



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Tramo de autopista en el estado
de Nayarit, infraestructura y
crecimiento**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Sergio Alberto Guevara Loureiro

ASESOR DE INFORME

M.I. Daniel Mejía Loera



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL**
(Titulación con trabajo escrito)



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado TRAMO DE AUTOPISTA EN EL ESTADO DE NAYARIT, INFRAESTRUCTURA Y CRECIMIENTO que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

SERGIO ALBERTO GUEVARA LOUREIRO
Número de cuenta: 315713633

RESUMEN

En este trabajo se describe el proceso constructivo de la Autopista Tepic – Nuevo Vallarta en el tramo Tepic – Compostela, el cual tiene una longitud de 9.1 kilómetros que se extienden entre el puente (PTE) 26.1 y el puente (PTE) 17.1. Cuenta con una sección de 13.0 metros de ancho de corona, destinada a albergar dos carriles de circulación (uno por sentido), cada uno con un ancho de 3.5 metros, y acotamientos laterales de 3.0 metros en cada lado. Este tramo se encuentra en una zona de baja ocupación agrícola, que incluye un pequeño sector montañoso y una zona de lomerío, abarcando las siguientes localidades del municipio de Compostela, en el estado de Nayarit:

- a) El Refilión
- b) Miravalles
- c) Las Astas
- d) Las Víboras
- e) El Limbo

El tramo incluye un total de 15 obras de infraestructura, que comprenden puentes, un paso inferior vehicular, un paso de maquinaria agrícola, un paso superior vehicular y un paso superior ferroviario. Además, se han ejecutado 29 obras de drenaje a lo largo del tramo. El proyecto abarca los derechos de vía, caminos, cercado, drenaje, y cuenta con los datos catastrales y las necesidades de acceso correspondientes. Se proponen varios caminos laterales, combinados con los cruces previstos por las estructuras mencionadas anteriormente.

En cuanto a los trabajos de laboratorio, se realizaron diversas pruebas con el fin de garantizar el cumplimiento del Libro MMP (Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales) conforme a la normativa NIT-SICT para la Infraestructura del Transporte, asegurando así el control de calidad de concretos y terracerías en laboratorio. En el área de concretos, se realizaron pruebas de revenimiento y resistencia a la compresión simple de las muestras. En el área de terracerías, se realizaron pruebas de cala volumétrica, límites de plasticidad y de masa volumétrica seca máxima del material compactado.

Finalmente, en el área de calidad de obra, se supervisó el proceso constructivo, que incluyó la revisión de armados estructurales y la inspección de los colados, así como la liberación de capas de terracería para la sección estructural del pavimento flexible.

ABSTRACT

This paper describes the construction process of the Tepic – Nuevo Vallarta Highway in the Tepic – Compostela section, which has a length of 9.1 kilometers, extending between bridge (PTE) 26.1 and bridge (PTE) 17.1. It has a 13.0 meter wide crown section, intended to accommodate two traffic lanes (one in each direction), each with a width of 3.5 meters, and lateral shoulders of 3.0 meters on each side. This section is located in an area of low agricultural occupation, which includes a small mountainous sector and a hilly area, covering the following localities in the municipality of Compostela, in the state of Nayarit:

- a) El Refilón
- b) Miravalles
- c) Las Astas
- d) Las Víboras
- e) El Limbo

The section includes a total of 15 infrastructure works, including bridges, a vehicular underpass, an agricultural machinery passage, a vehicular overpass and a railway overpass. In addition, 29 drainage works have been executed along the section. The project covers rights of way, roads, fencing, drainage, and has the corresponding cadastral data and access needs. Several side roads are proposed, combined with the crossings provided by the structures mentioned above.

As for the laboratory work, various tests were carried out to ensure compliance with the Mexican NMX standards for quality control of concrete and earthworks in the laboratory. In the concrete area, slump and simple compressive strength tests were performed on the samples. In the earthworks area, volumetric dip tests, plasticity limits and maximum dry volumetric mass of the compacted material were performed.

Finally, in the work quality area, the construction process was supervised, which included the review of structural reinforcements and the inspection of the castings, as well as the release of earthwork layers for the structural section of the flexible pavement.

DEDICATORIA

A mis amados padres, Lorena y Sergio,

Quienes, con su amor incondicional, sus esfuerzos y enseñanzas, me han impulsado a seguir mis sueños y mis logros. Mi título de Ingeniero Civil es el reflejo de su apoyo constante y la fe que siempre han tenido en mí. Gracias por ser mi fuente de inspiración, por estar siempre a mi lado y por motivarme a dar lo mejor de mí en cada paso y en cada situación. Este título también es suyo, porque sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

A mis amadas hermanas, Jessica y Nitzhia,

Quienes, con su amor, su apoyo y por ser siempre mis aliadas en los momentos difíciles. A lo largo de este camino, su compañía y aliento han sido fundamentales para mantenerme firme y motivado. Cada sonrisa, cada palabra de ánimo y cada gesto de cariño me ha dado el impulso para seguir adelante.

A mis queridos amigos,

Gracias por ser mi apoyo, durante este largo camino. Sus risas, consejos, momentos de distracción y, sobre todo, su amistad, han sido fundamentales para mantenerme firme y motivado.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), una institución que me ha brindado la oportunidad de formarme académica, profesional y personalmente. Me ha dado las herramientas para enfrentar el futuro con confianza y responsabilidad, y con ello, me comprometo a seguir los valores que me enseño y a contribuir a la sociedad con los conocimientos que adquirí en esta honorable institución.

Agradezco profundamente al M.I. Daniel Mejía Loera por apoyarme en todo momento durante mi proceso de titulación. Su compromiso, dedicación y constante orientación fueron fundamentales para que pudiera alcanzar este importante logro en mi vida académica.

Agradezco profundamente a todos mis profesores y compañeros que hicieron este camino más enriquecedor. Cada lección, cada desafío, y cada experiencia vivida en esta institución han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS	10
NORMATIVA	11
INTRODUCCIÓN.....	12
Objetivo	13
Alcances.....	13
Capítulo 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA AUTOPISTA TEPIC – PUERTO VALLARTA	14
1.1 Descripción general del tramo Tepic – Compostela	14
Capítulo 2. ESTRUCTURAS DEL TRAMO	16
2.1 Obras de drenaje transversal (ODT)	16
2.1.1 Proceso constructivo de una obra de drenaje transversal (ODT)	18
2.2 Paso superior de maquinaria agrícola (PSMA)	30
2.2.1 Proceso constructivo de paso superior vehicular agrícola (PSMA)	31
2.3 Puentes (PTE), pasos superiores vehiculares (PSV), pasos inferiores vehiculares (PIV) y pasos superiores ferroviarios (PSFC).....	37
2.3.1 Proceso Constructivo de un PTE, PSV, PIV y PSFC	38
Capítulo 3. TERRACERIAS	62
3.1 Terraplén (Compactable y No compactable).....	62
3.1.1 No compactable	63
3.1.2 Compactable.....	63
3.2 Capa subyacente.....	64
3.3 Capa subrasante	65
3.4 Base hidráulica.....	66
3.5 Carpeta asfáltica	67
Capítulo 4. PRUEBAS DE LABORATORIO DEL TRAMO TEPIC – COMPOSTELA...	69
4.1 Pruebas para concretos	69
4.1.1 Prueba de revenimiento de concreto fresco.....	70

4.1.2	Muestreo de concreto fresco	71
4.1.3	Determinación de temperatura de concreto fresco	73
4.1.4	Elaboración y curado de especímenes de concreto hidráulico	73
4.1.5	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto	74
4.1.6	Prueba de extensibilidad (prueba de revenimiento)	76
4.2	Pruebas para terracerías.....	77
4.2.1	Muestreo de materiales para terracerías.....	77
4.2.2	Prueba de compactación.....	78
4.2.3	Contenido de agua	79
4.2.4	Granulometría de materiales:	80
4.2.5	Masa volumétrica seca del material en estado suelto	81
4.2.6	Valor soporte de California (CBR):.....	83
4.2.7	Límites de Consistencia.....	84
	Capítulo 5. CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS	86
5.1	Conclusiones y comentarios	86
5.2	REFERENCIAS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sección transversal del tramo	14
Figura 1.2 Vista general de la autopista Tepic – Compostela.....	15
Figura 2.1 ODT 24.02, estilo cajón, finalizada.....	17
Figura 2.2 ODT 24.04, tipo tubo, finaliza.....	17
Figura 2.3 Colocación y acomodo de piedra en ODT 24.03.....	19
Figura 2.4 Colocación de geotextil y capa de finos en ODT 18.2	20
Figura 2.5 Colocación de malla de acero en ODT 25.03.....	20
Figura 2.6 Acabado fino de plantilla en ODT 20.01.....	21
Figura 2.7 Colocación de cajones en ODT 20.04.....	22
Figura 2.8 Colado de losa de cimentación en ODT 17.02	23
Figura 2.9 Colado de muro lado PK- en ODT 18.02.....	24
Figura 2.10 Colado de losa superior en ODT 18.02	25
Figura 2.11 Colado de prelosas en ODT.....	26
Figura 2.12 Colado de acostillado en ODT 24.04.....	27
Figura 2.13 Acostillado en forma piramidal en ODT 22.01	27
Figura 2.14 Colado de dentellón y solera en ODT 23.01.....	28
Figura 2.15 Colado y armado de aleros con guarnición en ODT 25.01	29
Figura 2.16 Colado de aleros y guarnición en ODT 25.02.....	30
Figura 2.17 Paso superior de maquinaria agrícola (PSMA), finalizado.....	31
Figura 2.18 Colocación y acomodo de piedra para PSMA 25.01	32
Figura 2.19 Colocación de malla, cimbra para plantilla y colado para PSMA 25.01	33
Figura 2.20 Colado de losa de cimentación en PSMA 25.01.....	34
Figura 2.21 Colado de alero y muro en Pk+ primer trepado en PSMA 24.01	35
Figura 2.22 Colado de muro y alero en PK-, aplicando vibrado en PSMA 25.01.....	36
Figura 2.23 Colado de losa superior en PSMA 24.01.....	37
Figura 2.24 Inicio de la perforación	39
Figura 2.25 Perforación finalizada.....	39
Figura 2.26 Armado estructural para pilas con acero de refuerzo para PTE 17.01	40
Figura 2.27 Colocación de acero y colado de pila en PTE 17.01	41
Figura 2.28 Prueba Cross-Hole	41
Figura 2.29 Colocación de plantilla PTE 17.01.....	42
Figura 2.30 Colado de zapata en PTE 17.01	43

Figura 2.31 Colado de la zapata en apoyo a las 7 columnas en PSFC 21.01	44
Figura 2.32. Descabezado de pila.....	44
Figura 2.33 Colado de columnas, 2do trepado, PSFC 21.01	45
Figura 2.34 Colado de columna hueca, trepado 4to, en PTE 17.01	46
Figura 2.35 Colado de cabezal en pila 2, PSFC 21.01.....	47
Figura 2.36 Colado de bancos PSFC 21.01	48
Figura 2.37 Colado de bancos PIV 19.01.....	48
Figura 2.38 Trabes AASHTO III, IV, V, VI	49
Figura 2.39 Armado de trabe tipo III.....	50
Figura 2.40 Colado de trabe tipo III.....	50
Figura 2.41 Colocación de trabe tipo III en PSV 21.01.....	52
Figura 2.42 Colocación de trabe tipo V, en PSFC 21.01	52
Figura 2.43 Colado de diafragma en pila 2 en PTE 19.01	53
Figura 2.44 Placas y neopreno para tope sísmico transversal en PSV 19.01 y PSFC 21.01	54
Figura 2.45 Diafragma en estribo 2, apoyado en bancos y neopreno en PSV 19.01.....	54
Figura 2.46 Colado de prelosas en almacén.....	55
Figura 2.47 Montaje de prelosas.....	56
Figura 2.48 Colocación de prelosas.....	56
Figura 2.49 Armado de losa tablero en PTE 19.01	57
Figura 2.50 Colado de la losa tablero en PTE 21.01	58
Figura 2.51 Comienzo de armado de aleros	59
Figura 2.52 Colado de aleros	60
Figura 2.53 Armado y colocación de placas metálicas para parapeto	61
Figura 2.54 Colado de losa de acceso, muro de respaldo y dentellón en PK-, PTE 20.01.	62
Figura 3.1 Material no compactable, bandeado y acomodado	63
Figura 3.2 Acomodo de materia compactable	64
Figura 3.3 Colocación y compactación de capa subyacente.....	65
Figura 3.4 Capa subrasante finalizada.....	66
Figura 3.5 Distribución y compactación en base hidráulica	66
Figura 3.6 Distribución de arena en base hidráulica	67
Figura 3.7 Colocación del material asfáltico y compactación de la primera capa de concreto asfáltico	68

Figura 3.8 Primera capa de la carpeta de concreto asfáltico.....	68
Figura 4.1 Prueba de revenimiento	71
Figura 4.2 Muestreo de concreto	72
Figura 4.3 Vibrado de la muestra de concreto con martillo de goma.....	72
Figura 4.4 Toma de la temperatura de la muestra de concreto hidráulico	73
Figura 4.5 Cuarto de curado	74
Figura 4.6 Cabeceó de especímenes	74
Figura 4.7 Resistencia a la compresión	75
Figura 4.8 Resultado de la compresión.....	75
Figura 4.9 Colocación del cono para prueba de extensibilidad	76
Figura 4.10 Prueba de extensibilidad	76
Figura 4.11 Medición de la extensibilidad del concreto	77
Figura 4.12 Muestreo de materiales.....	78
Figura 4.13 Excavación para la prueba de compactación	78
Figura 4.14 Prueba de compactación	79
Figura 4.15 Secado del material	79
Figura 4.16 Prueba de contenido de humedad	80
Figura 4.17 Tamizado del material.....	80
Figura 4.18 Prueba de granulometría	81
Figura 4.19 Homogenización de la muestra de suelo.....	82
Figura 4.20 Obtención de la masa volumétrica seca suelta	82
Figura 4.21 Realización de valor de soporte california (CBR)	83
Figura 4.22 Aplicación de fuerza para valor soporte california (CBR)	84
Figura 4.23 Pruebas representativas para límites de consistencia.....	85
Figura 4.24 Determinación de límite líquido (LL)	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Listado general de las obras de drenaje transversal (ODT).....	18
Tabla 2.2 Listado general de los paso superiores de maquinaria agrícola (PSMA).....	31
Tabla 2.3 Listado general de Puentes, PSV, PIV PSFC.....	37
Tabla 2.4 Trabes tipos AASHTO.....	49
Tabla 4.1 Revenimiento y tolerancia	70
Tabla 4.2 Frecuencia de muestreo.....	71

NORMATIVA

A continuación, se presentan las normas, manuales, especificaciones y/o documentos técnicos que regirán los parámetros de diseño y construcción correspondientes para el desarrollo de las vialidades implicadas, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los estándares establecidos y garantizar la calidad, seguridad y eficiencia en el proceso de ejecución de la obra. Estos documentos servirán como referencia fundamental durante todas las etapas del proyecto, desde la planificación inicial hasta la ejecución final, y se utilizarán como base para la toma de decisiones técnicas y la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos.

Normativa Mexicana:

- Libro 2- Normas de Servicios Técnicos, Título 2.01.01 –Proyecto Geométrico de Carreteras, Edición: 1984, secretaría de comunicación de transporte (SCT)
- Normativas de pruebas de laboratorio:
- *Revenimiento de concreto fresco (M-MMP-2-02-056-06).*
- *Prueba de muestreo de concreto fresco (M-MMP-2-02-055-06).*
- *Determinación de la temperatura del concreto fresco (NMX-C-435-ONNCCE)*
- *Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (NMX – C – 160 – ONNCCE – 2004)*
- *Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto (M-MMP-2-02-058-23).*
- *Muestreo de material (M-MMP-1-01/03).*
- *Grado de compactación (M-MMP-1-10/19)*
- *Contenido de agua (M-MMP-1-04/03)*
- *Granulometría para materiales Compactables (M-MMP-1-06/03)*
- *Masa volumétrica y coeficiente de variación volumétrica (M-MMP-1-08/03)*
- *Límite de consistencia (M-MMP-1-07/07)*
- *Valor Soporte de California (CBR) y expansión (Exp) en laboratorio (M-MMP-1-*

INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo detallar de manera clara, precisa y exhaustiva el proceso constructivo del tramo Tepic-Compostela, una obra de gran relevancia para el desarrollo de la infraestructura vial en la región. Este tramo no solo desempeña un papel crucial en la conectividad y movilidad de la zona, sino que también representa un componente fundamental para el impulso del crecimiento económico y social de las comunidades cercanas. Dada la magnitud e importancia del proyecto, su construcción debe llevarse a cabo bajo estrictos procedimientos técnicos, de calidad y seguridad, garantizando la durabilidad y eficiencia de la obra a largo plazo.

