra:	19.89	
AGUA PARA LA OBRA	M3			0.2000	5.21	1.04	
ROLLO DE YUTE DE 1.50X100M	UND			0.0040	610.17	2.44	
					Materiales:	3.48	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	19.89	0.60	
					Equipo:	0.60	
SERVICIO DE BOMBA DE CONCRETO	M3			1.0100	33.76	34.10	
CONCRETO PREMEZCLADO C/CEMENTO TIPO I f'c=350 kg/crr	m3			1.0100	288.00	290.88	
					Subcontratos:	324.98	

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: RELLENO PROPIO

MONEDA: SOLES

3.3 ACERO LONGITUDINAL (BARRA DE AMARRE)

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML		Cantidad	Costo Unitario:		14.78
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1000	28.39	2.84	
OFICIAL	HH	1.0000		0.1000	22.33	2.23	
PEON	HH	1.0000		0.1000	20.22	2.02	
Mano de obra:						7.09	
ACERO CORRUGADO F'Y = 4200 KG/CM2 GRADO 60 Ø5/8"	KG			1.6700	3.92	6.55	
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG			0.2020	3.24	0.65	
Materiales:						7.20	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	7.09	0.21	
ESMERIL ANGULAR	HM	1.0000		0.1000	2.82	0.28	
Equipo:						0.49	

3.4 ACERO TRANSVERSAL (PASA JUNTA)

Rendimiento: 120.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML		Cantidad	Costo Unitario:		15.93
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.0667	28.39	1.89	
OFICIAL	HH	1.0000		0.0667	22.33	1.49	
PEON	HH	1.0000		0.0667	20.22	1.35	
Mano de obra:						4.73	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	4.73	0.14	
Equipo:						0.14	
CANASTILLA DOWELL (9 VARILLAS LISAS 1 1/2" X 0.51CM @3:	UND			0.3300	33.53	11.06	
Subcontratos:						11.06	

3.5 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTRACCIÓN

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML		Cantidad	Costo Unitario:		25.15
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1000	28.39	2.84	
OFICIAL	HH	1.0000		0.1000	22.33	2.23	
PEON	HH	1.0000		0.1000	20.22	2.02	
Mano de obra:						7.09	
DISCO DE CORTE PARA CONCRETO 18"	UND			0.0012	320.08	0.38	
CORDÓN DE ESPUMA DE POLIETILENO 3/8"	ML			1.0100	2.97	3.00	
SELLANTE ELASTOMÉRICO DE 1.5 GLN	GLN			0.0350	381.27	13.34	
Materiales:						16.72	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	7.09	0.21	
CORTADORA PARA PISO CONCRETO	HM	1.0000		0.1000	11.30	1.13	
Equipo:						1.34	

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: RELLENO PROPIO

MONEDA: SOLES

3.6 JUNTA DE AISLAMIENTO

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML		Cantidad	Costo Unitario:		23.97
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1000	28.39		2.84
OFICIAL	HH	1.0000		0.1000	22.33		2.23
PEON	HH	1.0000		0.1000	20.22		2.02
					Mano de obra:		7.09
CORDÓN DE ESPUMA DE POLIETILENO Ø 1 1/2"	ML			1.0100	3.30		3.33
SELLANTE ELASTOMÉRICO DE 1.5 GLN	GLN			0.0350	381.27		13.34
					Materiales:		16.67
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	7.09		0.21
					Equipo:		0.21

4.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

Rendimiento: 100.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2		Cantidad	Costo Unitario:		7.33
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OFICIAL	HH	1.0000		0.0800	22.33		1.79
PEON	HH	1.0000		0.0800	20.22		1.62
					Mano de obra:		3.41
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG			0.0600	3.24		0.19
CLAVOS	KG			0.0600	3.78		0.23
MADERA TORNILLO	P2			0.4070	5.79		2.36
TRIPLAY FENÓLICO DE 1.20X2.40MX18MM	PLN			0.0127	82.12		1.04
					Materiales:		3.82
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	3.41		0.10
					Equipo:		0.10

4.2 CONCRETO HIDRÁULICO f'c=175 kg/cm2

Rendimiento: 16.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3		Cantidad	Costo Unitario:		289.71
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.5000	28.39		14.20
OFICIAL	HH	1.0000		0.5000	22.33		11.17
PEON	HH	2.0000		1.0000	20.22		20.22
					Mano de obra:		45.59
AGUA PARA LA OBRA	M3			0.2000	5.21		1.04
ROLLO DE YUTE DE 1.50X100M	UND			0.0040	610.17		2.44
ACERO CORRUGADO F'Y=4200 kg/cm2 GRADO 60 Ø3/8"	KG			4.0900	1.21		4.95
					Materiales:		8.43
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	45.59		1.37
					Equipo:		1.37
CONCRETO PREMEZCLADO C/CEMENTO TIPO I f'c=175 kg/crr	M3			1.0100	232.00		234.32
					Subcontratos:		234.32

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: RELLENO PROPIO

MONEDA: SOLES

4.3 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML		Cantidad	Costo Unitario:		6.18
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1000	28.39		2.84
PEON	HH	1.0000		0.1000	20.22		2.02
					Mano de obra:		4.86
ASFALTO RC-250	GAL			0.0280	21.19		0.59
ARENA GRUESA	M3			0.0060	38.14		0.23
TECNOPOR E=1/2" (2.10 X 1.20M)	PLN			0.0520	6.78		0.35
					Materiales:		1.17
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	4.86		0.15
					Equipo:		0.15

5.1 PINTADO DE FRANJAS EN PAVIMENTO

Rendimiento: 60.0000 M/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M		Cantidad	Costo Unitario:		9.98
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1333	28.39		3.78
PEON	HH	1.0000		0.1333	20.22		2.70
					Mano de obra:		6.48
DISOLVENTE XILOL	GAL			0.0100	41.53		0.42
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL			0.0500	45.76		2.29
MICROESFERA DE VIDRIO	KG			0.0800	7.54		0.60
					Materiales:		3.31
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	6.48		0.19
					Equipo:		0.19

5.2 PINTADO DE PASE PEATONAL Y FLECHAS

Rendimiento: 25.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2		Cantidad	Costo Unitario:		19.33
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.3200	28.39		9.08
PEON	HH	1.0000		0.3200	20.22		6.47
					Mano de obra:		15.55
DISOLVENTE XILOL	GAL			0.0100	41.53		0.42
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL			0.0500	45.76		2.29
MICROESFERA DE VIDRIO	KG			0.0800	7.54		0.60
					Materiales:		3.31
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	15.55		0.47
					Equipo:		0.47

5.3 PINTADO DE BORDE DE VEREDA

Rendimiento: 60.0000 M/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M		Cantidad	Costo Unitario:		11.08
		Cuadrilla			PU	Parcial	
OPERARIO	HH	1.0000		0.1333	28.39		3.78
PEON	HH	1.0000		0.1333	20.22		2.70
					Mano de obra:		6.48
DISOLVENTE XILOL	GAL			0.0180	41.53		0.75
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL			0.0800	45.76		3.66
					Materiales:		4.41
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO			3.0000	6.48		0.19
					Equipo:		0.19

