

OBRAS PÚBLICAS

ÓRGANO DE DIFUSIÓN DE LOS PROFESIONALES DEL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS



VIALIDAD

EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN OBRAS CAMINO BÁSICO INTERMEDIO

VIALIDAD

REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL: EL NUEVO PARADIGMA A TRANSITAR

VIALIDAD

PILOTES PREEXCAVADOS PARA PUENTES EN CHILE.

Productividad asegurada con
la nueva TrafficJet™ Xpress.

**Superamos las expectativas
mucho más rápido de lo que imaginas.**

- ✓ Menos consumo de energía
- ✓ Laminación instantánea después de la impresión
- ✓ Tecnología con tintas UV-LED True Traffic Color
- ✓ Proceso de mantenimiento simplificado
- ✓ Garantía de hasta 12 y 15 años para películas reflectivas tipo IV y XI con OL-1000 Protección UV y Anti-Graffiti
- ✓ Sobrelaminados de protección para limpieza de Graffiti o Anti-rocío
- ✓ Sistema de impresión certificado, de acuerdo a Especificación de Manual de Carretera



Garantiza la calidad de tus señales
viales con la nueva TrafficJet™ Xpress.

Contáctanos para obtener más información.
deborah.vergara@averydennison.com | +56 9 7210.2045



EDITORIAL

Obras Públicas es un Ministerio con un inmenso rol no sólo en la infraestructura del país, sino que es una fuente de constante aprendizaje y conocimiento. Por ejemplo, la operatividad en Vialidad, la ingeniería en estado de desarrollo constante; las formas de aplicación de las diferentes técnicas en asfaltos, hormigones, tecnología de última generación en construcción de puentes, siempre pensando en la seguridad del usuario, usuaria.

Cabe señalar, al respecto de pilotes pre-excavados para fundación de puentes en Chile tenemos que los pilotes pre-excavados son ejecutados mediante extracción parcial o total del suelo y hormigonados "in situ". Este tipo de pilotes constituye una de las soluciones clásicas de cimentación o fundaciones especiales. Puede utilizarse como elemento de fundación, permitiendo transferir grandes cargas al terreno, o como elemento vertical en estructuras de contención de suelos. Su diseño permite soportar combinaciones de esfuerzos verticales, horizontales y momentos flectores, como por ejemplo en las fundaciones de puentes, edificios o como elemento vertical de un muro de contención.

En este número también contamos con un artículo de Estabilización de caminos básicos vecinales con bajas dosis de cemento. Una solución que amortiza varios problemas que surgen derivados de la aplicación de pavimentos básicos con carpetas asfálticas económicas y otras formas de este tipo, como fueron en un principio las imprimaciones reforzadas. Estabilización de caminos básicos económicos con bajas dosis de cemento es una modalidad que ha dado buenos resultados sobre todo en condiciones rurales, en países como Perú por ejemplo, en zonas en que los caminos se inundan debido a las lluvias.

La actualización de normas de mecánica de suelos tiene varios cambios importantes. Uno de ellos es que se incorpora dentro de los tipos de estudios de suelos la categoría: "Estudio para edificaciones existentes", dada la necesidad de confirmar o evaluar las condiciones geotécnicas del terreno sobre el cual ya existe un proyecto. El cambio más relevante corresponde a la cantidad de puntos de exploración y sus profundidades mínimas indicadas en el Anexo A.

Y por último, el Plan de Sucesión institucional que está llevando a cabo el Departamento de Capacitación de la Subdirección de Gestión, Desarrollo de Personas y Administración de la Dirección de Vialidad, junto a la Unidad de Gestión del Conocimiento, la transmisión del conocimiento de generación en generación, está adquiriendo alta importancia, profesionales formados durante el desarrollo del conocimiento adquirido a prueba de práctica y experiencia y la investigación de largos años. La Dirección de Vialidad ha sido el eje principal del Mop en la innovación de diferentes procesos constructivos de ingeniería. Estos procesos en la actualidad están siendo llevados a nivel científico por sus profesionales y jefaturas.