La ejecución de esta obra está regida por los estándares establecidos en los libros de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SICT), los cuales proporcionan los lineamientos necesarios para asegurar que cada fase del proceso constructivo se realice con el máximo nivel de precisión y conforme a los requerimientos establecidos por las autoridades competentes. Los procedimientos descritos a lo largo de este informe abarcan tanto los aspectos generales como los detalles técnicos específicos de las diferentes estructuras que componen el proyecto.

En este contexto, se abordarán los procesos constructivos correspondientes a las estructuras que forman parte del tramo, incluyendo puentes, PIV (Paso Inferior Vehicular), PSV (Paso Superior Vehicular) y PSFC (Paso Superior de Paso Ferroviario), así como las obras de drenaje, que son fundamentales para garantizar la correcta evacuación de aguas pluviales y prevenir posibles daños a la infraestructura vial. Además, se detallará la conformación de las capas de terracerías, elemento esencial para proporcionar la base estable y resistente necesaria para el pavimento, y se ofrecerá una descripción detallada del trazo geométrico del tramo en construcción, considerando los diferentes parámetros y condiciones del terreno.

Este informe tiene la finalidad de ofrecer una visión integral y detallada del proceso constructivo, abordando todos los aspectos técnicos, de calidad y de cumplimiento normativo que deben ser rigurosamente considerados y ejecutados durante cada etapa de la obra. De esta manera, se asegura que el proyecto se lleve a cabo de acuerdo con los más altos estándares de calidad y seguridad, y que se logre el objetivo de crear una infraestructura vial eficiente, sostenible y adaptada a las necesidades de la región.

Objetivo

El presente documento tiene como objetivo detallar el proceso constructivo del tramo Tepic-Compostela, que abarca desde el PTE 26.01 hasta el PTE 17.01, con una distancia total de 11 kilómetros. Así mismo, se describirán los procesos constructivos particulares de las estructuras y las capas de terracerías correspondientes, así como el trazo geométrico del tramo en construcción.

Alcances

Para desarrollar el objetivo se contemplan los siguientes alcances:

1. Realización de recorridos de obra en las rutas principales y alternas al tramo, con la finalidad de la verificación de las actividades con forma al programa de obra.
2. Revisión del plan de calidad y cumplimiento de los procedimientos constructivos. Con la aplicación y cumplimiento de estos se puede obtener la liberación del tramo en construcción.
3. Verificación de materiales y prefabricados, dando seguimiento desde su llegada a almacén hasta su colocación en obra.
4. Verificación del cumplimiento de las especificaciones de proyecto y normativa aplicable.

Para lograr el cumplimiento del objetivo general de este documento, se han establecido diversos alcances que son esenciales para el éxito de este documento. Entre estos, se incluyen actividades como la realización de recorridos de obra en las rutas principales y alternas, con el fin de verificar el avance y alineación de las actividades respecto al programa de obra previamente establecido.

Adicionalmente, se contempla la revisión exhaustiva del plan de calidad y la implementación de los procedimientos constructivos necesarios para asegurar que el trabajo cumpla con los más altos estándares. La verificación de materiales y prefabricados, desde su llegada a almacén hasta su colocación en obra, también constituye un punto esencial para garantizar la calidad y funcionalidad de los elementos utilizados en la construcción. Asimismo, se llevará a cabo la verificación del cumplimiento de las especificaciones de proyecto y las normativas aplicables, lo que es indispensable para lograr la correcta liberación del tramo en construcción y asegurar su total viabilidad.

Capítulo 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA AUTOPISTA TEPIC – PUERTO VALLARTA

1.1 Descripción general del tramo Tepic – Compostela

El tramo Tepic - Compostela de la autopista Tepic – Puerto Vallarta, clasificado como tipo A2 (carretera de dos carriles), forma parte de un camino de jurisdicción federal que ha sido concesionado a la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes (SICT). Este tramo tiene una longitud total de 26.3 km, y está diseñado para ofrecer una infraestructura vial de alta calidad que facilite el tránsito eficiente y seguro. La plataforma de la autopista tiene un ancho total de 13.0 m, distribuidos en un carril de 3.5 m por sentido, con acotamientos laterales de 3.0 m por ambos lados como se ilustra en la Figura 1.1. Este diseño está orientado a garantizar un flujo vehicular adecuado y una mayor seguridad para los conductores y usuarios de la vía.



Figura 1.1 Sección transversal del tramo

La velocidad de diseño establecida para este tramo es de 110 km/h, lo que responde a las normativas de seguridad vial y permite una circulación fluida, atendiendo a la creciente demanda de tránsito en la región. La selección de esta velocidad también toma en cuenta las características geográficas y el uso del tramo, optimizando la conectividad entre Tepic y Compostela, y contribuyendo a la mejora de la infraestructura vial en la zona.

En cuanto a las características del eje horizontal, se ha optado por utilizar radios de curva iguales o superiores a 916.74 m, equivalentes a un valor de $G_c = 1^\circ 15'$, lo que elimina la necesidad de incorporar curvas planas o clotoïdes y garantiza un trazado recto y homogéneo, permitiendo un tránsito fluido y seguro. El diseño de la autopista presenta un 29% de su longitud total en curvas, con un rango de radios que varía entre 916 m y 4584 m, lo que asegura que las curvas sean amplias y adecuadas a la velocidad de diseño.

El trazo de la vía troncal da inicio al sureste de la ciudad de Tepic, en el entronque de San Cayetano sobre la carretera federal 15 Tepic – Guadalajara, y culmina en el entronque de la carretera federal de cuota No. 68D, en el Entronque Compostela, como se muestra en la Figura 1.2. Este recorrido estratégico no solo conecta importantes puntos de la región, sino que también actúa como un eje clave para la movilidad, facilitando el transporte tanto de

carga como de pasajeros. Gracias a su diseño, esta vía impulsa la integración de las comunidades cercanas, optimiza las rutas comerciales y mejora el acceso a diversos destinos turísticos y económicos. De esta manera, contribuye de manera significativa al desarrollo económico y social de la zona, promoviendo el dinamismo regional, la reducción de tiempos de viaje y el fortalecimiento de la infraestructura vial, con un impacto directo en la calidad de vida de los habitantes y usuarios.



Figura 1.2 Vista general de la autopista Tepic – Compostela

El tramo se desarrolla en una zona de baja densidad poblacional, destacándose la travesía por las áreas de valle, donde predominan las actividades agrícolas. En este contexto, se presenta una red de caminos vecinales que será necesario restablecer, algunos mediante obras de cruce.

A lo largo del corredor, se identifican las localidades de Trigomil, AltaVista, Palo Herrado, El Refilión, Miravalles, Las Astas, Las Víboras y El Limbo, todas ellas conectadas por una red de caminos de diferentes tipologías. De igual modo, el Aeropuerto de Tepic se encuentra a aproximadamente 2.5 km de la troncal en su punto más cercano.

Para la realización del tramo Tepic – Compostela, se contempla la construcción de un total de 31 estructuras principales a lo largo del eje troncal, con el fin de asegurar el restablecimiento de carreteras secundarias y accesos, garantizando la conectividad entre ambas márgenes, así como la construcción de puentes para el cruce de cauces principales.

Las estructuras se clasificarán en los siguientes tipos:

- 10 PTE - Puentes
- 9 PIV - Paso Inferior Vehicular
- 7 PSMA - Paso Superior de Maquinaria Agrícola
- 3 PSV - Paso Superior Vehicular
- 2 PSFFCC - Paso Superior Ferrocarril

Con el proyecto de derecho de vía, caminos y cercado, drenaje y con los datos de catastro y las respectivas necesidades de acceso, se proponen varios caminos laterales, combinados con los cruces previstos por las estructuras mencionadas anteriormente.

Los empalmes del tramo en sus extremos inicial y final se realizan directamente con las calzadas existentes, y en el caso del Entronque de San Cayetano, se considera una intervención que complementa los movimientos actualmente garantizados, con la inclusión de dos nuevos ramales, ajustados al trazado existente.

El tramo Tepic - Compostela discurre sobre zonas de terreno llano y accidentado, identificándose globalmente los siguientes sectores:

- a) Sector km 0 al km 2.5 – terreno lomerío
- b) Sector km 2.5 al km 9.5 – terreno plano
- c) Sector km 9.5 al km 19.0 – terreno montañoso
- d) Sector km 19.0 al km 26.3 – terreno lomerío

El inicio del tramo comienza en la cota 1010 m, en el cruce con el Entronque de San Cayetano, descendiendo progresivamente hasta la cota media de 930 m, en una zona de valle, entre el km 2.5 y el km 9.5. Siguiendo el valle, el perfil se eleva de nuevo, cruzando una zona de características montañosas, con grandes elevaciones y valles fuertemente marcados, con una amplia gama de elevaciones, entre las cotas 805 m y 980 m. A partir del km 19, la orografía vuelve a tener características más suaves, con un ascenso progresivo hasta la cota 902, desarrollándose hasta el final con cotas muy cercanas a este valor.

Capítulo 2. ESTRUCTURAS DEL TRAMO

2.1 Obras de drenaje transversal (ODT)

Las obras de drenaje transversal (ODT) tienen como objetivo fundamental el control, la canalización y la evacuación eficiente del agua subterránea que podría acumularse bajo la vía, para evitar el deterioro de la estructura vial y garantizar su durabilidad a largo plazo. Estas obras son esenciales para redirigir el flujo de agua de manera adecuada, siguiendo los cursos naturales del terreno, de modo que se minimicen los riesgos de inundaciones y se optimicen las condiciones de drenaje en la zona.

En este proyecto se ocuparon tres tipos principales de ODT, cada una adaptada a diferentes condiciones y necesidades específicas: las de tipo cajón, las tubulares y las construidas en sitio.

Cada tipo presenta variaciones en cuanto a forma, dimensiones y materiales utilizados, lo que permite seleccionar la opción más adecuada según las características del terreno y las necesidades del proyecto. La elección del tipo de ODT que se construirá en cada tramo será determinada por un estudio hidrológico detallado y un análisis exhaustivo de las condiciones de la zona, tal como se ilustra en la Figura 2.1 y Figura 2.2.



Figura 2.1 ODT 24.02, estilo cajón, finalizada.



Figura 2.2 ODT 24.04, tipo tubo, finaliza.

A continuación, se presenta un listado general de forma detallada de las ODT planificadas en el tramo troncal, Tabla 1. Este incluye el kilometraje exacto de cada instalación, la tipología correspondiente de las obras de drenaje, así como las secciones específicas donde se ejecutará la construcción.

Tabla 2.1 Listado general de las obras de drenaje transversal (ODT)

N de ODT	km	Obra proyectada tipo
ODT 17.02	17 + 071.807	TUBO 1,5 [Clase IV Pared C]
ODT 17.04	17 + 990.000	CAJÓN [2 X 1,5]
ODT 18.01	18 + 205.000	CAJÓN [2 X 1,5]
ODT 18.02	18 + 495.550	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 18.03	18 + 850.780	CAJÓN 1 x [2 x 2]
ODT 19.01	19 + 133.250	TUBO 1,5 [Clase IV Pared B]
ODT 19.02	19 + 660.000	CAJÓN [2 X 2]
ODT 20.01	20 + 172.000	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 20.02	20 + 299.267	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 20.03	20 + 368.950	CAJÓN 2 x [3 x 2]
ODT 20.04	20 + 514.250	CAJÓN 2 x [3 x 2]
ODT 20.05	20 + 660.000	CAJÓN 2 x [2,5 x 2]
ODT 20.06	20 + 740.750	CAJÓN 2 x [2,5 x 2]
ODT 21.01	21 + 014.161	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 21.02	21 + 386.338	TUBO 1,5 [Clase IV Pared B]
ODT 21.03	21 + 778.954	CAJÓN 2 x [2,5 x 2]
ODT 22.01	22 + 045.000	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 22.02	22 + 412.685	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 22.03	22 + 569.626	CAJÓN [2 X 1,5]
ODT 22.04	22 + 840.000	TUBO 1,5 [Protección Losa]
ODT 23.01	23 + 236.900	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 23.02	23 + 616.848	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 23.03	23 + 634.000	CAJÓN 1 x [2 x 2]
ODT 24.01	24 + 220.000	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 24.02	24 + 604.000	CAJÓN [2 X 1,5]
ODT 24.03	24 + 790.000	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 24.04	24 + 893.000	TUBO 1,5 [Clase III Pared B]
ODT 25.01	25 + 034.000	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 25.02	25 + 192.000	TUBO 1,5 [Protección Losa]
ODT 25.03	25 + 592.150	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 25.04	25 + 730.000	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 25.05	25 + 875.460	CAJÓN 2 x [2 x 2]
ODT 26.01	26 + 026.038	CAJÓN 3 x [2.5 x 3]

2.1.1 Proceso constructivo de una obra de drenaje transversal (ODT)

A continuación, se presenta un procedimiento constructivo general que se empleó en la ejecución de las obras de drenaje transversal a lo largo de la autopista Tepic-Compostela. Es fundamental señalar que, si bien cada obra puede presentar variaciones específicas en función de las particularidades del terreno y las necesidades técnicas de la zona, el proceso descrito a continuación corresponde al enfoque comúnmente adoptado para la construcción de este tipo de infraestructuras.

2.1.1.1 Mejoramiento de terreno

Una vez completados los trabajos preliminares de desplante, el departamento de topografía realiza el marcado correspondiente para dar inicio al proceso constructivo de la ODT. Este proceso comienza una vez que se ha evaluado el estudio de suelos pertinente, el cual determinará el momento adecuado para comenzar la construcción.

La primera fase del procedimiento consiste en la excavación hasta alcanzar la longitud definida por la topografía, asegurándose de que el terreno esté completamente seco. Posteriormente, se acomoda una capa de piedra de pequeño tamaño utilizando una excavadora, a lo largo del trazado de la ODT, con el objetivo de estabilizar el terreno y evitar posibles hundimientos durante la ejecución de la obra, como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Colocación y acomodo de piedra en ODT 24.03

Una vez colocada la piedra, se dispone un geotextil para impedir que el material fino colocado posteriormente interfiera con la capa de piedra lo que también evita que esta última dañe la plantilla y facilita el nivelado necesario para la instalación de esta, como se observa en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Colocación de geotextil y capa de finos en ODT 18.2

2.1.1.2 Implementación de plantilla

Una vez que se ha realizado el mejoramiento del terreno para garantizar la estabilidad y la nivelación adecuada, conforme a los requerimientos topográficos, se procede con la nivelación de la plantilla. Subsecuentemente, se realiza la instalación de cimbras y colocando la malla de acero a lo largo del trazado definido, como se ilustra en la Figura 2.5.



Figura 2.5 Colocación de malla de acero en ODT 25.03

Con los preparativos de la plantilla listos, se procede a verter concreto de resistencia simple de 100 kg/cm^2 , el cual se aplica con un acabado liso y perfectamente nivelado, Figura 2.6. Para asegurar la durabilidad de la estructura, se aplica curacreto sobre el concreto, lo que

ayuda a prevenir posibles fracturas. La plantilla, en este contexto, actúa como una capa que asegura que la estructura no entre en contacto directo con el suelo.



Figura 2.6 Acabado fino de plantilla en ODT 20.01

La aplicación de la plantilla puede variar dependiendo de las especificaciones del proyecto, y puede ser utilizada en la colocación de tubos, cajones o losas de cimentación. También puede ser empleada en la ejecución de aleros, dentellones y soleras, según lo estipulado en los planos y necesidades de la obra.