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

1.1 OFICINA Y ALMACÉN

Rendimiento: 500.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	1,864.41 Parcial
ALMACÉN PREFABRICADO DE 15M2	UND		1.0000	1,864.41	1,864.41
				Subcontratos:	1,864.41

1.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	1,472.08 Parcial
CASCO DE SEGURIDAD	UND		8.0000	12.63	101.04
BARBIQUEJO ELÁSTICO CON MENTONERA	UND		8.0000	1.69	13.52
LENTES DE SEGURIDAD	UND		8.0000	5.00	40.00
PROTECTOR DE OÍDOS	UND		8.0000	3.30	26.40
POLO MANGA LARGA	UND		8.0000	15.70	125.60
PANTALÓN	UND		8.0000	33.81	270.48
TRAJE TIVEK	UND		8.0000	8.47	67.76
ZAPATOS DE SEGURIDAD	PAR		8.0000	53.38	427.04
BOTA DE PVC CON PUNTA DE ACERO	PAR		8.0000	46.53	372.24
GUANTES DE SEGURIDAD	PAR		8.0000	3.50	28.00
				Materiales:	1,472.08

1.3 EQUIPO DE PROTECCIÓN COLECTIVA

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	3,218.77 Parcial
BOTIQUIN DE PRIMEROS AUXILIOS	UND		1.0000	338.00	338.00
CAMILLA DE PRIMEROS AUXILIOS	UND		1.0000	213.47	213.47
EXTINTOR PQS 12KG	UND		1.0000	88.93	88.93
BLOQUEADOR SOLAR	UND		11.0000	22.71	249.81
CONO DE SEGURIDAD	UND		62.0000	21.10	1,308.20
BARRA CONECTORA DE CONO EXTENDIBLE 2.10M	UND		61.0000	13.56	827.16
CAPUCHONES PARA ACERO (25 UND)	BLS		5.0000	18.64	93.20
SEÑALIZACION HORIZONTAL Y VERTICAL	UND		10.0000	10.00	100.00
				Materiales:	3,218.77

1.4 TRAZO Y REPLANTEO

Rendimiento: 600.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	2.89 Parcial
PEON	HH	3.0000	0.0400	20.22	0.81
OPERARIO TOPOGRAFO	HH	1.0000	0.0133	29.57	0.39
				Mano de obra:	1.20
YESO BOLSA 25 KG	BLS		0.0300	46.61	1.40
				Materiales:	1.40
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.20	0.04
ESTACION TOTAL	HM	1.0000	0.0133	15.00	0.20
NIVEL TOPOGRAFICO	HM	1.0000	0.0133	3.75	0.05
				Equipo:	0.29

1.5 MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS

Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	976.66 Parcial
MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB		1.0000	976.66	976.66
				Subcontratos:	976.66

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO

Rendimiento: 350.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	217.19 Parcial
OFICIAL	HH	2.0000	0.0457	22.33	1.02
PEON	HH	4.0000	0.0914	20.22	1.85
				Mano de obra:	2.87
ACERO CORRUGADO F'Y=4200 kg/cm2 GRADO 60 Ø3/8"	KG		0.2100	1.21	0.25
POLIESTIRENO EXPANDIDO	M3		1.0100	211.86	213.98
				Materiales:	214.23
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.87	0.09
				Equipo:	0.09

2.2 MANTO PROTECTOR E=300 GR/M2

Rendimiento: 250.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	7.74 Parcial
PEON	HH	2.0000	0.0640	20.22	1.29
OFICIAL	HH	1.0000	0.0320	22.33	0.71
				Mano de obra:	2.00
MANTO DE POLIETILENO T=0.35MM - 300GR/M2	ROL		0.0027	2,006.91	5.42
				Materiales:	5.42
TERMOSELLADOR	HM	1.0000	0.0320	8.27	0.26
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.00	0.06
				Equipo:	0.32

2.3 MATERIAL DE RELLENO PROPIO DE EXCAVACIÓN

Rendimiento: 150.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	45.98 Parcial
OFICIAL	HH	1.0000	0.0533	22.33	1.19
PEON	HH	2.0000	0.1067	20.22	2.16
				Mano de obra:	3.35
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.35	0.10
CAMION VOLQUETE DE 15 M3	HM	1.0000	0.0533	380.58	20.28
MINICARGADOR 70 HP 0.5 YD3	HM	1.0000	0.0533	125.57	6.69
RODILLO COMPACTADOR 20 HP	HM	1.0000	0.0533	105.00	5.60
				Equipo:	32.67
SUMINISTRO DE AGUA	M3		0.2000	5.21	1.04
ENSAYO DE DENSIDAD NUCLEAR	UND		0.0010	8,915.36	8.92
				Subcontratos:	9.96

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

3.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

Rendimiento: 200.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	7.58
OPERARIO	HH	1.0000	0.0400	28.39	1.14	
OFICIAL	HH	1.0000	0.0400	22.33	0.89	
PEON	HH	2.0000	0.0800	20.22	1.62	
				Mano de obra:	3.65	
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG		0.0600	3.24	0.19	
CLAVOS	KG		0.0600	3.78	0.23	
MADERA TORNILLO	P2		0.4070	5.79	2.36	
TRIPLAY FENÓLICO DE 1.20X2.40MX18MM	PLN		0.0127	82.12	1.04	
				Materiales:	3.82	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.65	0.11	
				Equipo:	0.11	

3.2 CONCRETO HIDRÁULICO f'c=350 kg/cm2

Rendimiento: 70.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	348.95
OPERARIO	HH	1.0000	0.1143	28.39	3.24	
OFICIAL	HH	2.0000	0.2286	22.33	5.10	
PEON	HH	5.0000	0.5714	20.22	11.55	
				Mano de obra:	19.89	
AGUA PARA LA OBRA	M3		0.2000	5.21	1.04	
ROLLO DE YUTE DE 1.50X100M	UND		0.0040	610.17	2.44	
				Materiales:	3.48	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	19.89	0.60	
				Equipo:	0.60	
SERVICIO DE BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0100	33.76	34.10	
CONCRETO PREMEZCLADO C/CEMENTO TIPO I f'c=350 kg/crr	m3		1.0100	288.00	290.88	
				Subcontratos:	324.98	

3.3 ACERO LONGITUDINAL (BARRA DE AMARRE)

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	14.78
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	28.39	2.84	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1000	22.33	2.23	
PEON	HH	1.0000	0.1000	20.22	2.02	
				Mano de obra:	7.09	
ACERO CORRUGADO F'Y = 4200 KG/CM2 GRADO 60 Ø5/8"	KG		1.6700	3.92	6.55	
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG		0.2020	3.24	0.65	
				Materiales:	7.20	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	7.09	0.21	
ESMERIL ANGULAR	HM	1.0000	0.1000	2.82	0.28	
				Equipo:	0.49	