NELLY SALAS VARGAS

Directora

ÍNDICE

REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL: EL NUEVO PARADIGMA A TRANSITAR	6
ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS BÁSICOS CON BAJAS DOSIS DE CEMENTO.	10
IMPORTANTE ACTUALIZACIÓN DE NORMA DE MECÁNICA DE SUELOS PARA CHILE	14
EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN OBRA CAMINO BÁSICO INTERMEDIO RUTA Q-689	18
PILOTES PREEXCAVADOS PARA FUNDACIÓN DE PUENTES EN CHILE	24
INNOVACIÓN EN JUNTAS DE DILATACIÓN PARA PUENTES: EXPERIENCIA POLYSET COLOMBIA Y APLICACIÓN EN CHILE ..	33
EL PLAN DE SUCESIÓN INSTITUCIONAL: CONSTRUYENDO EL FUTURO DE LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD	36

67 Octubre – Noviembre – Diciembre 2024



Foto Portada:
Dpto. de Comunicaciones
Dirección de Vialidad

CRÉDITOS

DIRECTORA

Nelly Salas Vargas

Ingeniero Ejecución

Jefa Subdpto. Publicidad Caminera

Dirección Nacional de Vialidad

SUBDIRECTOR

Claudio Cortés Valdería

Ingeniero Civil

Jefe Dpto. de Conservación y

Administración Directa D.V.R.M.

COMITÉ EDITORIAL

Herman Augusto Torres

Ingeniero Civil

Coordinador Nacional de Proyectos de Riego

Dirección de Obras Hidráulicas.

Jaime Campos Canessa

Ingeniero Civil

Jefe de Dpto. de Seguridad Vial

David Cortés Cortés

Constructor Civil

Jefe (S) Dpto. Puentes - Dirección Nacional de Vialidad

Alberto Calatroni Vásquez

Geógrafo

Unidad de Gestión Ambiental y Territorial

Mauricio Ortiz Orden

Jefe de Unidad de Conservación

y Administración Directa -

Dpto. de Construcción DAP.

PRODUCCIÓN Y EDICIÓN:

EDIPUBLI SPA

Teléfono. 993794213 / administracion@revistaobraspublicas.cl / Santiago - Chile

www.revistaobraspublicas.cl

Los artículos contenidos en esta revista pueden ser reproducidos, haciendo mención de la fuente y fecha de publicación. Los artículos son de exclusiva responsabilidad de quienes los escribe, y no comprometen la opinión técnica o de otra índole de las autoridades del Ministerio de Obras Públicas, ni tampoco a la Dirección y Consejo Directivo de la Revista Obras Públicas.

KRINGS CHILE SOLUCIONES INTEGRALES EN ENTIBACIONES METÁLICAS

Amplia gama de productos que se adecuan a cada necesidad, para una protección óptima de excavaciones.

- Sistemas de cajones KS-60 (bajas profundidades)
- Sistemas de cajones KS-100
- Sistemas de guías deslizantes (profundidades mayores)
 - Sistema corredera
 - Sistema paralelo
 - Sistema esquinero para pozos, cámaras y plantas elevadoras