2.1.1.3 Colocación de tubos o cajones

Una vez que se ha completado el colado de la plantilla, el departamento de topografía es el encargado de trazar con precisión el eje y el punto de arranque para la instalación de los tubos o cajones prefabricados.

Para la colocación de los prefabricados, se emplea una grúa con una capacidad de 80 toneladas, que permite manipular y posicionar los elementos de gran tamaño de forma segura y eficiente. Una vez que los tubos o cajones están correctamente posicionados en el lugar correspondiente, se procede a unirlos entre sí utilizando mortero, un material que proporciona la adherencia necesaria para asegurar la estabilidad de los prefabricados y garantizar una alineación perfecta.

Este proceso que se ilustra en la Figura 2.7, es fundamental para lograr una estructura sólida y resistente, que cumpla con los requerimientos técnicos y estructurales del proyecto.



Figura 2.7 Colocación de cajones en ODT 20.04

Generalmente, se emplean tubos prefabricados con un diámetro de 1.5 m, así como cajones con dimensiones de 2 x 2 m o 2 x 1.5 m, de acuerdo con las especificaciones detalladas que pide el área de proyecto. La selección del tipo de prefabricado y la capacidad de carga que estos soportarán dependen del diseño específico del proyecto. El uso de elementos prefabricados acelera el proceso constructivo, lo que a su vez optimiza tanto el tiempo, como los costos asociados a la construcción continua de la autopista.

2.1.1.4 Losa de cimentación

Una vez completada la plantilla, se procede a realizar los trabajos de armado del acero de refuerzo, que incluyen el anclaje de varillas para los muros y aleros. Posteriormente, se inicia el proceso de armado de la losa de cimentación, que es el componente clave encargado de transmitir las cargas al suelo, asegurando la estabilidad de la estructura y protegiéndola contra la erosión.

Tras finalizar el armado de la losa, se vierte concreto bombeable de resistencia de 250 kg/cm², que alcanza su capacidad total a los 28 días, como se ilustra en la Figura 2.8. Durante la colocación del concreto, es esencial aplicar vibración para eliminar posibles huecos y asegurar que el acabado sea uniforme y nivelado. Finalmente, se aplica un recubrimiento de curacreto para prevenir la aparición de fracturas y garantizar la durabilidad de la estructura.



Figura 2.8 Colado de losa de cimentación en ODT 17.02

2.1.1.5 Ejecución de muro de ODT

Continuando con el armado de las varillas para los muros, que se dejó previamente en la losa de cimentación, se procede con el armado del muro, utilizando acero de refuerzo de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto. Este proceso es crucial, ya que la estructura debe cumplir con todos los requisitos de resistencia y estabilidad establecidos en los planos. Dependiendo del diseño de la cimbra, así como de la altura y las características específicas del muro, se determinará la metodología de colado más adecuada, pudiendo ser realizada mediante un solo colado continuo.

El muro es un componente estructural esencial, ya que su principal función es transmitir las cargas directamente a la losa de cimentación, además de absorber el empuje que generan las capas superiores de terracerías, contribuyendo a la estabilidad de la estructura.

Simultáneamente, se deja preparado el anclaje para la losa superior del cajón. Estos elementos son colados con concreto estructural bombeable, de resistencia de 250 kg/cm^2 a los 28 días, con un revestimiento de 14 cm, como se muestra en la Figura 2.9. Es fundamental aplicar vibración durante todo el colado para eliminar las burbujas de aire y asegurar una distribución homogénea del concreto. Además, se debe aplicar curacreto para prevenir posibles fracturas y asegurar la durabilidad de la estructura.



Figura 2.9 Colado de muro lado PK- en ODT 18.02

En situaciones ideales, se recomienda anclar, armar y colar simultáneamente los aleros y los muros para garantizar un colado continuo y uniforme. Sin embargo, en ocasiones, debido a limitaciones de tiempo o material, estos elementos se colarán por separado, dejando el anclaje del alero listo en el muro para su posterior ejecución.

2.1.1.6 Ejecución de losa superior

La losa superior generalmente constituye el último componente en ser ensamblado en la estructura. Esta losa está diseñada para soportar tanto cargas muertas como cargas vivas, distribuyéndolas de manera eficiente a lo largo de toda la estructura.

En el caso de las ODT, es común utilizar prelosas para el armado inicial, las cuales ya incorporan refuerzo de acero. Una vez completado el armado, es fundamental utilizar concreto estructural con una resistencia de 250 kg/cm^2 a los 28 días y un revestimiento de 14 cm. Durante el proceso de colado, se aplica vibración para asegurar una correcta compactación del concreto, evitando la formación de huecos y asegurando su resistencia. Además, se utiliza curacreto para prevenir la aparición de fracturas y asegurar la durabilidad de la losa, como se ilustra en la Figura 2.10.

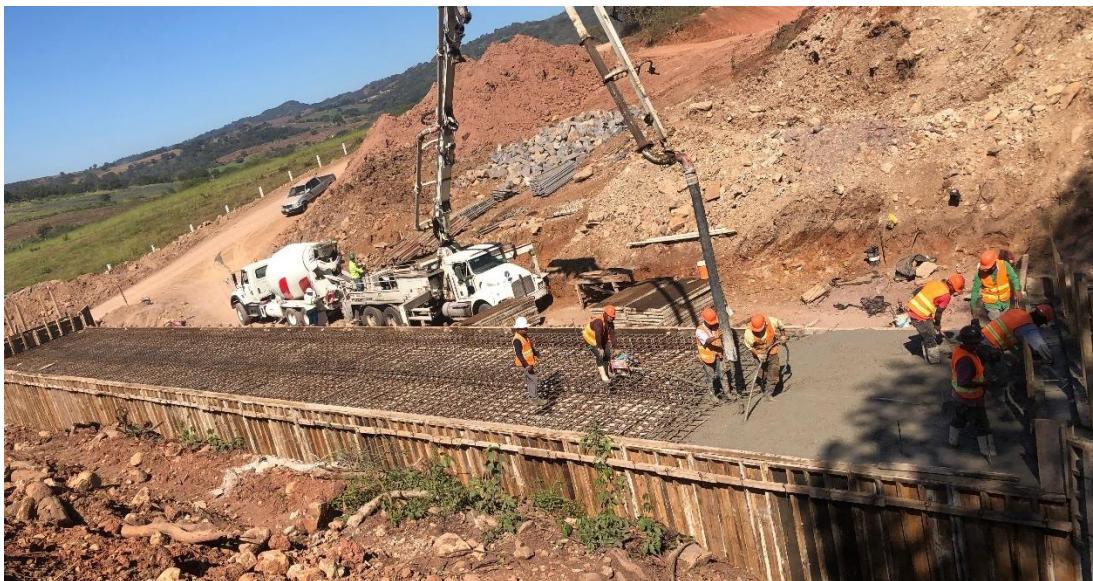


Figura 2.10 Colado de losa superior en ODT 18.02

Cabe destacar que en algunos casos no se emplean prelosas, y en su lugar se realiza un armado total de acero de refuerzo conforme a los planos del proyecto. En estos casos, se emplea cimbra en buen estado y se utiliza el mismo concreto estructural con resistencia de 250 kg/cm² y revenimiento de 14 cm. El proceso de colado sigue siendo el mismo, asegurando que la calidad y la integridad de la losa sean óptimas.

Prelosas: Las prelosas son un elemento estructural en el cual se va a evitar el cimbrado de estas, apoyándolas en los muros con su respectivo armado con acero de refuerzo. Este elemento normalmente se arma en almacén y se utiliza un concreto con tamaño máximo del agregado (TMA) de 10 mm utilizando un revenimiento de 18 cm con resistencia de 250 kg/cm², Figura 2.11.

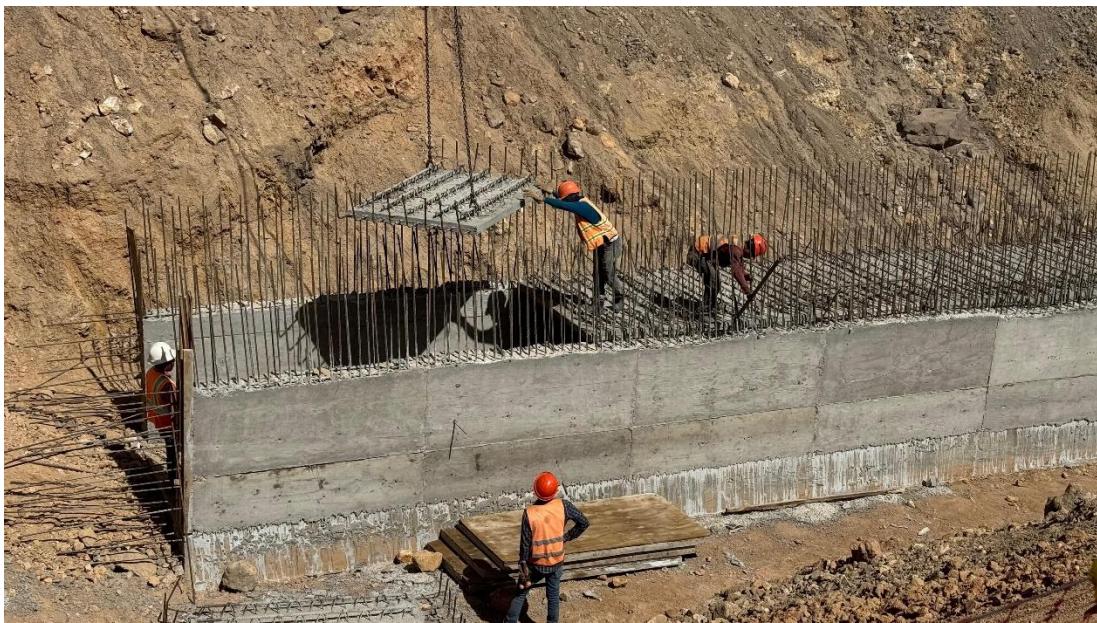


Figura 2.11 Colado de prelosas en ODT.

2.1.1.7 Ejecución de acostillado

El acostillado es una estructura en forma de cajón que se coloca a lo largo de la obra, con el propósito de soportar el tubo y evitar su deslizamiento. A diferencia de otros elementos, el acostillado no requiere armado de acero de refuerzo; se utiliza únicamente concreto de baja resistencia, con una capacidad de 100 kg/cm^2 , que se aplica vibrado para asegurar una compactación adecuada y un acabado liso.

La forma y altura del acostillado dependen de la rasante del proyecto. Si la rasante es particularmente alta o baja, se determinará la altura y la forma que debe adoptar el acostillado para adaptarse a las condiciones del terreno.

En proyectos donde la rasante es alta, el acostillado se suele realizar a mitad del tubo, lo que ayuda a prevenir su deslizamiento, como se observa en la Figura 2.12. Después de esta fase, se colocan aroches de material compactable alrededor del tubo, lo que contribuye a mejorar la estabilidad del sistema.



Figura 2.12 Colado de acostillado en ODT 24.04

En proyectos con rasantes bajas, el acostillado se realiza con una forma piramidal, como se muestra en la Figura 2.13, cubriendo completamente los tubos prefabricados hasta alcanzar la altura máxima del tubo. En algunos casos específicos, donde la rasante es igualmente baja, se opta por un procedimiento con suelo-cemento, cubriendo toda la estructura del tubo prefabricado. Este enfoque mejora la estabilidad y la durabilidad de la instalación.



Figura 2.13 Acostillado en forma piramidal en ODT 22.01

El suelo-cemento es una mezcla de material compactable con agregados de hasta 3 pulgadas de tamaño, mezclado con cemento y una pequeña cantidad de agua al momento de su colocación, garantizando la estabilidad del sistema.

Además, en situaciones donde el acostillado presenta dificultades o limitaciones, se optó por el uso de ciclópeo. Este método consiste en el uso de terraplén con material no compactable, que se combina con roca mediana y concreto fluido, proporcionando una base sólida y estable.

2.1.1.8 Solera y dentellón

Una vez instalados los tubos o cajones, se procede al armado con acero de refuerzo en las soleras ubicadas a lo largo de los laterales de la obra, así como en los dentellones en las entradas y salidas de las ODT.

El dentellón juega un papel fundamental en el control de la velocidad del agua, lo que ayuda a prevenir la erosión, mejorar la calidad del agua y evitar la socavación del terreno circundante. Por su parte, la solera actúa como una base estable, garantizando un nivel adecuado y un soporte firme para la estructura, lo que facilita el flujo óptimo del agua a través de la obra, poniendo de referencia la Figura 2.14.



Figura 2.14 Colado de dentellón y solera en ODT 23.01

Es crucial asegurar que el anclaje del acero de refuerzo en los aleros esté correctamente realizado antes de continuar con el proceso de armado. Una vez que el armado esté finalizado, se utiliza concreto estructural de alta calidad, con una resistencia de 250 kg/cm² a los 28 días y un revestimiento de 14 cm.

Durante el proceso de colado, se aplica vibración para eliminar cualquier oquedad que pudiera comprometer la integridad del concreto, asegurando así una compactación adecuada. Además, se emplea curacreto para proteger la superficie del concreto y evitar la formación de fracturas, garantizando así la durabilidad y resistencia de la estructura a largo plazo.

2.1.1.9 Ejecución de aleros y cabezotes

Una vez completado el anclaje proporcionado por la solera para los aleros, se continúa con el armado de los aleros, utilizando acero de refuerzo conforme a las especificaciones establecidas en el proyecto.

Los aleros cumplen una función crucial al proporcionar una dirección controlada para la entrada y salida del agua, protegiendo la estructura contra la erosión, el deterioro de los muros y evitando posibles inundaciones. Es importante destacar que los aleros pueden tener diferentes diseños y formas, adaptándose al entorno y a los requerimientos específicos del proyecto, según lo estipulado en los planos, como se muestra en la Figura 2.15.



Figura 2.15 Colado y armado de aleros con guarnición en ODT 25.01

En el caso de los tubos prefabricados, se realiza el armado de los cabezotes para garantizar su correcta sujeción y protección frente al talud, de manera similar a la ejecución de las guarniciones. Estos elementos aseguran que los tubos mantengan su integridad y no sufran desplazamientos.

Una vez completado el armado, es fundamental utilizar concreto estructural de alta calidad, con una resistencia de 250 kg/cm^2 a los 28 días y un revestimiento de 14 cm. Durante el proceso de colado, se aplica vibración para eliminar cualquier oquedad que pudiera

comprometer la resistencia del concreto, asegurando una compactación adecuada, refiriéndonos a la Figura 2.16.



Figura 2.16 Colado de aleros y guarnición en ODT 25.02

2.2 Paso superior de maquinaria agrícola (PSMA)

El paso superior de maquinaria agrícola (PSMA) es una infraestructura vial de gran importancia diseñada para facilitar el cruce seguro y eficiente de los caminos agrícolas bajo las autopistas, permitiendo el tránsito de vehículos de gran tamaño y carga de forma transversal, como se muestra en la Figura 2.17. Esta estructura, que generalmente se construye con una altura mínima de tres metros, está pensada para garantizar que los camiones destinados al transporte de productos agrícolas puedan circular sin inconvenientes. La altura y la anchura exacta de cada PSMA se determinan de acuerdo con las características específicas del área agrícola, así como las necesidades operativas y actividades cotidianas que son evaluadas por los equipos técnicos correspondientes. De esta manera, se asegura que el diseño de cada paso superior se adapte a los requisitos de los usuarios, garantizando su funcionalidad y seguridad.



Figura 2.17 Paso superior de maquinaria agrícola (PSMA), finalizado.

Además, los PSMA son fundamentales para la optimización del transporte agrícola, ya que facilitan el traslado de productos desde las zonas de cultivo hasta los puntos de distribución, evitando posibles accidentes o bloqueos que podrían surgir al utilizar los cruces convencionales.

A continuación, se presenta un listado detallado de los PSMA, donde se especifican las ubicaciones a lo largo de la red vial, indicando el kilometraje correspondiente, la tipología de cada estructura, así como las secciones específicas que la conforman para su correcta operación y mantenimiento.