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

3.4 ACERO TRANSVERSAL (PASA JUNTA)

Rendimiento: 120.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	15.93
OPERARIO	HH	1.0000	0.0667	28.39	1.89	
OFICIAL	HH	1.0000	0.0667	22.33	1.49	
PEON	HH	1.0000	0.0667	20.22	1.35	
				Mano de obra:	4.73	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	4.73	0.14	
				Equipo:	0.14	
CANASTILLA DOWELL (9 VARILLAS LISAS 1 1/2" X 0.51CM @3:	UND		0.3300	33.53	11.06	
				Subcontratos:	11.06	

3.5 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONTRACCIÓN

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	25.15
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	28.39	2.84	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1000	22.33	2.23	
PEON	HH	1.0000	0.1000	20.22	2.02	
				Mano de obra:	7.09	
DISCO DE CORTE PARA CONCRETO 18"	UND		0.0012	320.08	0.38	
CORDÓN DE ESPUMA DE POLIETILENO 3/8"	ML		1.0100	2.97	3.00	
SELLANTE ELASTOMÉRICO DE 1.5 GLN	GLN		0.0350	381.27	13.34	
				Materiales:	16.72	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	7.09	0.21	
CORTADORA PARA PISO CONCRETO	HM	1.0000	0.1000	11.30	1.13	
				Equipo:	1.34	

3.6 JUNTA DE AISLAMIENTO

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	23.97
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	28.39	2.84	
OFICIAL	HH	1.0000	0.1000	22.33	2.23	
PEON	HH	1.0000	0.1000	20.22	2.02	
				Mano de obra:	7.09	
CORDÓN DE ESPUMA DE POLIETILENO Ø 1 1/2"	ML		1.0100	3.30	3.33	
SELLANTE ELASTOMÉRICO DE 1.5 GLN	GLN		0.0350	381.27	13.34	
				Materiales:	16.67	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	7.09	0.21	
				Equipo:	0.21	

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

4.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO

Rendimiento: 100.0000 M2/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	7.33
OFICIAL	HH	1.0000	0.0800	22.33	1.79	
PEON	HH	1.0000	0.0800	20.22	1.62	
				Mano de obra:	3.41	
ALAMBRE NEGRO N° 16	KG		0.0600	3.24	0.19	
CLAVOS	KG		0.0600	3.78	0.23	
MADERA TORNILLO	P2		0.4070	5.79	2.36	
TRIPLAY FENÓLICO DE 1.20X2.40MX18MM	PLN		0.0127	82.12	1.04	
				Materiales:	3.82	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.41	0.10	
				Equipo:	0.10	

4.2 CONCRETO HIDRÁULICO f'c=175 kg/cm2

Rendimiento: 16.0000 M3/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M3 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	289.71
OPERARIO	HH	1.0000	0.5000	28.39	14.20	
OFICIAL	HH	1.0000	0.5000	22.33	11.17	
PEON	HH	2.0000	1.0000	20.22	20.22	
				Mano de obra:	45.59	
AGUA PARA LA OBRA	M3		0.2000	5.21	1.04	
ROLLO DE YUTE DE 1.50X100M	UND		0.0040	610.17	2.44	
ACERO CORRUGADO F'Y=4200 kg/cm2 GRADO 60 Ø3/8"	KG		4.0900	1.21	4.95	
				Materiales:	8.43	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	45.59	1.37	
				Equipo:	1.37	
CONCRETO PREMEZCLADO C/CEMENTO TIPO I f'c=175 kg/crr	M3		1.0100	232.00	234.32	
				Subcontratos:	234.32	

4.3 JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Rendimiento: 80.0000 ML/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: ML Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	6.18
OPERARIO	HH	1.0000	0.1000	28.39	2.84	
PEON	HH	1.0000	0.1000	20.22	2.02	
				Mano de obra:	4.86	
ASFALTO RC-250	GAL		0.0280	21.19	0.59	
ARENA GRUESA	M3		0.0060	38.14	0.23	
TECNOPOR E=1/2" (2.10 X 1.20M)	PLN		0.0520	6.78	0.35	
				Materiales:	1.17	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	4.86	0.15	
				Equipo:	0.15	

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

PROYECTO: EJECUCIÓN DE LA VÍA SUPERFICIAL DEL METRO SUBTERRÁNEO

MATERIAL: POLIESTIRENO EXPANDIDO

MONEDA: SOLES

5.1 PINTADO DE FRANJAS EN PAVIMENTO

Rendimiento: 60.0000 M/DIA

Insumo	Unidad	Unidad: M Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	9.98
OPERARIO	HH	1.0000	0.1333	28.39	3.78	
PEON	HH	1.0000	0.1333	20.22	2.70	
				Mano de obra:	6.48	
DISOLVENTE XILOL	GAL		0.0100	41.53	0.42	
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL		0.0500	45.76	2.29	
MICROESFERA DE VIDRIO	KG		0.0800	7.54	0.60	
				Materiales:	3.31	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	6.48	0.19	
				Equipo:	0.19	

5.2 PINTADO DE PASE PEATONAL Y FLECHAS

Rendimiento: 25.0000 M2/DIA

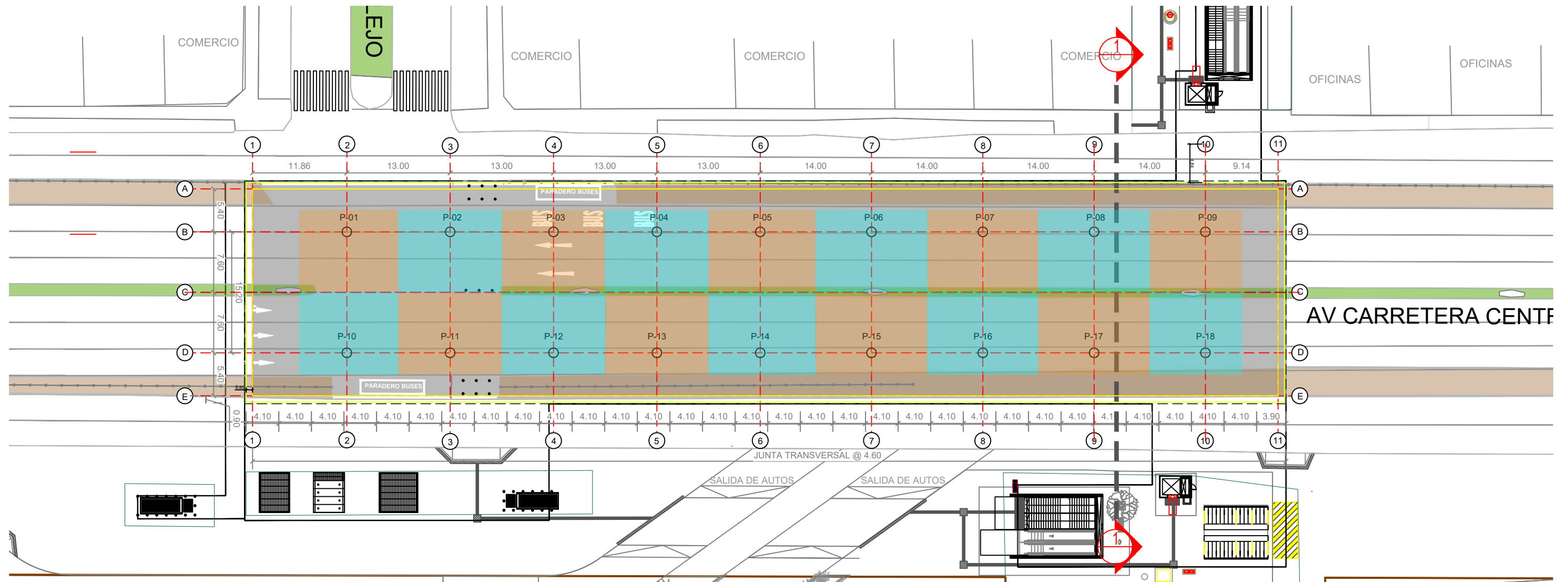
Insumo	Unidad	Unidad: M2 Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	19.33
OPERARIO	HH	1.0000	0.3200	28.39	9.08	
PEON	HH	1.0000	0.3200	20.22	6.47	
				Mano de obra:	15.55	
DISOLVENTE XILOL	GAL		0.0100	41.53	0.42	
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL		0.0500	45.76	2.29	
MICROESFERA DE VIDRIO	KG		0.0800	7.54	0.60	
				Materiales:	3.31	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	15.55	0.47	
				Equipo:	0.47	