EXPERIENCIA · RAPIDEZ · SEGURIDAD · EFECTIVIDAD

www.krings.cl • email: contacto@krings.cl • +56 9 9434 5294

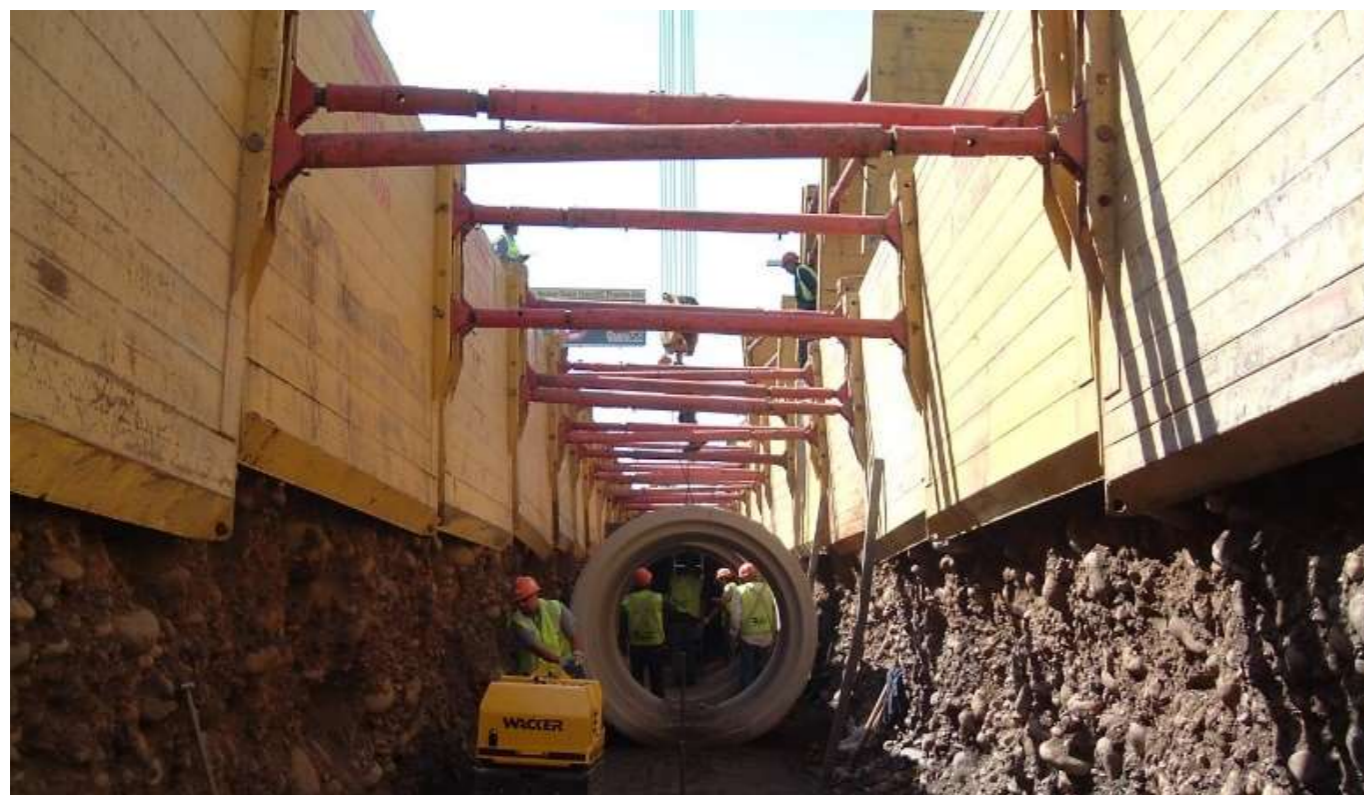
BODEGA: Portezuelo, Parcela 1 A lote 3, Colina • Fono: 2 2745 5424

CASA MATRIZ: Américo Vespucio Norte 2.700, Of. 204, Vitacura • Fono: 2 3263 2489



Entibaciones metálicas

Seguridad, Eficiencia y Calidad en excavaciones



Las entibaciones metálicas son estructuras diseñadas para brindar soporte y estabilidad a las excavaciones durante trabajos de construcción, minería u otras actividades que involucran la manipulación de suelos. Su importancia radica en varios aspectos:

Seguridad del personal: Las entibaciones metálicas proporcionan un entorno de trabajo seguro al prevenir colapsos o deslizamientos de tierra que puedan poner en peligro la vida de los trabajadores. Al mantener las paredes de la excavación estables, se reducen significativamente los riesgos de accidentes graves.