Tabla 2.2 Listado general de los paso superiores de maquinaria agrícola (PSMA)

Denominación	Vía	Kilometraje	Solución
PSMA 21.01	Camino Rural-Troncal	21 + 142.0	Cajón
PSMA 22.01	Camino Rural-Troncal	22 + 426.0	Cajón
PSMA 23.01	Camino Rural-Troncal	23 + 255.6	Cajón
PSMA 24.01	Camino Rural-Troncal	24 + 604.0	Cajón
PSMA 25.01	Camino Rural-Troncal	25 + 060.0	Cajón

2.2.1 Proceso constructivo de paso superior vehicular agrícola (PSMA)

Es importante señalar que, aunque cada obra puede presentar variaciones dependiendo de las especificaciones técnicas proporcionadas por el área técnica correspondiente, el proceso descrito a continuación refleja la metodología que se está implementando de manera estándar en este tipo de proyectos.

El proceso de construcción de un PSMA comparte muchas similitudes con el de una ODT ejecutada en el sitio, con la diferencia de que se ajustan las dimensiones geométricas, específicamente en cuanto a altura y anchura, para cumplir con las necesidades del paso agrícola. Además, la función que se desempeñará, destinada a facilitar el paso de maquinaria agrícola, es otro de los factores que determina las modificaciones en el diseño. Así, el proceso constructivo está orientado a garantizar la adecuación del paso para vehículos de gran tamaño, manteniendo la seguridad y funcionalidad requeridas.

2.2.1.1 Mejoramiento del terreno

Una vez completados los trabajos preliminares de desplante, el departamento de topografía realiza el marcado necesario para iniciar el proceso constructivo del PSMA. Este proceso comienza después de la evaluación del estudio de suelos, el cual determina las condiciones del terreno y marca el inicio de la construcción.

Tras realizar la excavación hasta la profundidad indicada por el marcado topográfico, y asegurándose de que se ha alcanzado un terreno completamente seco, se procede con el acomodo de piedra de pequeño tamaño a lo largo del trazado de la PSMA utilizando una excavadora, como se muestra en la Figura 2.18. Esta etapa tiene como propósito estabilizar el terreno y prevenir posibles hundimientos o desplazamientos durante el avance de la obra.



Figura 2.18 Colocación y acomodo de piedra para PSMA 25.01

Una vez que la piedra ha sido correctamente colocada, se procede a instalar una capa de geotextil, lo cual actúa como una barrera para evitar el paso de material fino. Esta capa también garantiza que la piedra no interfiera con la plantilla, contribuyendo a la estabilidad del terreno y facilitando el progreso de los trabajos posteriores.

2.2.1.2 Desarrollo e implementación de plantilla

Ya que se ha realizado el mejoramiento del terreno para garantizar su estabilidad y nivelación adecuada conforme a las indicaciones de la topografía, se procede con la nivelación de la plantilla. En esta etapa, se realiza la instalación de las cimbras y la malla de acero a lo largo del trazado de la obra, según los requisitos del proyecto.

Tras completar estos preparativos, se procede a la colocación de concreto de resistencia simple de 100 kg/cm^2 , el cual se distribuye de manera uniforme para lograr un acabado liso y nivelado, como se muestra en la Figura 2.19.



Figura 2.19 Colocación de malla, cimbra para plantilla y colado para PSMA 25.01

Este concreto proporciona la base necesaria para la estructura. Finalmente, se aplica un tratamiento con curacreto para prevenir la fracturación del material debido a cambios en la humedad o temperatura. La plantilla, además de ser una capa fundamental para la estabilidad de la obra, asegura que la estructura se mantenga separada del suelo, evitando posibles problemas de humedad o desplazamientos que puedan comprometer la integridad de la construcción.

2.2.1.3 Losa de cimentación

Una vez que se ha completado la plantilla, se procede con el armado del acero de refuerzo del elemento, lo que incluye el anclaje de varillas para los muros y aleros. Seguidamente, se inicia el proceso de armado de la losa de cimentación, un componente esencial que tiene la función de transmitir las cargas al suelo, garantizando así la estabilidad de la estructura y protegiéndola contra posibles problemas derivados de la erosión del terreno.

Una vez finalizado el armado de la losa, que actúa como un elemento estructural clave, se procede con la colocación de concreto de alta resistencia, con un valor de 250 kg/cm^2 después de 28 días de fraguado.

Es crucial que durante la colocación del concreto se aplique vibración adecuada para eliminar cualquier burbuja de aire y garantizar una distribución homogénea del material, lo que permitirá obtener un acabado uniforme y nivelado. Como último paso, se aplica un recubrimiento de curacreto, lo que ayuda a prevenir la formación de fracturas y asegura la durabilidad del concreto frente a variaciones térmicas o cambios en la humedad.

Es importante señalar que, durante el proceso de colado de la losa, también se realiza el colado de la solera y el dentellón, como se observa en la Figura 2.20. Que, en este caso, tienen una función y características similares a las de la losa de cimentación. Ambos componentes se vierten simultáneamente, ya que forman parte integral de la estructura, proporcionando estabilidad adicional y una distribución uniforme de las cargas. De esta manera, se garantiza que toda la base estructural esté correctamente consolidada, optimizando la resistencia y la durabilidad del conjunto.



Figura 2.20 Colado de losa de cimentación en PSMA 25.01

2.2.1.4 Implementación de muros y aleros

Continuando con la colocación de las varillas para los muros en la losa de cimentación, se procede con el armado de los muros y aleros utilizando el acero correspondiente. Dado que los muros y aleros tienen una altura aproximada de 3 metros, se llevó a cabo su construcción en dos etapas de trepado, lo que permitirá un mejor control y manejo de los materiales y tiempos de ejecución.

El muro, como elemento estructural clave, tiene la importante función de transferir la carga hacia la losa de cimentación, absorbiendo el empuje proveniente de las capas superiores

de terracerías. Esto es esencial para garantizar la estabilidad de toda la estructura y evitar posibles desplazamientos o asentamientos irregulares.

Se recomienda realizar el armado y colado de los muros y aleros de manera simultánea, para asegurar que todos los elementos queden integrados en un solo proceso de colado, mostrado en la Figura 2.21. Esto no solo mejora la cohesión de la estructura, sino que también optimiza los tiempos de ejecución. Al finalizar, se procederá con la preparación del anclaje para la losa superior, asegurando la correcta unión de todos los componentes.

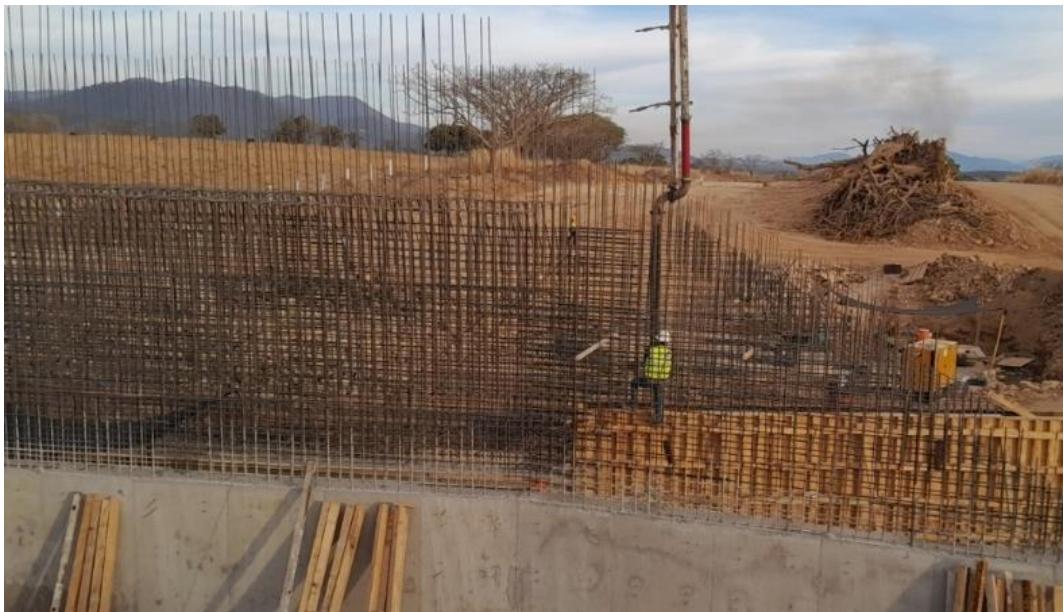


Figura 2.21 Colado de alero y muro en Pk+ primer trepado en PSMA 24.01

Para el colado de estos elementos se utilizará concreto estructural bombeable, diseñado específicamente para alcanzar una resistencia de 250 kg/cm² a los 28 días, con un revestimiento de 14 cm. Es crucial aplicar una vibración adecuada durante la colocación del concreto, para eliminar burbujas de aire y asegurar un acabado uniforme y sin imperfecciones, dando referencia a la Figura 2.22. Finalmente, se aplicará curacreto para prevenir la formación de fracturas, protegiendo el concreto y garantizando su durabilidad a lo largo del tiempo.



Figura 2.22 Colado de muro y alero en PK-, aplicando vibrado en PSMA 25.01

2.2.1.5 Losa superior

La losa superior generalmente constituye el último componente en ser ensamblado dentro de la estructura. Su diseño está orientado a soportar tanto cargas muertas como cargas vivas, distribuyéndolas de manera eficiente a lo largo de toda la estructura, lo que garantiza su estabilidad y funcionalidad a largo plazo.

Para la losa superior del PSMA, se emplea un armado de acero de refuerzo en plano, lo que proporciona la resistencia necesaria para enfrentar las cargas que se aplicarán sobre la losa.

Una vez completado el armado de acero, se procede con la colocación de concreto estructural, cuya resistencia debe ser de 250 kg/cm^2 a los 28 días, con un revestimiento de 14 cm. Estas características aseguran que el concreto tenga la consistencia adecuada para su manipulación y durabilidad.

Durante el proceso de colado, es fundamental aplicar vibración al concreto para garantizar su compactación adecuada y eliminar cualquier burbuja de aire o espacio vacío que pudiera comprometer la resistencia de la losa. Esto contribuye a obtener una superficie uniforme y homogénea, como se observa en la Figura 2.23. Finalmente, se recomienda aplicar un recubrimiento de curacreto para prevenir la formación de fracturas y proteger el concreto de posibles daños causados por las variaciones térmicas o cambios en la humedad.



Figura 2.23 Colado de losa superior en PSMA 24.01

2.3 Puentes (PTE), pasos superiores vehiculares (PSV), pasos inferiores vehiculares (PIV) y pasos superiores ferroviarios (PSFC)

Las estructuras de paso vehicular son elementos clave en la infraestructura vial, ya que permiten el cruce seguro de vehículos sobre obstáculos como ríos, valles, ferrocarriles y otras vialidades. Se encuentran 10 de estas estructuras a lo largo de todo el tramo. De ellas, 9 tienen una altura inferior a 15 metros, mientras que solo 1 supera los 30 metros de altura.

A continuación, se presenta un listado detallado de las estructuras en construcción, especificando el kilometraje de su ubicación, la tipología correspondiente y las secciones asociadas a cada una de ellas. Este inventario proporciona una visión clara de la distribución y características de las obras en curso.

Tabla 2.3 Listado general de Puentes, PSV, PIV PSFC

Denominación	Vía	Kilometraje
PTE 17.01	<i>Río Refilión</i>	<i>17 + 410</i>
PSV 19.01	<i>Troncal</i>	<i>19 + 395</i>
PTE 19.01	<i>Arroyo</i>	<i>19 + 874</i>
PTE 20.01	<i>Arroyo</i>	<i>20 + 409</i>
PTE 21.01	<i>Arroyo</i>	<i>21 + 061</i>
PSFC 21.01	<i>Ferrocarril</i>	<i>21 + 601</i>
PSV 21.01	<i>Carretera</i>	<i>21 + 906</i>
PIV 23.01	<i>Troncal</i>	<i>23 + 949</i>
PSV 25.01	<i>Carretera</i>	<i>25 + 965</i>
PTE 26.01	<i>Arroyo</i>	<i>26 + 140</i>

2.3.1 Proceso Constructivo de un PTE, PSV, PIV y PSFC

A continuación, se describe un procedimiento constructivo general utilizado para la construcción de puentes, pasos superiores vehiculares (PSV), pasos inferiores vehiculares (PIV) y pasos superiores ferroviarios (PSFC) a lo largo de la autopista Tepic – Puerto Vallarta, tramo Tepic-Compostela. Es importante destacar que, aunque cada estructura puede variar en su diseño y especificaciones dependiendo de los requisitos técnicos del área encargada, el proceso descrito a continuación refleja el procedimiento estándar que se está implementando habitualmente en la construcción de estas infraestructuras.

A continuación, se detallan las siglas que se utilizarán a lo largo del proceso constructivo:

- a) **PTE** – Puente
- b) **PSV** – Paso Superior Vehicular
- c) **PIV** – Paso Inferior Vehicular
- d) **PSFC** – Paso Superior Ferroviario

Estas estructuras son esenciales para garantizar la conectividad y la seguridad en el tramo, permitiendo el paso de vehículos y ferroviario sobre diferentes obstáculos y facilitando el transporte en la zona.

2.3.1.1 Perforación de pilas de cimentación de los pasos vehiculares

Una vez finalizados los trabajos preliminares de desplante y realizado el estudio de mecánica de suelos, que determinará la profundidad necesaria para alcanzar el macizo rocoso o estrato resistente, el departamento de topografía procederá al marcado de los puntos correspondientes para iniciar la perforación de las pilas que soportarán las columnas, ya sea para un PTE, PSV, PIV o PSFC. Es de suma importancia que la perforación no tenga desviaciones por lo más mínimo, ya que errores de centímetros pueden constar en futuros trabajos.

Con el marcado de los puntos listos, se procederá a la perforación del barreno para las pilas utilizando equipos de perforado adecuados, como se muestra en las Figuras 2.24 y 2.25. Los cuales avanzarán hasta alcanzar la profundidad establecida en función de las características del terreno.

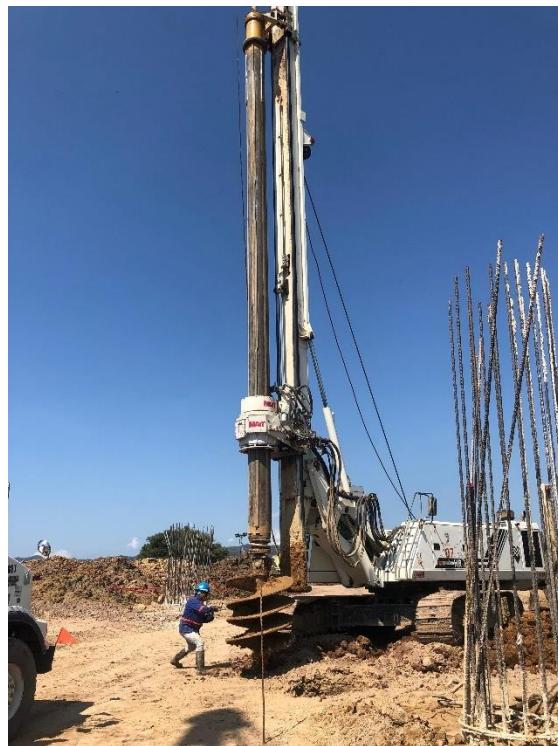


Figura 2.24 Inicio de la perforación



Figura 2.25 Perforación finalizada

De manera simultánea, se comenzará con el armado de las estructuras de acero de refuerzo de las pilas, siguiendo estrictamente las especificaciones del proyecto, como se observa en la Figura 2.26. Este proceso asegura que las pilas cuenten con la resistencia y estabilidad necesarias para soportar las cargas que se aplicarán sobre ellas, garantizando la seguridad y durabilidad de la infraestructura.



Figura 2.26 Armado estructural para pilas con acero de refuerzo para PTE 17.01

2.3.1.2 Colado de pilas

Una vez alcanzada la profundidad de perforación y completado el armado estructural de la pila con el acero de refuerzo, se procede a la colocación del armado al interior de la perforación con el apoyo de una grúa. Este proceso debe de realizarse con precaución para evitar caídos o desprendimientos de material en la pared en la perforación, mismos que pueden contaminar el fondo de la perforación o al acero de refuerzo.