5.3 PINTADO DE BORDE DE VEREDA

Rendimiento: 60.0000 M/DIA

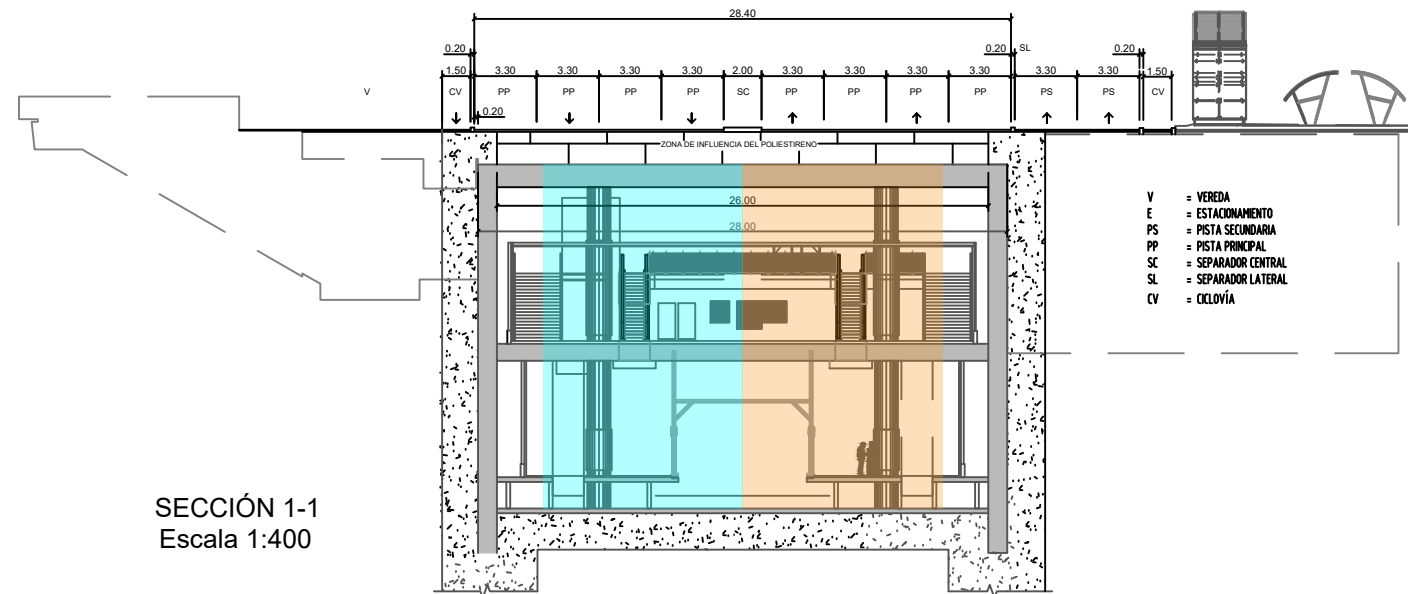
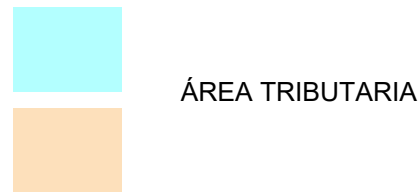
Insumo	Unidad	Unidad: M Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial	11.08
OPERARIO	HH	1.0000	0.1333	28.39	3.78	
PEON	HH	1.0000	0.1333	20.22	2.70	
				Mano de obra:	6.48	
DISOLVENTE XILOL	GAL		0.0180	41.53	0.75	
PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GAL		0.0800	45.76	3.66	
				Materiales:	4.41	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	6.48	0.19	
				Equipo:	0.19	

Anexo 3: Planos



PLANTA
Escala 1:500

LEYENDA:



SECCIÓN 1-1
Escala 1:400



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL

Tesista:
BACH. IDA SOFÍA CUPE QUISPE

Asesor:
MAG. ING. OMAR RENZO PADILLA LAGUNA

Proyecto:
"LINEA SUBTERRANEA DE METRO - LIMA"