Protección de propiedades adyacentes: En áreas urbanas o cercanas a infraestructuras, el uso de entibaciones metálicas ayuda a prevenir daños a propiedades vecinas,

como edificios, carreteras o servicios públicos, debido a posibles derrumbes o deslizamientos de tierra.

Optimización de tiempo y recursos: Al evitar contratiempos causados por colapsos inesperados, las entibaciones metálicas permiten que los proyectos de excavación avancen de manera más eficiente y dentro de los plazos establecidos, reduciendo costos asociados con retrasos y reparaciones adicionales.



www.krings.cl

Control de la calidad del trabajo: El uso de entibaciones metálicas garantiza un control más preciso sobre las dimensiones y la estabilidad de la excavación, lo que contribuye a la calidad general del proyecto. Vital en trabajos que requieren tolerancias estrechas o condiciones específicas del suelo.

En resumen, las entibaciones metálicas desempeñan un papel crucial en la seguridad, eficiencia y calidad de los proyectos de excavación, ofreciendo una solución confiable y adaptable para mantener la estabilidad de las paredes de las excavaciones en variadas condiciones y entornos.

Krings Chile: Líderes en Entibaciones

Experiencia, experticia técnica y compromiso total con sus clientes



Krings Chile se destaca como la elección preferida para aquellos que buscan arrendar o comprar entibaciones en el mercado. Su reputación como líder en el sector se fundamenta en una vasta experiencia respaldada por años de servicio excepcional. La confianza depositada en Krings Chile se basa en su historial comprobado de soluciones confiables y de calidad en cada proyecto.

Además, su compromiso con el apoyo continuo a los clientes y sus obras asegura un servicio integral, brindando asesoramiento experto y acompañamiento durante todo el proceso. Con Krings Chile, los clientes pueden estar seguros de que están eligiendo la excelencia en entibaciones, respaldada por su dedicación a satisfacer sus necesidades y superar sus expectativas.



www.krings.cl

REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL: EL NUEVO PARADIGMA A TRANSITAR

Por: Pablo Ibáñez González
Departamento de Medio Ambiente y Territorio - Dirección de Vialidad

INTRODUCCIÓN

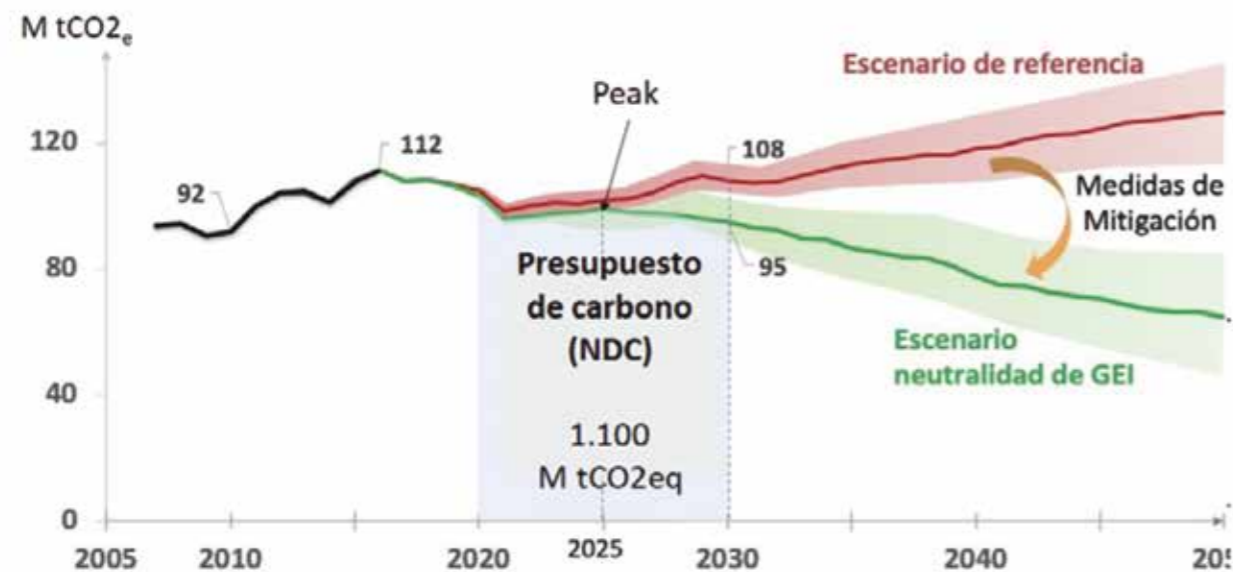
Los estudios internacionales referidos al cambio climático y a los efectos sobre las actividades productivas, asentamientos humanos, infraestructura, biodiversidad, etc., han determinado una serie de compromisos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que se inician en la cumbre de río y que se materializan a nivel nacional en el Protocolo de Kioto (DS 349/2005) y el Acuerdo de París (DS 30/2017), ambos del Ministerio de Relaciones Exteriores.