Con el armado correctamente colocado, se procede al vertido del concreto, que debe tener una resistencia de 250 kg/cm^2 . Para asegurar un vertido adecuado y controlado, se introduce una tubería Tremie que facilita la colocación del concreto dentro de la perforación sin que este se disgregue. La tubería debe ser elevada y descendida de forma controlada, permitiendo que el concreto descienda de manera gradual sin saturar el tubo. A medida que el concreto va bajando, se van cortando tramos de la tubería progresivamente, lo que garantiza un vertido continuo y eficiente evitando que se generen juntas frías, Figura 2.27.

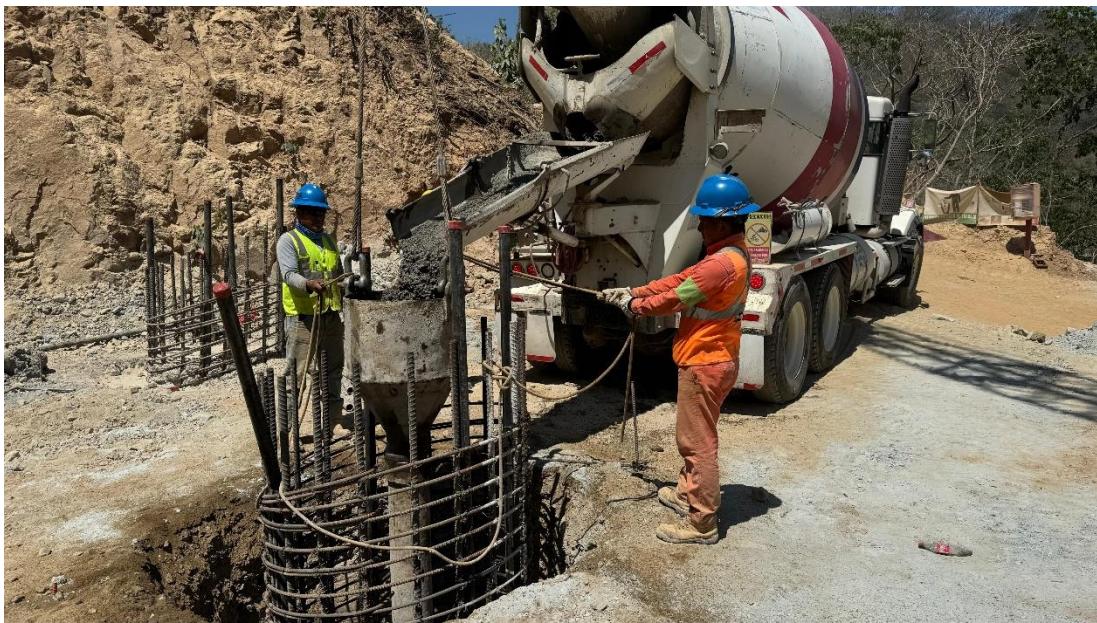


Figura 2.27 Colocación de acero y colado de pila en PTE 17.01

Pruebas Cross-Hole: Una vez que el concreto ha fraguado y alcanzado la resistencia requerida, se realiza la prueba Cross-Hole para verificar la calidad del concreto y la presencia de posibles defectos en la pila. Para esta prueba, se incluyen cuatro tubos en el armado de la pila, dispuestos en forma de cuadrado.

Luego de que el concreto ha alcanzado su fraguado, los tubos se llenan con agua, y en cada uno se colocan dos sensores: uno emite una onda y el otro la recibe, Figura 2.28.



Figura 2.28 Prueba Cross-Hole

Esta prueba permite detectar huecos o deficiencias en la estructura que se hayan presentado durante el colado de la pila, lo que podría comprometer su resistencia. Si no se encuentran anomalías, se puede proceder con el proceso de armado de las columnas, asegurando que la base de la estructura es sólida y confiable.

2.3.1.3 Plantilla para zapata

Para los PTE 17.01 y PSFC 21.01, inicialmente se realizaron las zapatas correspondientes. Posteriormente, con el fin de garantizar la estabilidad del terreno y asegurar su correcta nivelación conforme a la topografía del área, se llevó a cabo un proceso de mejoramiento del suelo. Este paso fue esencial para asegurar las condiciones adecuadas para las siguientes etapas de la obra.

Una vez completado el mejoramiento del terreno, se procedió a realizar la nivelación de la plantilla, asegurando una base sólida y estable para la construcción. Posteriormente, se instalaron las cimbras a lo largo del trazado correspondiente, tal como se muestra en la Figura 2.29. Este proceso fue crucial para garantizar la estructura y resistencia de la cimentación.



Figura 2.29 Colocación de plantilla PTE 17.01

Una vez preparados todos los componentes, se vertió el concreto de resistencia simple, con una resistencia de 100 kg/cm^2 , sobre la plantilla. El concreto fue extendido de manera uniforme y se aplicó un acabado liso y nivelado, asegurando la calidad y durabilidad del trabajo realizado.

2.3.1.4 Zapatas

Para el proyecto PTE 17.01, la zapata se presenta como el componente más grande y crucial, diseñada específicamente para soportar las cargas vivas como muertas. Este elemento estructural se encuentra apoyado sobre la plantilla y anclado a las pilas, siendo armado en sitio con acero de refuerzo de acuerdo con las especificaciones detalladas en el

proyecto, lo cual incluye, además, el inicio del armado de las columnas. La zapata se coló con concreto de una resistencia de 250 kg/cm^2 , utilizando aproximadamente 225 m^3 de concreto bombeable, el cual debe ser debidamente vibrado para asegurar una distribución uniforme, tal como se ilustra en la Figura 2.30.



Figura 2.30 Colado de zapata en PTE 17.01

La función principal de la zapata es absorber las cargas provenientes de las columnas y otros elementos estructurales superiores, para luego transferirlas de manera eficiente al terreno, garantizando de este modo la estabilidad y seguridad general de la estructura. Este proceso es vital para asegurar la correcta distribución de las fuerzas en el terreno y evitar asentamientos no controlados o fallas estructurales.

En el caso del PSFC 21.01, debido a un desfase significativo en la perforación de las pilas, el área de proyectos y la gerencia decidieron implementar una zapata continua para resolver la situación. Esta zapata está soportada sobre una plantilla y se conecta a las pilas de manera simultánea, tal como se muestra en la Figura 2.31. El armado de la zapata se realizó en sitio con acero de refuerzo, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas definidas por el área de proyectos, lo que incluye el inicio del armado y la continuidad de este para cada una de las columnas. Finalmente, la zapata fue colada con concreto bombeable de una resistencia de 250 kg/cm^2 , asegurando la misma calidad y consistencia que en el PTE 17.01, garantizando así la integridad y estabilidad de la estructura.



Figura 2.31 Colado de la zapata en apoyo a las 7 columnas en PSFC 21.01

2.3.1.5 Columnas

Una vez finalizada la construcción de las zapatas y con el armado de columna en preparación, como ocurre en el caso del PTE 17.01, se procede en los pasos vehiculares con el descabezado de la pila, tal como se ilustra en la figura 2.32. En esta fase, se lleva a cabo la demolición de la parte superior de las pilas, lo que permite descubrir el acero y eliminar el concreto contaminado.



Figura 2.32. Descabezado de pila

Posteriormente, se procede a anclar el acero estructural necesario para la construcción de las columnas, donde se utilizó cimbra metálica con alturas de 1.0 m o 2.7 m respectivamente, para columnas circulares que incluyen un diámetro de 1.5 metros, tal como se muestra en la Figura 2.33. Estas columnas, cuya altura varía entre 8 y 12 m, fueron coladas mediante el proceso de trepado, directamente sobre cada pila, asegurando con especial atención la alineación y nivelación de estas. Para ello, se utilizaron técnicas topográficas avanzadas, garantizando la precisión en cada etapa del proceso.

El concreto utilizado en las columnas tenía una resistencia de 250 kg/cm², y fue reforzado con acero de acuerdo con las especificaciones del proyecto, para cumplir con los estándares de seguridad y resistencia estructural establecidos.

Es importante resaltar que, para avanzar con cada nuevo tramo de colado, el área de calidad debe dar su aprobación sobre la resistencia del concreto del tramo de trepado anterior. Este proceso de validación implica un periodo de espera de entre 3 a 7 días, durante el cual se verifica que la resistencia del concreto haya alcanzado los valores requeridos. Este procedimiento es esencial para asegurar la integridad estructural de las columnas y evitar posibles fallas o deficiencias en la obra, garantizando que cada tramo de la columna cuente con la resistencia necesaria antes de proceder con el siguiente.



Figura 2.33 Colado de columnas, 2do trepado, PSFC 21.01

En el caso del PTE 17.01, una vez finalizada la construcción de la zapata y con el armado de columna preparado, se procedió con el armado del primer tramo de columna maciza, que tiene como principal función soportar y transmitir las cargas provenientes de los elementos estructurales superiores. Este tramo de columna se armó completamente sobre la zapata, utilizando concreto bombeable de alta resistencia, con una resistencia de 300 kg/cm², y reforzado con acero conforme a las especificaciones detalladas en el proyecto, asegurando la adecuada capacidad estructural del elemento.

Posteriormente, se continuó con el armado de la columna hueca, empleando acero de refuerzo dispuesto exclusivamente en el contorno de la columna, dejando un espacio vacío en el centro. Esta configuración tiene como objetivo optimizar la transmisión de cargas, a la vez que reduce el peso innecesario de la estructura, lo cual es fundamental para mejorar la eficiencia del material y reducir costos sin comprometer la seguridad de la columna. Al igual que en el tramo de la columna maciza, para la columna hueca se utilizó concreto bombeable con una resistencia de 300 kg/cm^2 , y el refuerzo se hizo conforme a las especificaciones proporcionadas en el proyecto.

La cimbra empleada para el proceso de colado fue principalmente metálica, aunque en ciertos casos, y según la disposición del contratista, se utilizó cimbra de madera, adaptándose a las necesidades específicas del proyecto. Esta diferencia en la cimbra no afectó la calidad del colado, ya que ambos tipos de cimbra cumplen con los requisitos de seguridad y funcionalidad. El proceso completo se documentó en la Figura 2.34, donde se pueden observar los detalles del armado y la configuración final de las columnas, que permiten una correcta transmisión de las cargas hacia la zapata y, finalmente, al terreno.



Figura 2.34 Colado de columna hueca, trepado 4to, en PTE 17.01

En el último tramo de cada columna, el armado se realizó de manera integral, asegurando que la cimbra de madera quedara ahogada dentro del elemento, lo cual es un procedimiento estándar para garantizar la estabilidad y cohesión de la estructura. Para este proceso de trepado final, se utilizó concreto bombeable de alta resistencia, con una resistencia de 300 kg/cm^2 , y se reforzó con acero de acuerdo con los lineamientos establecidos en el proyecto, para cumplir con las especificaciones técnicas y asegurar la resistencia necesaria.

Una vez completado este tramo final, la columna quedó completamente estructurada y lista para continuar con la siguiente fase de la obra: la construcción de los cabezales.

2.3.1.6 Cabezales

Una vez que las columnas han alcanzado la altura indicada por la topografía, se procede con el armado del cabezal, que constituye una estructura rígida de gran volumen. Este componente tiene la función principal de conectar las columnas, permitiendo la transferencia eficiente de las cargas provenientes de las estructuras superiores hacia el suelo. De este modo, el cabezal juega un papel crucial en la estabilidad y distribución de las fuerzas dentro de la estructura.

El armado del cabezal se realiza con acero de refuerzo y concreto bombeable con una resistencia de 250 kg/cm², de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en el proyecto, para garantizar su resistencia y durabilidad a largo plazo. Además, se asegura que el proceso de colado y armado cumpla con las normativas de seguridad y calidad exigidas, como se muestra en la Figura 2.35.



Figura 2.35 Colado de cabezal en pila 2, PSFC 21.01

Una parte esencial del cabezal es el sitio estructural denominado "banco", que debe ser cuidadosamente nivelado y acabado de manera lisa. Este banco será la base sobre la cual descansarán las trabes prefabricadas, por lo que es vital que esté perfectamente nivelado, Figuras 2.36 y 2.37. Cualquier inclinación o desnivel en este componente podría afectar la correcta colocación de las trabes, lo que a su vez impactaría directamente en la construcción de la losa de tablero, comprometiendo la calidad de la estructura.

En el caso específico de los estribos PSV 19.01 y PSFC 21.01, los bancos presentaron un diseño estructural distinto al de los demás, ya que están concebidos para soportar no solo las trabes, sino también el diafragma. Estos bancos se apoyan en neoprenos, lo que les permite una mayor flexibilidad y resistencia ante las cargas que deben soportar. Es igualmente fundamental que estos bancos se encuentren perfectamente nivelados y lisos, ya que cualquier desajuste podría afectar la estabilidad de los elementos estructurales y la alineación de estos. De esta manera, se asegura la correcta colocación y funcionalidad de

todos los componentes del sistema estructural, garantizando la estabilidad y seguridad de la obra.



Figura 2.36 Colado de bancos PSFC 21.01



Figura 2.37 Colado de bancos PIV 19.01

2.3.1.7 Trabes AASHTO

Para este proyecto se emplearon trabes con el uso de las especificaciones de la American Association of Highway and Transportation Officials, AASHTO, que son un elemento estructural prefabricado de concreto que se utiliza en puentes vehiculares. En este caso, se utilizaron de los tipos III, IV, V y VI. Como se muestra en la figura 2.38 y tabla 4.

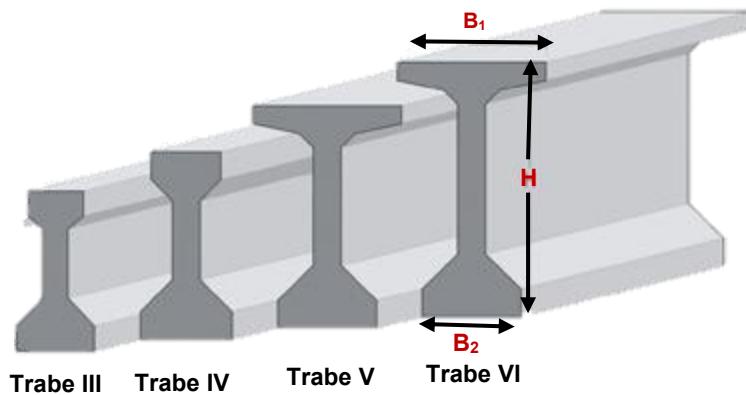


Figura 2.38 Trabes AASHTO III, IV, V, VI

Tabla 2.4 Trabes tipos AASHTO

Propiedades de secciones de trabes AASHTO para puentes					
Tipo	H (cm)	B1 (cm)	B2 (cm)	Claro (m)	A (cm ²)
III	115	56	40	16 a 24	3,629
IV	135	66	50	21 a 30	4,974
V	160	71	107	27 a 36	6,463
VI	183	71	107	33 a 42	6,923

Cada una de ellas fabricada con meticuloso cuidado en el mismo sitio de construcción. Estas trabes fueron sometidas a un riguroso control de calidad, supervisión en su proceso de producción y un monitoreo topográfico detallado antes de ser aprobadas y liberadas para su uso. La selección de cada tipo de trabe estuvo determinada por su peralte y longitud, con medidas que oscilaron entre los 15 y 30 m, permitiendo su adaptación a las necesidades técnicas y especificaciones del proyecto.

La fabricación de las trabes incluyó el uso de varilla, torones y moldes especialmente diseñados y fabricados para cada tipo de trabe, como se presenta en la Figura 2.39; lo que garantizó el cumplimiento de los altos estándares de calidad requeridos. Como parte del proceso de fabricación, todas las trabes fueron sometidas a un proceso de pretensado utilizando gatos hidráulicos, aplicando una tensión aproximada del 85%. Esta operación fue realizada con sumo cuidado y precisión, para evitar la aplicación de tensiones excesivas en

los torones, ya que, durante el fraguado del concreto los torones tienden a tensarse aún más, lo que podría generar riesgos de ruptura si no se controla de manera adecuada.