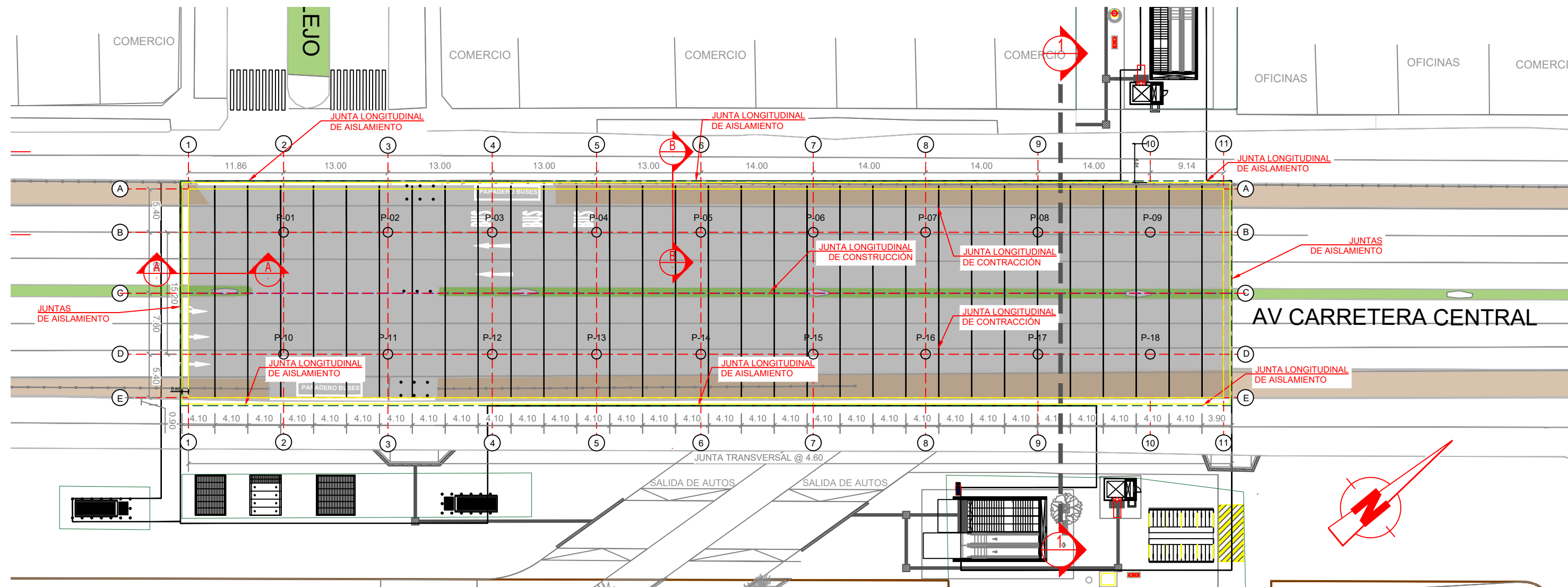
Título:
MÉTODO DE ÁREA TRIBUTARIA

Ubicación:
ATE - LIMA

Escala:
INDICADA

Fecha:
AGOSTO 2024

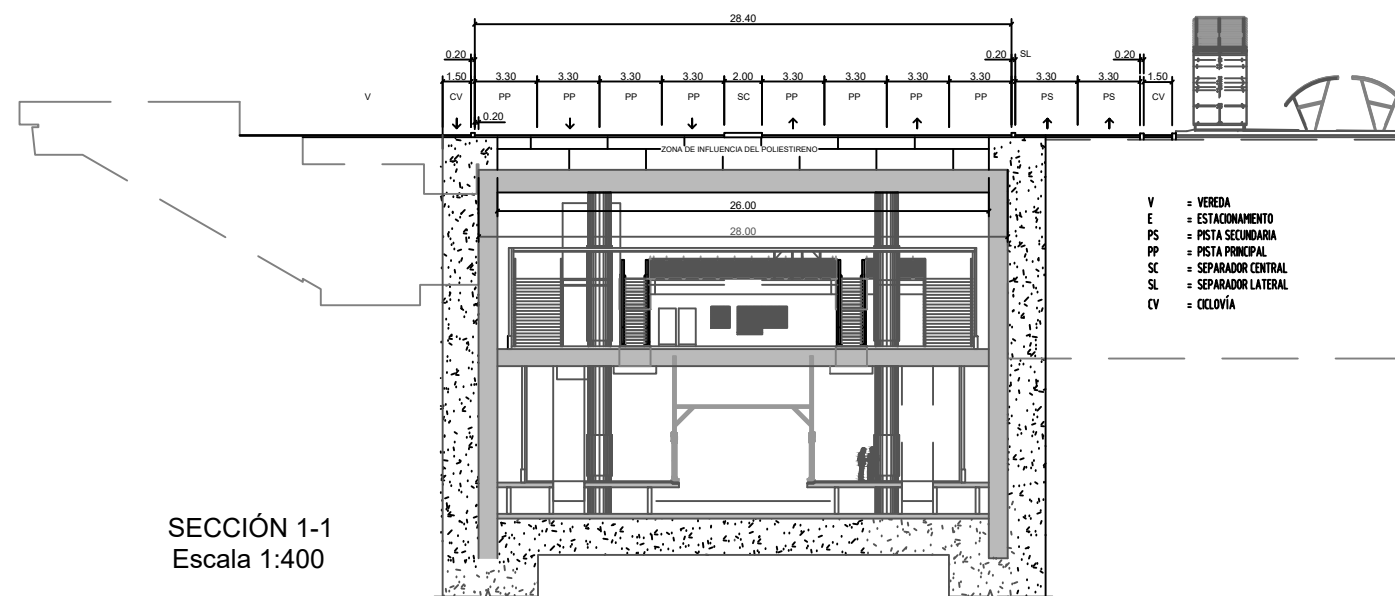
P-01



PLANTA
Escala 1:500

LEYENDA:

- JUNTA DE AISLAMIENTO
- JUNTA DE CONSTRUCCIÓN
- JUNTA DE CONTRACCIÓN
- CAJA DE ESTACIÓN



SECCIÓN 1-1
Escala 1:400



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL

Tesista:

BACH. IDA SOFÍA CUPE QUISPE

Asesor:

MAG. ING. OMAR RENZO PADILLA LAGUNA

Proyecto:

"LINEA SUBTERRANEA DE METRO - LIMA"

Título:

PLANO DE PLANTA Y CORTE DE LA VIA SUPERFICIAL

Ubicación:

ATE - LIMA

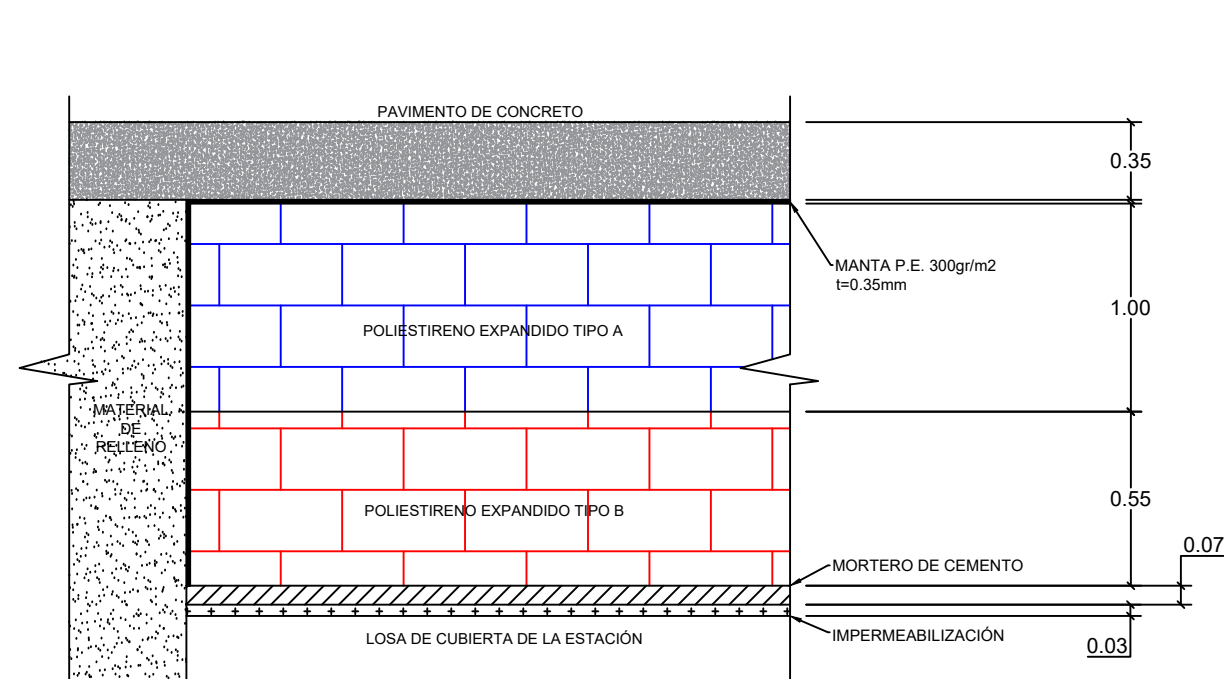
Escala:

INDICADA

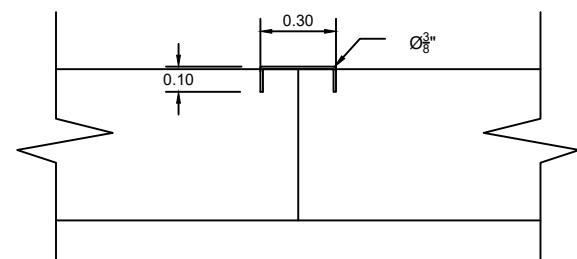
Fecha:

AGOSTO 2024

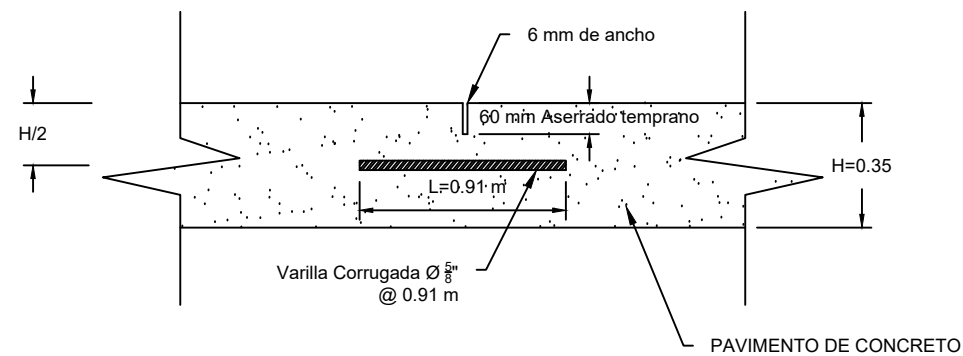
P-02



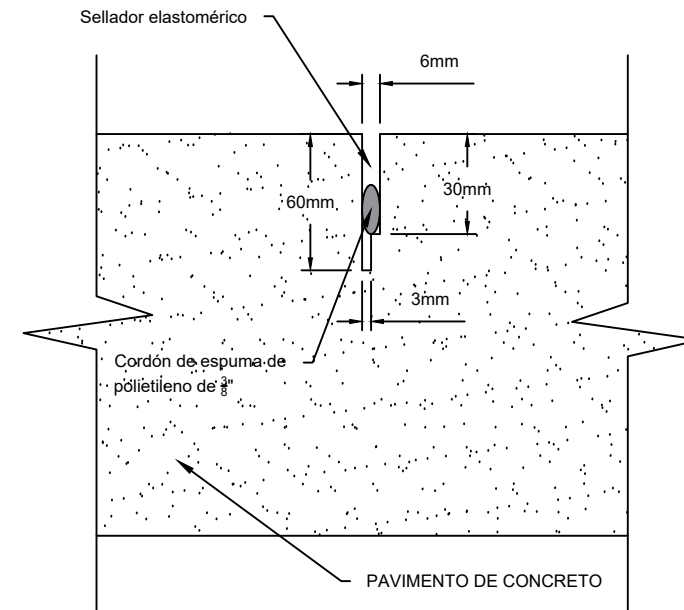
DETALLE DE PAVIMENTO RÍGIDO



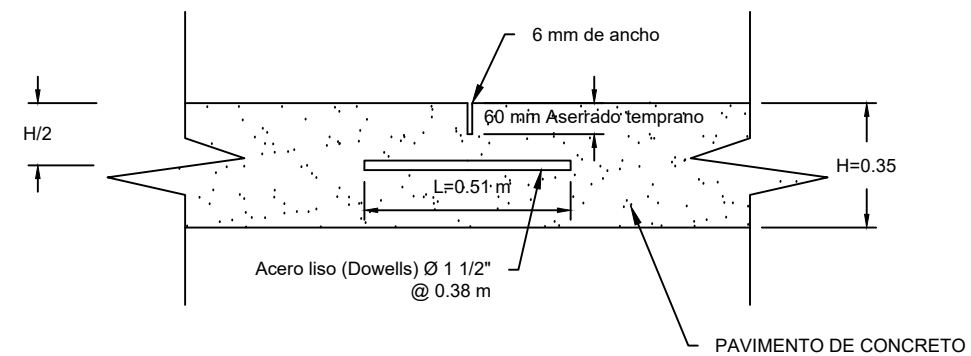
DETALLE DE CONEXIÓN DE BLOQUES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO



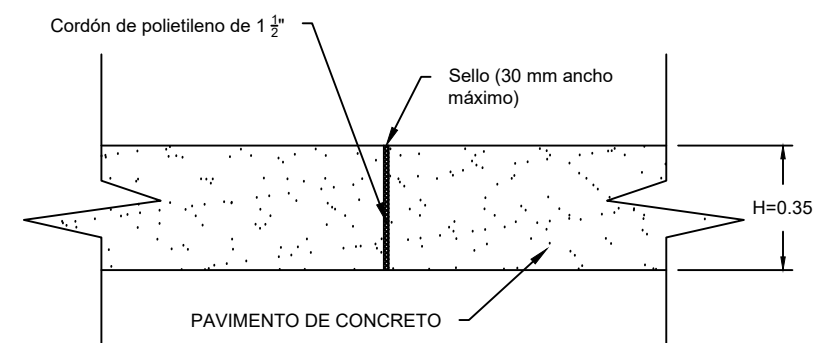
JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN



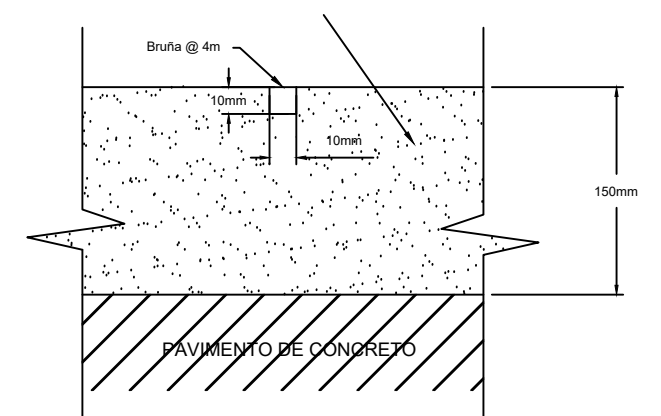
DETALLE DE ASERRADO TEMPRANO Y SELLADO DE JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y CONSTRUCCIÓN