Los compromisos internacionales de nuestro país, se han traducido en una serie de normas, políticas

y leyes, dentro de las cuales son de particular interés, la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NCD), la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), los Planes Sectoriales de Adaptación y Mitigación, y La Ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455).

En la NDC se estableció como meta la reducción del 30% de las emisiones GEI por unidad de PIB al año 2030 (ver Ilustración 1), mientras que en la ECLP se establecieron las contribuciones sectoriales y componentes de integración.

En el marco de dichos requerimientos, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) elaboró el denominado Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022,



el cual se encuentra actualmente en proceso de actualización.

En dicho Plan, se definieron 3 ejes (adaptación, mitigación y gestión del conocimiento), aportando cada una de las Direcciones del MOP, con una serie de iniciativas para contribuir a su concreción.

En este sentido, la Mitigación entendida como la "intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero" (IPCC, 2014), se encuentra representada en el objetivo 2 del Plan, que contempla "Propender hacia la construcción de las obras de infraestructura MOP baja en carbono".

Para la concreción de dicho objetivo, se establecieron una serie de medidas, entre las cuales se cuentan:

- Incorporación de Energías Renovables No Convencionales (ERNOC) en el desarrollo de infraestructura pública MOP
- Medición y gestión de la Huella de Carbono en las obras de infraestructura y edificación pública que ejecuta el MOP
- Reducción de GEI en la maquinaria del MOP.
- Calcular la HdC en la fase de construcción de las obras.
- 2022 contar 35% de cartera MOP que incorporen en licitaciones medición y gestión de HdC

Si bien se han efectuado avances en diversas medidas, algunas de ellas presentan un rezago importante, por lo que en el proceso de actualización del Plan se espera establecer medidas que permitan avanzar hacia el cumplimiento de los objetivos planteados.



Por otro lado, durante los años de implementación del citado Plan y al alero del proceso de actualización del Vol. 9 del Manual de Carreteras; de los Requisitos de Sustentabilidad para Estudios de Ingeniería; de los Instrumentos de Gestión Ambiental para Obras y de las adecuaciones orgánicas, la Dirección de Vialidad ha comenzado a transitar hacia el camino de medición y de la reducción de emisiones GEI.

En el presente documento, se da cuenta de parte de esos avances, los cuales aportarán al cumplimiento de las metas de la Estrategia Climática de Largo Plazo para lograr la Carbono Neutralidad de Chile al año 2050.

AVANCES EN RELACIÓN A LA HUELLA DE CARBONO

Como es de público conocimiento, para la ejecución de un proyecto vial se requiere de una serie de materiales de construcción y elementos (productos), los cuales son solicitados en las partidas que

conforman los requisitos y cubicaciones expuestas en las Bases de Licitación.