Figura 2.39 Armado de trabe tipo III

El concreto utilizado para la fabricación de las trabes fue de alta resistencia, con una resistencia de 450 kg/cm² y un tamaño máximo del agregado de 10 mm. Para asegurar la calidad estructural de las trabes y evitar la formación de vacíos internos, se implementó un proceso de vibrado exhaustivo durante el colado del concreto, como se muestra en la Figura 2.40. Este paso es esencial para asegurar una adecuada distribución de la mezcla, permitiendo que las trabes alcancen la máxima resistencia y durabilidad necesarias para garantizar su desempeño a lo largo del tiempo.



Figura 2.40 Colado de trabe tipo III

4.5.7.1 Montaje de trabes

Antes de iniciar la colocación de las trabes, resulta absolutamente esencial llevar a cabo una preparación minuciosa y detallada de las plataformas en las que se instalarán las grúas. Esta etapa de preparación es clave, ya que la estabilidad y seguridad de las actividades dependen de una base sólida y adecuada. En la mayoría de los casos, se utilizan de dos a tres grúas, dependiendo de la complejidad del proyecto y de las características del proceso de colocación. El número exacto de grúas se determina en función de las dimensiones de las trabes y las particularidades del terreno y el diseño de la obra.

El primer paso fundamental en este proceso consiste en realizar una limpieza exhaustiva y profunda de toda el área de trabajo. Es necesario eliminar con cuidado cualquier tipo de obstáculo, material suelto, escombros o elementos que puedan interferir con las maniobras de las grúas. Este paso es crucial para evitar cualquier inconveniente que pueda surgir durante las operaciones de colocación.

Si durante esta limpieza se detectan materiales inestables o sueltos en el terreno, se procede a realizar una compactación adecuada del suelo. Esta compactación tiene como objetivo garantizar que la superficie sea lo suficientemente resistente y estable para soportar el peso los apoyos de las grúas y las trabes, creando así una base segura que permita realizar las maniobras con seguridad.

Una vez que el área ha sido debidamente preparada, se debe llevar a cabo una marcación precisa del eje de referencia y de los puntos exactos en los que se procederá a colocar cada una de las trabes. Esta tarea recae en el equipo de topografía. La precisión en la ubicación de las trabes es fundamental, ya que cualquier error en el posicionamiento puede provocar serios problemas estructurales en el futuro, afectando la estabilidad y la seguridad de la construcción.

El proceso de colocación de las trabes es una fase crítica que debe llevarse a cabo con la mayor precisión y cuidados posibles. Durante esta operación, las grúas deben maniobrar de manera lenta y controlada, asegurándose de que las trabes y las varillas de refuerzo sean posicionadas de forma correcta y conforme a los puntos previamente marcados, tal como se ilustra en las Figuras 2.41 y 2.42. Este proceso exige atención a detalle y un control absoluto, ya que cualquier desajuste en la colocación de las varillas o de las trabes puede comprometer el proceso de armado posterior. Las varillas de refuerzo tienen un papel fundamental en la integridad estructural del proyecto, y su correcta colocación es crucial para que todo el sistema de refuerzo funcione como se espera. Si durante esta etapa inicial se cometen errores, el proceso de armado puede volverse mucho más complicado.



Figura 2.41 Colocación de trabe tipo III en PSV 21.01



Figura 2.42 Colocación de trabe tipo V, en PSFC 21.01

2.3.1.8 Diafragma

Una vez que las trabe han sido montadas y posicionadas correctamente en su ubicación definitiva, el siguiente paso crucial en el proceso de construcción es el armado de acero de refuerzo para los diafragmas. Estos diafragmas juegan un papel fundamental en la estructura, ya que tienen la función principal de mantener las trabe firmemente en su lugar,

uniendo todas las piezas y asegurando la estabilidad estructural. Esto es de suma importancia, ya que los diafragmas evitan cualquier tipo de movimiento indeseado entre las trabes y garantizan que permanezcan alineadas según lo previsto en el diseño. Además, cumplen una función adicional y esencial al conectar las trabes con el cabezal, creando así una estructura sólida, resistente y eficiente que pueda soportar las cargas y condiciones a las que se verá expuesta a lo largo del tiempo.

El proceso de armado de los diafragmas es altamente técnico, debido a la alta densidad de varillas de acero que componen estos elementos. Esto hace que el armado de los diafragmas sea una tarea que requiere de una gran precisión. Los diafragmas deben ser cuidadosamente alineados y armados para cumplir con las especificaciones del proyecto, tal como se ilustra en la Figura 2.43, lo que requiere una ejecución meticulosa y un control constante.

Una vez que el armado de acero para los diafragmas se ha completado y verificado, el siguiente paso es proceder a la colocación del concreto. Para esta tarea, se utiliza concreto bombeable con una resistencia de 250 kg/cm², junto con un tamaño máximo de agregado (T.M.A.) de 20 mm. Durante la colocación del concreto, es imprescindible realizar un vibrado adecuado a lo largo de todo el colado para asegurar que el material se distribuya de manera uniforme, eliminando las bolsas de aire que pudieran quedar atrapadas en la mezcla. Este vibrado también garantiza que el refuerzo de acero quede completamente cubierto, proporcionando una adecuada protección a las varillas y asegurando la resistencia de la estructura a largo plazo.



Figura 2.43 Colado de diafragma en pila 2 en PTE 19.01

En el caso específico de los proyectos PSFC 21.01 y PSV 19.01, los diafragmas de los estribos fueron colocados por encima de los bancos utilizando neopreno. Además, se instalaron placas sísmicas en los costados del diafragma. Estas placas fueron posicionadas de tal manera que se dejó un espacio entre el muro de respaldo y el diafragma, tal como se

muestra en las Figuras 2.44 y 2.45. Lo que permite que las placas absorban los impactos derivados de movimientos, contribuyendo así a la seguridad y estabilidad de la estructura en caso de sismos o vibraciones. Además, para proporcionar una base sólida y proteger aún más la estructura, los diafragmas se asentaron sobre placas de neopreno, las cuales descansan sobre los bancos de los cabezales, ofreciendo una mayor estabilidad y reduciendo las posibles tensiones que puedan generar los movimientos de la infraestructura.

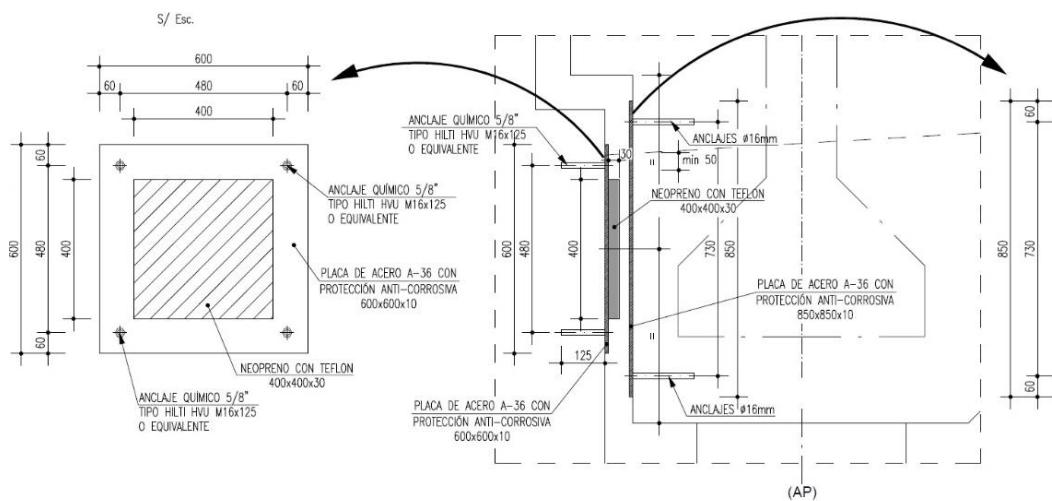


Figura 2.44 Placas y neopreno para tope sísmico transversal en PSV 19.01 y PSFC 21.01



Figura 2.45 Diafragma en estribo 2, apoyado en bancos y neopreno en PSV 19.01

2.3.1.9 Prelosas

Las prelosas son elementos estructurales fabricados en almacén, ver Figura 2.46. Para su fabricación, se utiliza concreto de alta calidad con un tamaño máximo de 10 mm y un revestimiento de 18 cm. Además, el concreto tiene una resistencia de 250 kg/cm², lo cual asegura que las prelosas puedan soportar las cargas exigidas sin comprometer su durabilidad o estabilidad.

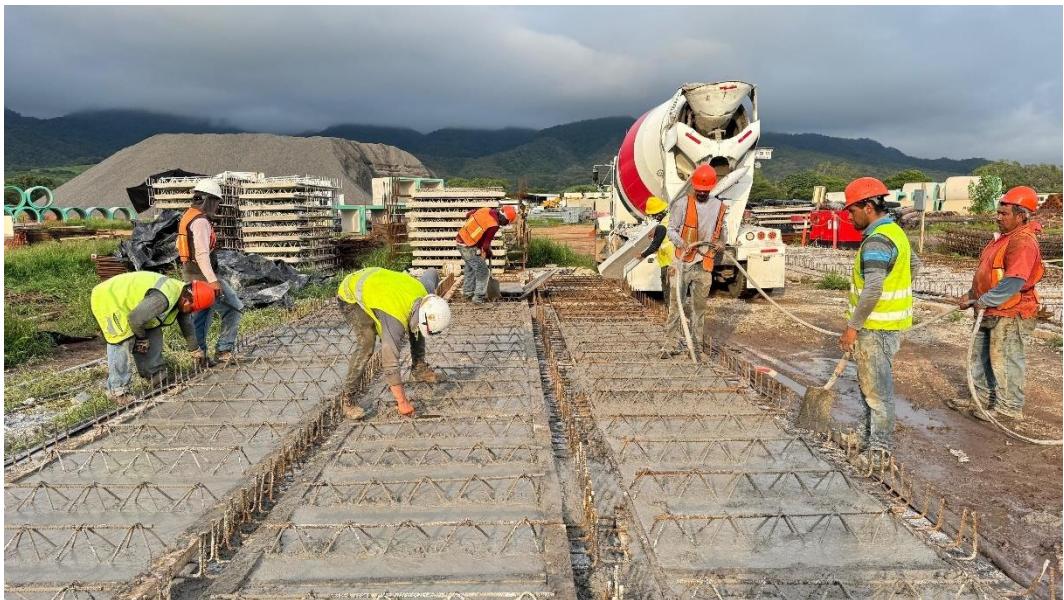


Figura 2.46 Colado de prelosas en almacén

Una vez que las trabes están correctamente instaladas en su lugar, se procede al montaje de las prelosas. Estas piezas son transportadas cuidadosamente al sitio de la obra, donde se colocan de forma precisa sobre las trabes, como se muestra en las Figuras 2.47 y 2.48, asegurándose de que estén perfectamente alineadas y adecuadamente apoyadas para garantizar una distribución uniforme de las cargas estructurales. Es fundamental que el proceso de colocación se realice con sumo cuidado, ya que esto asegura la estabilidad y la seguridad de toda la estructura.



Figura 2.47 Montaje de prelosas

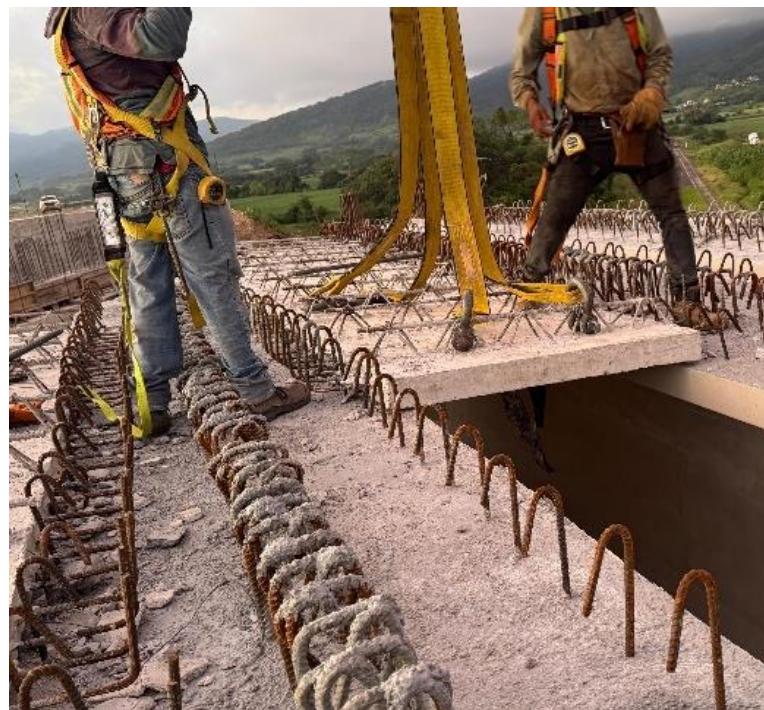


Figura 2.48 Colocación de prelosas

2.3.1.10 Losa tablero

Una vez montadas todas las trabes y prelosas, y completados en su totalidad los diafragmas, procedemos al siguiente paso del proceso constructivo que es el armado del acero de refuerzo de la losa tablero. Este proceso inicia desde uno de los costados del puente, siguiendo una estrategia de armado ordenada y eficiente. Para ello, se utilizará únicamente varilla recta en diferentes cortes, cumpliendo con las especificaciones del diseño estructural. La losa estará conformada por dos parrillas principales, una inferior y otra superior, las cuales deben ser aseguradas mediante un amarre completo al 100%, garantizando la estabilidad y resistencia estructural necesarias.

La topografía juega un papel fundamental en este proceso, ya que nos permite asegurar que los niveles de la losa sean los correctos a lo largo de toda su extensión. De esta manera, logramos una losa uniforme y perfectamente nivelada, tal como lo exige el proyecto. Este detalle es crucial para garantizar la calidad y funcionalidad del puente en condiciones reales de operación.

Asimismo, es imprescindible prever y colocar adecuadamente el acero proveniente de la losa tablero que será utilizado para las guarniciones. Este acero debe instalarse respetando las distancias y especificaciones establecidas en el proyecto, como se ilustra en la Figura 2.49. Con el objetivo de integrar las guarniciones de manera sólida y eficiente al conjunto estructural.



Figura 2.49 Armado de losa tablero en PTE 19.01

En el caso específico de las losas, se utilizaron dos métodos distintos para la colocación del concreto bombeable, dependiendo de las características del elemento y la longitud de la losa tablero. Una opción fue realizar el colado como una losa completa, mientras que la otra consistió en colar cada $1\frac{1}{3}$ de claro, seleccionando el método más adecuado según

las condiciones del proyecto. Esta flexibilidad en la ejecución permitió optimizar los tiempos y asegurar un mejor desempeño estructural y funcional de la losa.

Para la construcción de la losa tablero se procede a colocar concreto bombeable con una resistencia de 250 kg/cm² y un tamaño máximo de agregado de 20 mm. Durante la colocación del concreto, es indispensable vibrarlo adecuadamente a lo largo de todo el colado para garantizar una compactación uniforme, eliminar bolsas de aire y asegurar un adecuado recubrimiento del acero de refuerzo, como se muestra en la Figura 2.50.



Figura 2.50 Colado de la losa tablero en PTE 21.01

Una vez colocado el concreto, se realizó un acabado superficial empleando una flota para concreto tipo avión y un cepillo. Este procedimiento permitió obtener una textura rugosa en la losa, lo cual es indispensable para la posteriormente aplicar la capa de asfalto sobre la losa tablero. Este acabado rugoso mejora notablemente la adherencia de la capa de asfalto a la losa tablero asegurando un mejor desempeño de la superficie de rodamiento a largo plazo en comparación con una textura lisa.

2.3.1.11 Aleros

Una vez que se ha alcanzado el nivel de concreto terminado en la losa tablero, podemos avanzar con el armado con acero de refuerzo en los aleros de cada estribo. Este proceso, en la mayoría de los casos, resulta ser uno de los más ágiles y sencillos, siempre y cuando se cuenten con los niveles previamente establecidos y con las varillas correctamente posicionadas, provenientes tanto de los cabezales como de los diafragmas, como se muestra en la Figura 2.51.