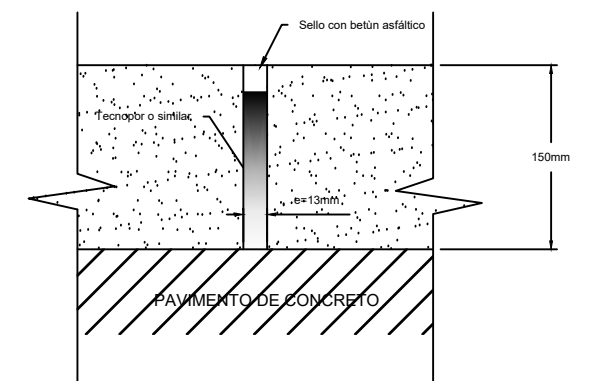
JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCIÓN



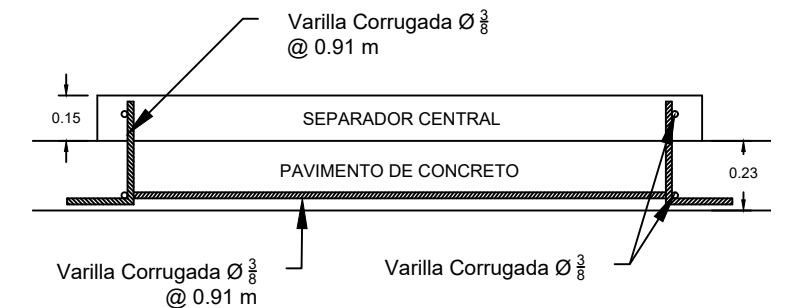
JUNTA DE AISLAMIENTO



DETALLE DE BRUÑAS DE VEREDA DEL SEPARADOR CENTRAL



DETALLE DE SELLADO DE JUNTAS DE DILATACIÓN EN VEREDAS



DETALLE DE SEPARADOR CENTRAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesista:
BACH. IDA SOFÍA CUPE QUISPE

Asesor:
MAG. ING. OMAR RENZO PADILLA LAGUNA

Proyecto:
"LINEA SUBTERRANEA DE METRO - LIMA"