Entre los materiales principales, se cuentan los áridos, que representan aproximadamente el 80% del hormigón y el 95% de los morteros y aglomerados asfálticos, los imprimantes, el asfalto, el cemento, el acero, la madera, los geotextiles, etc., además de diversas estructuras prefabricadas (tubos de acero corrugado, HPDE, alambre, señales, tachas, luminarias, defensas camineras, postes, etc.).

Hasta la fecha, los materiales y productos han sido analizados desde el punto de vista de sus requerimientos constructivos (composición, resistencia, durabilidad, calidad, comportamiento, etc.), para lo cual se utilizan normas internacionales como la ASHTO y se efectúan diversos ensayos y modelaciones, donde el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV), ha cumplido un rol fundamental.

No obstante lo anterior, los materiales y productos

no han sido analizados o seleccionados, salvo algunas excepciones, tomando como criterio diferenciador, los impactos ambientales que éstos generan o su huella de carbono.

A pesar de lo anterior, durante el año 2023 se han realizado importantes avances al respecto, estableciendo requisitos de entrada para algunos proyectos de construcción.

En efecto para los puentes La Marquesa en Coquimbo y Rubens en Magallanes, se incluyó dentro de las Bases de Licitación, un requisito referido a que las enfierraduras (barras de refuerzo), las cuales deberán ser con al menos un 80% de acero reciclado y que dichos elementos debían contar con Declaración Ambiental de Producto (DAP).

Asimismo, se estableció como requisito que las mallas de armadura debían estar realizadas con al menos un 65% de acero reciclado, indicando además que debía certificarse el origen (virgen o reciclado), de todos los elementos metálicos que se utilicen en los citados proyectos.

Por otro lado, para el caso de los Estudios de Ingeniería, a fines del 2023 se incorporó un nuevo "Estudio Base" en los Estudios Ambientales Territoriales (IAT), cuya finalidad es estimar la Huella de Carbono en la etapa de diseño, incluyendo Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Eso permitirá implementar los requisitos de las Normas ISO 14.025, EN15.804 y EN15.978.

Dichos avances pretenden facilitar la incorporación creciente de requisitos para reducción de emisiones en los proyectos viales y aportar de manera directa a la al presupuesto de carbono del MOP.

Adicionalmente se están postulando dos estudios básicos, el primero para establecer una metodología para la medición de la Huella de Carbono en proyectos Viales, y el segundo referido a una recopilación del estado del arte de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de los materiales de construcción y elementos utilizados en las obras viales en Chile, el cual incluye actividades que permitan promover la medición de la DAP en productos prioritarios para la DV.

Por último, el Laboratorio Nacional de Vialidad se encuentra iniciando un proceso para medir la huella de carbono de los diversos ensayos que realiza, con el fin de establecer la contribución de estas actividades a la huella de carbono.

Asimismo, pretende medir la huella de carbono operacional del recinto ubicado en la comuna de La Florida, con el fin de implementar medidas de reducción de gases GEI.

Por último, a partir de la creación de la Mesa de Sustentabilidad y Resiliencia de la DV, recientemente creada, se pretende incentivar el desarrollo de mediciones de unidades funcionales o declaradas, que puedan extrapolarse para diversas zonas.

La citada Mesa comenzará a sesionar a partir de enero del 2024.

CONCLUSIONES

Actualmente la Dirección de Vialidad se encuentra avanzando en la implementación de estudios, actividades, requerimientos para la medición de la huella de carbono, tanto en proyectos, como en la operación de algunas de algunos de sus recintos.

Estas actividades y acciones, pretenden dar una señal a la industria de la construcción, de manera de lograr obras de infraestructura vial bajas en carbono y antecedentes locales de primera fuente, que permitan estimar más precisamente la huella de carbono de las obras viales.