Es imprescindible prever y colocar adecuadamente el acero de refuerzo proveniente de la losa tablero que será utilizado para las guarniciones. Este acero debe instalarse respetando las distancias y especificaciones establecidas en el proyecto, con el objetivo de integrar las guarniciones de manera sólida y eficiente al conjunto estructural.

Se coloca concreto bombeable con una resistencia de 250 kg/cm² y un tamaño máximo de agregado de 20 mm. Durante la colocación del concreto, es indispensable vibrarlo adecuadamente. Un detalle particular en esta fase del trabajo es la disposición de la cimbra, especialmente en la parte inferior de los aleros. Se deja instalada con el uso de polines, generalmente entre 2 y 3 días, los cuales actúan como soporte temporal como se muestra en la Figura 2.52. Esta medida permite que el concreto se endurezca correctamente, alcanzando la resistencia inicial requerida antes de retirar el soporte provisional.



Figura 2.51 Comienzo de armado de aleros



Figura 2.52 Colado de aleros

2.3.1.12 Guarniciones

En el caso del armado con acero de refuerzo para las guarniciones, es fundamental garantizar que este se encuentre perfectamente alineado, utilizando como apoyo herramientas de topografía que aseguren la precisión requerida. Este paso es clave para que las guarniciones cumplan con su función estructural y estética, integrándose correctamente al diseño general de la obra, Figura 2.53.

Además, es indispensable considerar cuidadosamente las juntas de construcción indicadas en el proyecto, ya que estas desempeñan un papel crucial en la distribución de esfuerzos y en la prevención de grietas o deformaciones futuras. La ubicación y disposición de las juntas deben ajustarse estrictamente a las especificaciones del diseño, asegurando así la durabilidad y estabilidad de la estructura.

Por otro lado, es importante atender la instalación de las placas metálicas para el parapeto, dejándolas exactamente como lo establece el proyecto. Como se aprecia en la Figura 53. Estas placas son elementos esenciales para la fijación de barandales o elementos de protección, por lo que deben colocarse con precisión, tanto en posición como en nivel, para evitar problemas durante las fases posteriores de la construcción.



Figura 2.53 Armado y colocación de placas metálicas para parapeto

Para las guarniciones se coloca concreto bombeable con una resistencia de 250 kg/cm^2 y un tamaño máximo de agregado de 20 mm. Durante la colocación del concreto, es indispensable vibrarlo adecuadamente.

2.3.1.13 Losa de acceso

Para llevar a cabo la construcción de la losa de acceso, el primer paso es nivelar el terreno de acuerdo con las especificaciones de la topografía, asegurándonos de que se logre la elevación precisa que nos permita proceder con el siguiente paso. A continuación, se debe compactar el terreno hasta alcanzar la densidad y estabilidad necesarias, tal como lo indica el proyecto. Con el terreno preparado y nivelado, se procede a crear una plantilla a nivel de concreto terminado. Para ello, se utiliza concreto simple y se emplea cimbra que servirá como molde para montar la plantilla de forma segura y precisa.

Una vez que la plantilla ha sido correctamente colocada y nivelada, se inicia el armado de la losa de acceso, junto con la construcción del muro de respaldo y el dentellón al final de la losa. Este muro se ubica estratégicamente, brindando soporte al diafragma, el cabezal y la losa tablero, con el propósito de proteger la estructura contra los impactos generados por los vehículos al ingresar al puente, tal como se observa en la Figura 2.54. En esta etapa, se procede con la colocación de concreto bombeable, cuya resistencia es de 250 kg/cm^2 , y se asegura que el tamaño máximo del agregado no supere los 20 mm, para cumplir con las especificaciones estructurales requeridas. Durante este proceso, es fundamental realizar una vibración adecuada del concreto como se muestra en la Figura 2.54.



Figura 2.54 Colado de losa de acceso, muro de respaldo y dentellón en PK-, PTE 20.01.

Capítulo 3. TERRACERIAS

El área de terracerías es bastante extensa, por lo que para realizar un trazo adecuado es fundamental contar con maquinarias especializadas como tractores, excavadoras, retroexcavadoras, cargadores, entre otras. Además, es importante contar con materiales de alta calidad que sean aptos para las diferentes capas que se deben ejecutar a lo largo de cada tramo, para esto contamos con la participación del equipo de laboratorio, el cual nos ayudara a conocer los tipos de material requeridos para cada fase de la obra.

El material necesario fue obtenido de dos fuentes principales. En primer lugar, se extrajo de los bancos de materiales generados durante el desarrollo del proyecto, lo que aseguró su calidad y disponibilidad en cada etapa. En segundo lugar, se aprovechó el material proveniente del mismo tramo, que se retiraba conforme avanzaba la apertura del camino, optimizando de esta manera los recursos disponibles.

La precisión en el trazo es un factor clave para el éxito de la obra, por lo que el apoyo de topografía en el marcaje de niveles y límites se considera esencial.

3.1 Terraplén (Compactable y No compactable)

El terraplén es la capa de material que se utiliza para llenar huecos o dar nivel al terreno, se coloca cuidadosamente para garantizar que se logren las características necesarias de resistencia y estabilidad en el tramo. El terraplén se constituye de dos maneras, compactable y no compactable.

3.1.1 No compactable

El material no compactable está compuesto por material rocoso de gran volumen, el cual requiere un manejo especializado para su correcta colocación. Este material debe ser acomodado y bandeado con la ayuda de un tractor D8 (36 toneladas), asegurando una distribución uniforme, como se muestra en la Figura 3.1. Es importante que las capas de este terraplén no superen los 75 cm de espesor para garantizar la estabilidad estructural del terreno.



Figura 3.1 Material no compactable, bandeado y acomodado

Para la liberación de esta capa, no se realiza una prueba técnica específica; en cambio, el proceso se valida mediante la inspección visual del acomodo y el bandeado, asegurándose de que se hayan ejecutado correctamente conforme a los estándares requeridos.

3.1.2 Compactable

El material compactable está compuesto por una mezcla de partículas finas y material grueso, con un tamaño máximo de 3 pulgadas. Para asegurar un nivel adecuado de compactación, este material requiere un manejo preciso y controlado durante su colocación. Debe ser tendido de manera uniforme utilizando una motoconformadora, garantizando que la distribución del material sea homogénea en toda el área. Una vez extendido, el material debe ser compactado con un rodillo vibratorio, el cual debe recorrer cada sección al menos tres veces, como se ilustra en la Figura 3.2. Este proceso asegura que se logre un grado de compactación mínimo del 90%, cumpliendo con las especificaciones técnicas para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura.



Figura 3.2 Acomodo de materia compactable

Un aspecto crucial de este proceso es la hidratación del material, ya que al tener su grado de humedad óptimo permite alcanzar su mayor grado de compactación y cohesión. Asimismo, es esencial que cada capa de este terraplén no supere los 30 cm de espesor, ya que un grosor mayor podría comprometer la uniformidad y la estabilidad de la compactación lograda.

3.2 Capa subyacente

El material subyacente se compone de partículas finas que cumplen con las especificaciones de laboratorio, garantizando las especificaciones del proyecto. Este material debe ser extendido de manera uniforme utilizando una motoconformadora compactado posteriormente con un rodillo vibratorio, asegurando un mínimo de tres pasadas sobre cada área para alcanzar un grado de compactación del 95%. Como se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Colocación y compactación de capa subyacente.

Un elemento clave en este proceso es la hidratación del material, ya que humedecerlo facilita alcanzar su máxima densidad y cohesión, optimizando los resultados de la compactación. Además, es imprescindible que cada capa no supere los 30 cm de espesor, ya que un grosor mayor podría comprometer la uniformidad, la calidad y la estabilidad del terraplén compactado.

3.3 Capa subrasante

El material subrasante está compuesto por partículas más finas que cumplen estrictamente con las especificaciones de laboratorio, asegurando el cumplimiento de los requerimientos técnicos del proyecto. Este material debe ser extendido de manera uniforme utilizando una motoconformadora compactado posteriormente con un rodillo vibratorio, realizando al menos tres pasadas sobre cada área para garantizar un grado de compactación del 98%. Como se muestra en la Figura 3.4.

Del mismo modo que las capas inferiores, la hidratación del material es un aspecto fundamental en este proceso, ya que humedecerlo permite alcanzar su máxima densidad y cohesión, optimizando significativamente la calidad de la compactación. Asimismo, es esencial que cada capa no exceda los 30 cm de espesor, ya que un grosor mayor podría afectar la uniformidad, la estabilidad y la resistencia del terraplén compactado.



Figura 3.4 Capa subrasante finalizada.

3.4 Base hidráulica

La base hidráulica está compuesta por fragmentos de roca sana, cuidadosamente seleccionados para garantizar su calidad y resistencia. Este material debe ser distribuido de manera uniforme sobre la superficie utilizando maquinaria especializada, como una motoconformadora, asegurando una distribución precisa en toda el área, Figura 3.5.

Posteriormente, se compacta la base utilizando un rodillo vibratorio, aplicando al menos tres pasadas sobre cada sección. Este proceso garantiza un grado de compactación del 98 %, cumpliendo con los estándares requeridos para proporcionar estabilidad y soporte estructural.



Figura 3.5 Distribución y compactación en base hidráulica.

Una vez que se verifica y aprueba el grado de compactación, se procede a realizar una aplicación rápida y uniforme de una capa delgada de cemento asfáltico líquido en caliente. De forma inmediata, se distribuye una fina capa de arena sobre la superficie. Como se muestra en la Figura 3.6. Este paso final tiene como objetivo proteger tanto la compactación lograda como la aplicación del cemento asfáltico, mejorando la durabilidad y resistencia de la estructura final.



Figura 3.6 Distribución de arena en base hidráulica

3.5 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica está compuesta por una mezcla homogénea de agregado pétreo y cemento asfáltico en caliente, preparada a una temperatura aproximada de 180 °C. Esta mezcla es transportada directamente desde una planta de asfalto mediante acarreos especializados hasta el lugar de aplicación, donde se coloca con una máquina pavimentadora que asegura una distribución uniforme a lo largo del ancho de la autopista. Como se ilustra en la figura 3.7. Durante esta etapa, la mezcla queda semicompatada, con una altura promedio inicial de 6 cm.

Posteriormente, se emplea un rodillo doble, específicamente diseñado para trabajar con mezcla asfáltica en caliente. Este equipo realiza al menos tres pasadas sobre cada sección, garantizando un grado de compactación del 98 %, como se muestra en la figura 3.7. Asegurando una superficie uniforme, resistente y adecuada para soportar el tránsito vehicular.



Figura 3.7 Colocación del material asfáltico y compactación de la primera capa de concreto asfáltico.



Figura 3.8 Primera capa de la carpeta de concreto asfáltico.

La carpeta asfáltica debe alcanzar un espesor final de 10 cm, por lo que se realiza en dos capas, cada una con un espesor de 5 cm, como se muestra en la Figura 3.8. Este método asegura una construcción en etapas que optimiza tanto la compactación como la durabilidad de la estructura final.

Capítulo 4. PRUEBAS DE LABORATORIO DEL TRAMO TEPIC – COMPOSTELA

El laboratorio en obra es un área fundamental donde se va verificando el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas de los materiales de construcción de la obra en la parte de las terracerías y estructuras. Donde se generan dictámenes, opiniones, estudios e informes referentes a la calidad de los materiales en obra.

El área de laboratorio cuenta con un coordinador que se encarga de generar los informes generales, los dictámenes y los reportes para auditorias, además, es el encargado de mover al personal técnico y supervisión de laboratorio. Se requiere de técnicos especializados en el área de concretos para poder realizar las pruebas de concreto hidráulico que se van produciendo. También, técnicos en el área de terracerías para la liberación de capas de correspondientes y liberación de material extraídos por sondeos.

Para poder determinar si el concreto es trabajable y cumple con las normas y especificaciones requeridas, se realizan las siguientes pruebas:

1. Muestreo del concreto fresco
2. Determinación del revenimiento del concreto fresco
3. Determinación de la temperatura del concreto fresco
4. Elaboración y curado de especímenes, cilindros y vigas de concreto hidráulico
5. Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto
6. Prueba de extensibilidad
7. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro

Para poder determinar y asegurar el comportamiento de las capas de pavimentos flexibles y rígidas, se debe de verificar la calidad para constatar el cumplimiento de las especificaciones de la obra, para esto se realizan las siguientes pruebas:

1. Muestreo de materiales para terracerías
2. Secado, disgrgado y cuarteo de muestras
3. Contenido de agua
4. Prueba de compactación
5. Granulometría de materiales compactables para terracerías
6. Límites de consistencia
7. Masa volumétrica seca del material en estado suelto
8. Valor soporte de California (CBR) y expansión (Exp)

4.1 Pruebas para concretos

En la sección de estructuras, los técnicos son responsables de verificar que se cumpla con los requisitos de resistencia a la compresión en los materiales utilizados en las obras estructurales, ya sea en proyectos de drenaje, puentes, PSFC, PSV o PIV.

Para garantizar que el concreto sea trabajable y cumpla con las normas requeridas, se realizan diversas pruebas, las cuales permiten evaluar sus propiedades y asegurar que el material se ajuste a las especificaciones técnicas necesarias para cada tipo de obra.

4.1.1 Prueba de revenimiento de concreto fresco

Es la primera prueba que se realiza y se encarga de asegurar que el concreto hidráulico cumpla con la trabajabilidad pedida. Para la prueba es necesario una placa metálica, Cono truncado de 20 cm de diámetro en la base, 10 cm de diámetro en la parte superior y una altura de 30 cm, varilla punta de bala, cucharon, esponja y flexómetro.

Esta prueba se lleva a cabo colocando la placa metálica en el lugar adecuado, es decir en una superficie horizontal, seguidamente se coloca el cono sobre la placa y pisándolo en los extremos ligeramente para asegurar su estabilidad. A continuación, se llena el cono de concreto dividiéndolo en tres partes. Para cada sección se coloca el concreto y se inserta la varilla punta de bala de forma vertical, comenzando desde el exterior hacia el centro en forma de espiral, realizando un total de 25 repeticiones. Este paso se repite para las tres secciones del cono.

Una vez que el cono está completamente lleno, se enraza el excedente de la mezcla y se retira lentamente en un tiempo aproximado de 5 segundos. Despues, se coloca el cono en un costado de la placa y se coloca la varilla encima de él. Finalmente, se toman las mediciones correspondientes verificando el asentamiento del concreto.

Para verificar el revenimiento del concreto existen 2 medidas y tolerancia, Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Revenimiento y tolerancia

REVENIMIENTO	TOLERANCIA
10 CM	± 2.5 CM
14 CM	± 3.5 CM

Normativa: *M-MMP-2-02-056-06*

Con base en las especificaciones de proyecto se consideró un revenimiento más, Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Complemento de revenimiento

REVENIMIENTO	TOLERANCIA
18 CM	± 3.5 CM

En la Figura 4.1 se presenta la ejecución de la prueba de revenimiento.



Figura 4.1 Prueba de revenimiento

4.1.2 Muestreo de concreto fresco

Esta prueba consiste en tomar una porción representativa de concreto fresco tal y como es entregado en la obra, además de la identificación de los moldes y transporte de las muestras.

Para realizar el muestreo es necesario 4 moldes de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro contando con una base de 18x18 cm, varilla de compactación punta de bala, desmoldante, mazo de goma, carretilla, chucharon y esponja.

Dependiendo de la cantidad de concreto pedido se realiza el número de muestreo basando en la Tabla 6 de frecuencia de muestreo de la norma M-MMP-2-02-055-06.

Tabla 4.2 Frecuencia de muestreo

Número de entrega	Número de muestras	
	Recomendado	mínimo Obligatorio
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 49	7	4
50 en adelante	9	5

El muestreo se realiza dividiendo el molde cilíndrico en tres secciones para la colocación del concreto. En cada sección, se coloca el concreto y se inserta la varilla punta de bala, comenzando desde el exterior hacia el centro en forma de espiral, realizando un total de 25

repeticiones por cada sección. Al finalizar, se utiliza un rasador para alisar la superficie, dejando un acabado uniforme y liso. Así mismo, es importante golpear ligeramente con el martillo de goma los cilindros metálicos en forma de vibrado durante el muestreo para evitar la presencia de burbujas de aire en la muestra, Figuras 4.2 y 4.3.