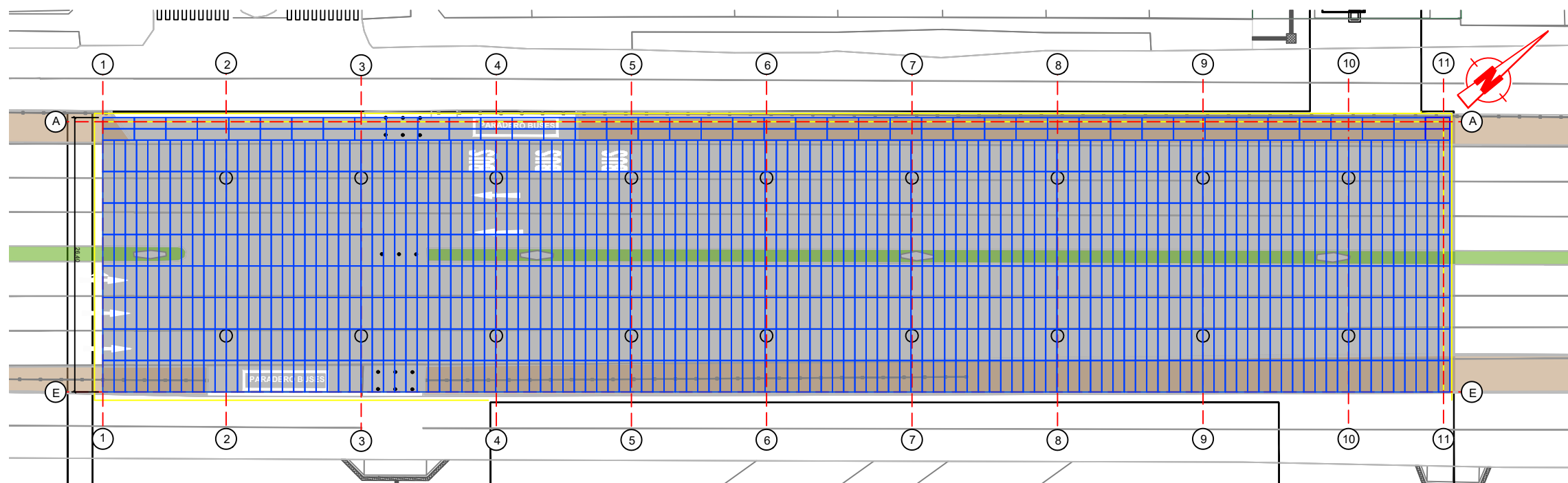
Título:
PLANO DE DETALLES

Ubicación:
ATE - LIMA

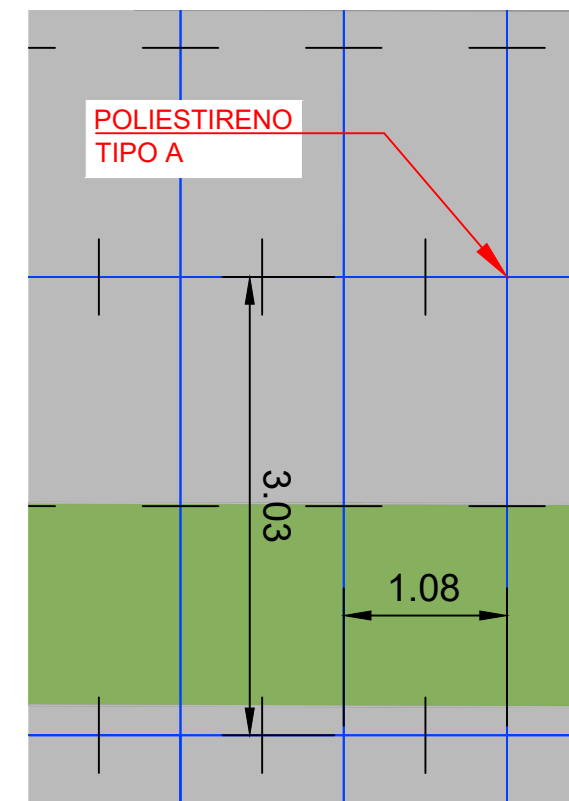
Escala:
INDICADA

Fecha:
AGOSTO 2024

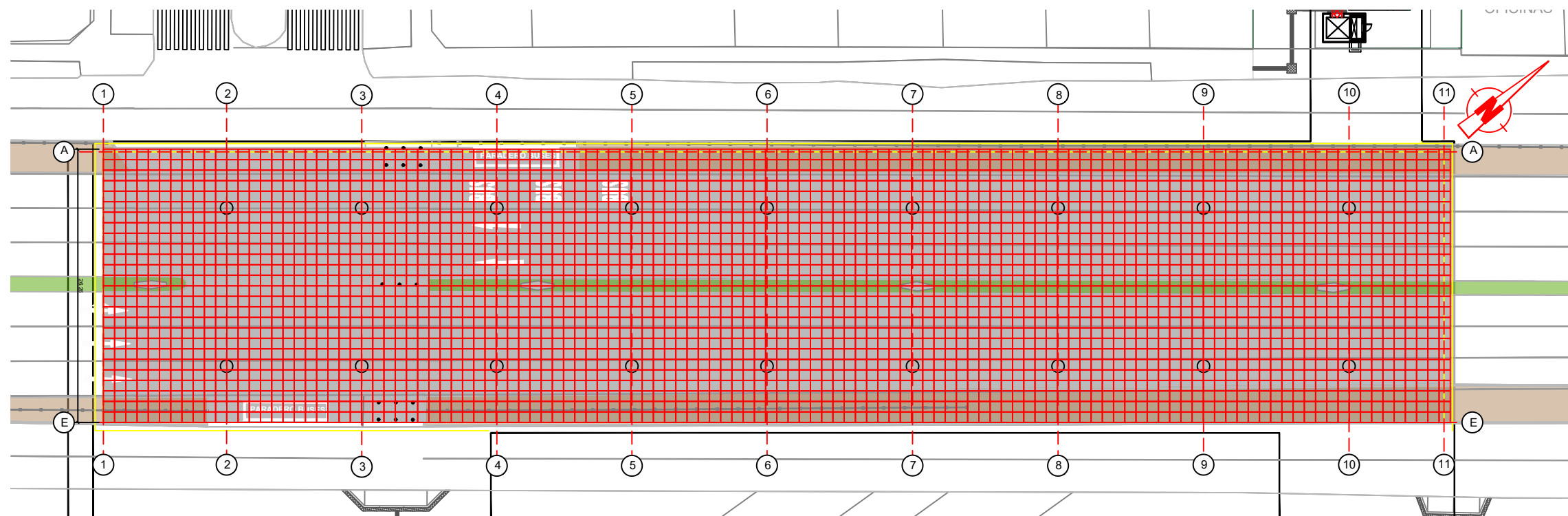
P-04



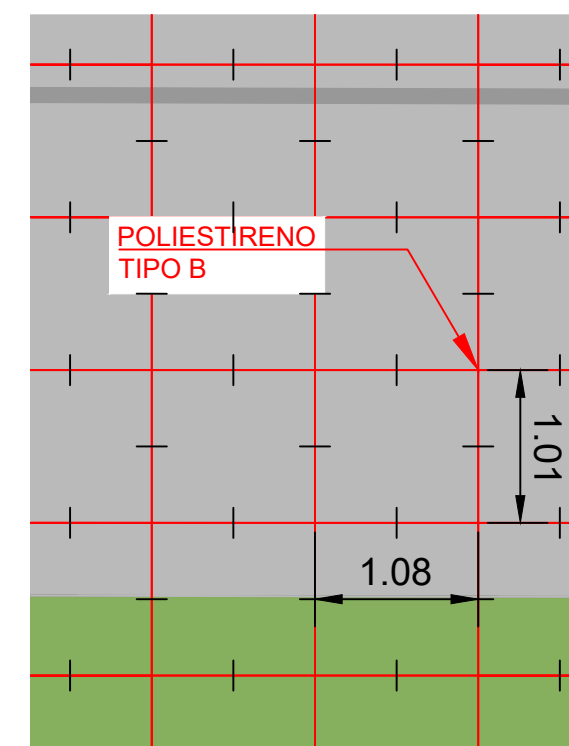
PLANTA - POLIESTIRENO TIPO A
Escala 1:500



DETALLE - POLIESTIRENO TIPO A
Escala 1:50



PLANTA - POLIESTIRENO TIPO B
Escala 1:500



DETALLE - POLIESTIRENO TIPO B
Escala 1:50

NOTA: La densidad del poliestireno tipo A y B son de 0.25 KN/m3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL

Tesista:

BACH. IDA SOFÍA CUPE QUISPE

Asesor:

MAG. ING. OMAR RENZO PADILLA LAGUNA

Proyecto:

"LINEA SUBTERRANEA DE METRO - LIMA"

Título:

PLANO EN PLANTA DEL MATERIAL DE
RELLENO SUPERFICIAL - POLIESTIRENO EXPANDIDO

Ubicación:

ATE - LIMA

Escala:

INDICADA

Fecha:

AGOSTO 2024

P-03

Anexo 4: Matriz de consistencia

PROPUESTA DE USO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO MATERIAL DE RELLENO PARA PAVIMENTO RÍGIDO, SOBRE ESTACIÓN SUBTERRÁNEA DEL METRO DE LIMA					
Problema de estudio	Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metodología
Asentamiento debido a suelo de baja capacidad portante.	General	General	General	Independiente	Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Aplicativo Diseño: Experimental Métodos: Hipotético-deductivo
	¿Cómo puede el poliestireno expandido, usado como material de relleno del pavimento rígido, reducir asentamientos en el suelo de fundación de una estación subterránea del metro de Lima?	Presentar al poliestireno expandido como material de relleno del pavimento rígido para reducir asentamientos del suelo de fundación de una estación subterránea del metro de Lima.	La propuesta de utilizar poliestireno expandido como material de relleno del pavimento rígido permite reducir asentamientos del suelo de fundación de una estación subterránea del metro de Lima.	Material de relleno de poliestireno expandido	
	Específicos	Específicos	Específicos	Dependiente	Población y muestra Suelos con diversas características y propiedades por donde pasa el trazo geométrico del Metro subterráneo de Lima Muestra: Estratos de suelos ubicados bajo una estación subterránea de metro.
	¿Cómo se diseña el pavimento rígido con el uso de poliestireno expandido como relleno?	Realizar el diseño de pavimento rígido con el uso de poliestireno expandido como material de relleno.	El diseño de pavimento rígido con el uso de poliestireno expandido como relleno determina una deformación máxima en el material del poliestireno menor al 1% permitido tal como lo indica la norma ASTM 6817 para este tipo de material.	Espesor de pavimento	
	¿En qué medida el uso del poliestireno expandido reduce los asentamientos en el suelo de fundación?	Realizar el análisis comparativo del asentamiento con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación.	Al comparar los asentamientos calculados por el empleo de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación, se obtuvo asentamiento menores para el caso de poliestireno expandido.	Asentamiento del pilote	Técnica e instrumentos de recolección de datos: Técnica: Análisis documental y observación Instrumentos de recolección de datos: Reportes diarios de obra. Reportes propios producto del análisis documental. Técnica e instrumentos de análisis y procesamiento de datos: Técnica de análisis de datos: Análisis documental y descriptiva Instrumentos de análisis de datos: Cuadros comparativos de Excel. Técnica de procesamiento de datos: Recolección en excel. Instrumentos de procesamiento de datos: Softwares Autocad, Inventor, Project, excel.
	¿Cuál es el método constructivo adecuado para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido como relleno?	Proponer el método constructivo adecuado para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido como relleno.	El método constructivo adecuado para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido como relleno consiste en el de ganchos de conexión para los bloques y el uso de un manto protector de la capa de poliestireno expandido.	Método constructivo	
	¿En qué medida se reduce el tiempo y costo para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación?	Medir la reducción del tiempo y costo para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación.	El análisis de tiempo y costo para la ejecución de la estructura de pavimento rígido con el componente de poliestireno expandido y el caso de material de relleno propio de excavación, determina un menor costo y tiempo de ejecución para el caso de poliestireno expandido como relleno.	Costo y tiempo de ejecución	