Figura 4.2 Muestreo de concreto



Figura 4.3 Vibrado de la muestra de concreto con martillo de goma

4.1.3 Determinación de temperatura de concreto fresco

Establece un método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco, es aplicable para verificar el cumplimiento de un requisito específico de la temperatura del concreto hidráulico.

Basándonos a la norma NMX-C-435-ONNCCE, el proyecto tiene un rango de temperatura de 10° grados, no se puede aceptar un concreto con una temperatura mayor a 32° grados o con una temperatura menor a 22°. Para esto utilizamos un termómetro colocándolo en la muestra representativa del concreto recién llegada a obra, Figura 4.4.



Figura 4.4 Toma de la temperatura de la muestra de concreto hidráulico

4.1.4 Elaboración y curado de especímenes de concreto hidráulico

Se realiza en un cuarto de curado instalado en el laboratorio de la obra, donde se ingresan los especímenes ya sean cilindros o vigas después de 24 horas de su realización.

Los especímenes cilíndricos se mantendrán en el cuarto de curado, Figura 4.5, hasta que sean retirados para la prueba de resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Se sacarán los cilindros en base al tiempo que indica la normativa: 7, 14 y 28 días, para verificar la resistencia específica que indica el proyecto. Normativa: NMX-C-160-ONNCCE-2004.



Figura 4.5 Cuarto de curado

4.1.5 Resistencia a la compresión de cilindros de concreto

El ensayo consiste en la determinación de la resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico, aplicable a los especímenes cilíndricos. Antes de realizar la prueba, es esencial que las caras de aplicación de carga estén libres de irregularidades, por lo que se procede a cabeceárlas con azufre para asegurar una superficie plana y uniforme, Figura 4.6. Posteriormente, los especímenes se ingresan en la máquina de ensayo, la cual proporciona los datos de carga a la compresión, permitiendo evaluar la resistencia del concreto hidráulico Figuras 4.7 y 4.8. Normativa: M-MMP-2-02-058-23.



Figura 4.6 Cabeceó de especímenes



Figura 4.7 Resistencia a la compresión



Figura 4.8 Resultado de la compresión

4.1.6 Prueba de extensibilidad (prueba de revenimiento)

Esta prueba consiste en una prueba de revenimiento para trabes. La cual consisten en el desplazamiento del concreto con un rango de $65\text{ cm} \pm 5\text{ cm}$.

Para realizar esta prueba, se coloca inicialmente una placa grande de acero como base. Posteriormente, se toma mezcla de concreto directamente de la olla y se vierte en el cono de revenimiento, el cual se coloca de manera invertida sobre la placa, Figura 4.9. El cono se llena cuidadosamente con concreto fresco, asegurándose de no generar burbujas de aire. Una vez lleno, se levanta el cono lentamente, observando el desplazamiento del concreto, lo que permite medir su trabajabilidad Figuras 4.10 y 4.11. Normativa: M-MMP-2-02-056-06.



Figura 4.9 Colocación del cono para prueba de extensibilidad



Figura 4.10 Prueba de extensibilidad



Figura 4.11 Medición de la extensibilidad del concreto

4.2 Pruebas para terracerías

En el ámbito de las terracerías, los técnicos son responsables de garantizar que se cumplan todos los requisitos establecidos en cuanto a materiales y liberaciones. Su tarea incluye la verificación y liberación de las diversas capas de terracerías y las secciones de pavimento, asegurándose de que cada uno de los elementos involucrados en el proceso esté en óptimas condiciones para avanzar con la obra.

Para poder determinar si una sección o capa específica cumple con los estándares y normativas aplicables, se realiza una serie de pruebas técnicas. Estas pruebas están diseñadas para evaluar las características de los materiales, la compactación de las capas y la resistencia para garantizar los aspectos de calidad.

4.2.1 Muestreo de materiales para terracerías

Esta prueba tiene como objetivo extraer una muestra representativa del material proveniente de los distintos bancos de materiales o, en su defecto, del propio tramo en construcción con el fin de someterla a un análisis detallado en laboratorio, Figura 4.12. El propósito principal de este proceso es verificar que el material extraído cumpla con las especificaciones técnicas y normativas requeridas para asegurar su conveniencia en la obra. Normativa: M-MMP-1-01/03.



Figura 4.12 Muestreo de materiales

4.2.2 Prueba de compactación

Esta prueba consiste en realizar una excavación en una capa de terracería o en una sección específica para obtener información precisa sobre el volumen y la densidad seca del material presente en la capa. Durante el proceso, ya se tiene que conocer la humedad con la que se compacta este material, lo cual es fundamental para calcular el grado de compactación que presenta la capa o cualquier sección. Este análisis es esencial para verificar su grado de compactación, Figuras 4.13 y 4.14.

Además, el contenido de agua en el material es un factor determinante, ya que influye directamente en las características de compactación y en la capacidad del material para soportar las cargas que se le aplicarán una vez que la obra esté en funcionamiento. Normativa: *M-MMP-1-10/19*.



Figura 4.13 Excavación para la prueba de compactación



Figura 4.14 Prueba de compactación

4.2.3 Contenido de agua

Este procedimiento consiste en determinar el contenido de agua o humedad presente en la muestra de material. Para llevar a cabo esta medición, se utiliza un equipo especializado que incluye una parrilla, una placa de vidrio y una báscula de alta precisión.

El proceso implica pesar la muestra antes y después de someterla al calor del horno, lo que permite la evaporación de la humedad contenida en el material. Al obtener la diferencia de peso, se calcula con exactitud el contenido de agua presente en la muestra, Figuras 4.15 y 4.16. Normativa: M-MMP-1-04/03



Figura 4.15 Secado del material



Figura 4.16 Prueba de contenido de humedad

4.2.4 Granulometría de materiales:

Este procedimiento tiene como objetivo determinar la distribución del tamaño de las partículas que componen la muestra de material sacada de los bancos. Para ello, se toma una cantidad representativa de material y se somete a un proceso de cribado mediante un juego de tamices de diferentes tamaños. Cada tamiz está diseñado para retener material de cierto tamaño de partícula, permitiendo separar el material según su granulometría.

Durante este proceso, el material se pasa a través de los tamices, y se recoge y pesa el material retenido en cada uno de ellos. Esta separación y medición de las fracciones de material permiten obtener una curva granulométrica que describe la distribución de los tamaños de las partículas dentro de la muestra, Figuras 4.17 y 4.18. Esta información es crucial, ya que la correcta distribución del tamaño de los agregados influye en las características de compactación, estabilidad y resistencia del terreno que se está construyendo. Normativa M-MMP-1-06/03.



Figura 4.17 Tamizado del material



Figura 4.18 Prueba de granulometría

4.2.5 Masa volumétrica seca del material en estado suelto

Esta prueba consiste en sacar la relación masa-volumen en diferentes condiciones de acomodo, sacando el volumen de los materiales para terracerías. Ocupándolo en pruebas de calas con diferencia de masas y pesos volumétricos.

Existen 4 diferentes pruebas según la normal, A, B, C, y D. En este caso, realizaremos la prueba D (modificado).

Primero, es necesario eliminar la humedad del material. Después, el material debe ser desgregado, eliminando todas las piedras posibles. Luego, debe pasarse por una malla de 3/4" o 16". En un área con espacio suficiente, se forma un cono en el piso, distribuyendo el material de manera circular. Finalmente, el material se divide en 4 partes.

Toma una porción del material (preferiblemente la menos movida) y colócala en una charola. Utilizando el cilindro especial para la prueba, pesa el cilindro vacío y tara el peso, lo que te ayudará a conocer su masa. Luego, comienza a verter el material poco a poco en el cilindro. Llena el cilindro con el material seco y, a continuación, pesa el conjunto.

Añade el material en pequeñas cantidades y, con el pisón, realiza 56 golpes en forma de cruz (humedeciendo el material poco a poco). Después, realiza golpes alrededor hasta llegar al centro. Este proceso se repite para un total de 5 capas, asegurándose de que haya una separación máxima de 2 centímetros entre cada capa. Después de compactar cada capa, raspa la superficie para asegurarse de que quede nivelada. Es importante pesar el material en cada capa para registrar su masa.

Una vez que se haya preparado el espécimen, debe extraerse cualquier humedad restante. El proceso debe repetirse para cada espécimen de manera similar.

Una vez que se hayan registrado los datos correspondientes a cada pisón durante el proceso de compactación, se procede a calcular la masa volumétrica seca. Este cálculo se realiza mediante fórmulas específicas que toman en cuenta las mediciones obtenidas de cada capa compactada, como el peso del material, el volumen del cilindro utilizado y el contenido de humedad del material.

El equipo para su ejecución será una báscula, cucharon, escantillón, regla y recipiente de agua, Figuras 4.19 y 4.20 . Normativa M-MMP.1.08/03.



Figura 4.19 Homogenización de la muestra de suelo



Figura 4.20 Obtención de la masa volumétrica seca suelta

4.2.6 Valor soporte de California (CBR):

Esta prueba permite saber la expansión por saturación de agua de los materiales para terracería, un valor alto de CBR indica un suelo fuerte, mientras que un valor bajo indica un suelo débil o poco resistente.

Para sacar CBR, se selecciona una muestra representativa del suelo y se prepara en un molde cilíndrico. La muestra se compacta en el molde usando un número específico de golpes de un compactador. Para obtener resultados más representativos, se puede saturar la muestra con agua hasta alcanzar un contenido de humedad específico o simular condiciones de saturación.

La muestra compactada se coloca en una máquina de penetración, que tiene un pistón. Se realiza una penetración del pistón en el suelo a una velocidad constante, generalmente por segundo. Se mide la profundidad que alcanza el pistón bajo cargas incrementales. Se comparan las fuerzas necesarias para penetrar la muestra con las fuerzas necesarias para penetrar un material de referencia (normalmente una muestra de grava estándar).

El CBR se calcula mediante una fórmula, tomando la relación entre la carga que provoca una penetración determinada en el suelo en prueba y la carga necesaria para provocar la misma penetración en el material de referencia.

La fórmula es:

$$\text{CBR} = (\text{Carga del suelo} / \text{Carga de referencia}) \times 100$$

Normativa: M-MMP-1-11/16



Figura 4.21 Realización de valor de soporte california (CBR)



Figura 4.22 Aplicación de fuerza para valor soporte california (CBR)

4.2.7 Límites de Consistencia.

Esta prueba permite conocer las características de liquidad, plásticas y de plasticidad de los materiales, donde el resultado principalmente se utiliza para la identificación y clasificación de los suelos.

Se toma una muestra representativa del suelo que será sometida a las pruebas.

Determinación del límite líquido (LL): Se realiza la prueba con el aparato de Casagrande, siguiendo el procedimiento establecido para obtener el límite líquido de la muestra.

Determinación del límite plástico (LP): Se toma otra porción de la muestra, se amasa y se forma un hilo, determinando el contenido de agua cuando este ya no puede ser formado sin que se rompa.

Cálculo del índice de plasticidad (IP): Se calcula la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Interpretación de resultados: Los resultados obtenidos son utilizados para clasificar el suelo y entender su comportamiento ante diferentes condiciones de humedad. Estos valores ayudan a definir la capacidad de carga del terreno, la facilidad para compactar el suelo, y su idoneidad para diferentes aplicaciones en terracerías.

El equipo para la ejecución consiste en una malla N°40, copa de Casagrande, báscula, horno y placa de vidrio. Normativa M-MMP.1.07/07.



Figura 4.23 Pruebas representativas para límites de consistencia



Figura 4.24 Determinación de límite líquido (LL)

Capítulo 5. CONCLUSIÓN Y COMENTARIOS

5.1 Conclusiones y comentarios

En conclusión, el proceso constructivo llevado a cabo en cada una de las estructuras y en cada tramo de terracería fue ejecutado siguiendo los más rigurosos parámetros técnicos y estándares de calidad, aplicados por el equipo responsables de cada área. Cada fase del proyecto se abordó con cierto enfoque, atendiendo aspectos específicos de cada uno de los trabajos.

El tramo de 11 kilómetros que abarca desde el puente 17.01 hasta el puente 26.01 fue ejecutado con éxito, cumpliendo de manera integral con todos los plazos y objetivos establecidos desde el inicio del proyecto. Este logro no solo refleja el compromiso y la dedicación del equipo, sino también la sólida planificación y el esfuerzo coordinado entre todos los involucrados de las distintas áreas de la obra. A lo largo de todo el proceso, se implementaron estrategias precisas para asegurar que cada una de las fases se desarrollara sin contratiempos, lo que permitió que todos los frentes de trabajo se completaran de manera eficiente. Este enfoque no solo garantizó la ejecución dentro de los tiempos previstos, sino que también permitió mantener altos estándares de calidad en cada aspecto de la construcción, respetando tanto los requisitos técnicos como las normativas vigentes. El cierre exitoso de este tramo demuestra la capacidad de adaptación y la excelente organización del equipo, lo que resultó en una obra que no solo se completó a tiempo, sino que también cumplió con todas las expectativas en términos de calidad y seguridad.

Como comentario, puedo afirmar que este proyecto ha sido una experiencia invaluable que me ha permitido adentrarme de manera significativa en el mundo de la obra, ofreciéndome una visión amplia sobre la realidad del sector de la construcción. A través de la participación en la construcción del tramo de la autopista Tepic – Compostela, he logrado obtener una comprensión más profunda y clara de los diversos aspectos involucrados en el proceso constructivo, abarcando desde las fases iniciales de diseño hasta la ejecución final de la obra.

Esta experiencia no solo me ha permitido adquirir un conocimiento más sólido sobre los desafíos y las soluciones técnicas propias del campo, sino que también ha fortalecido mi confianza al enfrentarme a la ejecución de aspectos estructurales clave. Además, he comprendido en mayor medida la enorme responsabilidad que recae sobre los ingenieros civiles, quienes deben garantizar la seguridad, la calidad y el cumplimiento de los plazos establecidos en cada proyecto. Sin lugar a duda, este proyecto ha sido una oportunidad única para consolidar mis habilidades profesionales y para afianzar mi compromiso con la excelencia en el ámbito de la ingeniería civil.

5.2 REFERENCIAS

- Secretaría de comunicaciones y transportes. (2006). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Revenimiento de concreto fresco (M-MMP-2-02-056-06)*.
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2006). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Prueba de muestreo de concreto fresco (M-MMP-2-02-055-06)*.
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2023). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto (M-MMP-2-02-058-23)*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2004). *Manual de métodos de prueba: Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto (NMX – C – 160 – ONNCCE – 2004)*
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2004). *Manual de métodos de prueba: Determinación de la temperatura del concreto fresco (NMX-C-435-ONNCCE)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2003). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Muestreo de material (M-MMP-1-01/03)*.
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2019). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Grado de compactación (M-MMP-1-10/19)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2003). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Contenido de agua (M-MMP-1-04/03)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2003). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Granulometría para materiales Compactables (M-MMP-1-06/03)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2003). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Masa volumétrica y coeficiente de variación volumétrica (M-MMP-1-08/03)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2007). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Límite de consistencia (M-MMP-1-07/07)*
- Secretaría de Comunicaciones y transportes. (2016). *Métodos de muestreo y pruebas de materiales: Valor Soporte de California (CBR) y expansión (Exp) en laboratorio (M-MMP-1-11/16)*

- *Libro 2- Normas de Servicios Técnicos, Titulo 2.01.01 –Proyecto Geométrico de Carreteras, Edición: 1984, secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT).*
- Del Avellano, C. (s. f.). MEXPRESA. Christina del Avellano. https://www.mexpresa.com/productos/vigas_p.php#aashto
- (sener, 2023). *MOTA-ENGIL México CARRETERA TEPLIC – PUERTO VALLARTA TRAMO TEPLIC - COMPOSTELA* (P0M10186).
- (*SENER, documentación privada, 12 de marzo de 2023*)