El esfuerzo sistemático relacionado con esta temática, permitirá aportar a la medida 14 del Plan de Acción MOP, referida a Medición y Gestión de la Huella de Carbono en las obras de infraestructura y edificación pública.

Por otro lado, considerando la importancia que le ha dado el Estado a la "climatización de las Políticas Públicas", vale decir a la incorporación de la variable cambio climático en diversas normas, planes, leyes, modificaciones legales, etc., se considera que el avance en estos aspectos, corresponde a un nuevo paradigma en el cual deberá avanzarse aceleradamente en los próximos años.

ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS BÁSICOS CON BAJAS DOSIS DE CEMENTO

Por: Gabriel Palma Papic - Jefe Área Geotecnia
Departamento de Laboratorio Nacional de Vialidad - Dirección de Vialidad - Ministerio de Obras Públicas

La estabilización de suelos con cemento en caminos de toda categoría es muy utilizada en regiones con escasez de gravas en todo el mundo. En Chile se usó esta técnica con costos altos y resultados variables, principalmente debidos a las altas dosis especificadas

(5% mínimo). Con el tiempo la estabilización con cemento fue casi abandonada por completo, prefiriéndose el uso de granulares no ligados de alta especificación. Con la llegada de otros estabilizadores, esta técnica no volvió a ser considerada como



■ Secuencia constructiva tradicional (no se muestra la humectación tras la revoltura). La Vega-Alicahue, construido por Administración Directa Región de Valparaíso, agosto 2022.

alternativa válida para la corrección de materiales marginales, mejoramiento de sub-rasantes débiles o el refuerzo de capas granulares, por fallas prematuras debidas al uso de altas dosis de cemento.

La técnica ha seguido en uso con desarrollos en Chile y el resto de mundo. La solución ha vuelto reformulada con mayor conocimiento de las posibilidades técnicas del material, métodos constructivos y diseño. Cabe destacar la labor de los Ingenieros Carlos Guzmán J., Guillermo Thenoux Z. y Álvaro González V., quienes han hecho importantes contribuciones al uso y difusión de esta alternativa.

El cemento como aglomerante hidráulico tiene varias ventajas entre las que se pueden citar: alta disponibilidad, proveedores locales, precio moderado, inocuo con el medio ambiente y altamente reciclable. Como desventajas están: altas emisiones de CO₂ en su elaboración, transporte y colocación, alto peso propio, alta demanda de energía para la homogeneización con el suelo y el agua, tiempos acotados para colocar y compactar, no se puede colocar con lluvia o frío intenso, debe mantenerse la humedad durante el curado.

En los países donde se usa el mejoramiento con cemento de la sub-rasante se aplican dosis crecientes con el contenido de finos que van del 1% al 16%. Como referencia, un hormigón con áridos limpios tiene dosis entre 14% y 21%. En las mezclas de suelo sucio con cemento se observa que es imposible alcanzar las resistencias de un hormigón preparado con la misma dosis de cemento, evidenciando el fuerte efecto negativo de los finos plásticos presentes en el suelo. La retracción producto del fraguado del cemento

sigue presente y agrieta la capa estabilizada aún antes de ser dada al tráfico. La fragilidad del material estabilizado es alta, medida como deformación a la falla varía de 0,1% a 0,5% para un amplio rango de dosis. Todo lo anterior hace que un diseño a la flexotracción de un suelo sucio con cemento conduzca a espesores del doble o más que el mismo en hormigón tradicional.

Si se permite que la capa estabilizada con cemento se agriete por flexotracción se forma un pavimento articulado con menor requerimiento de resistencia, espesor y dosis de cemento. De acuerdo a experiencias de laboratorio y terreno, para estabilizar una sub-rasante granular, ripiadura, o capa granular, la dosis puede bajar a un valor en el rango 0,5% a 2,0%, haciéndola apta para caminos de bajo tránsito y/o refuerzo de estructuras de pavimentos sobre sub-rasantes blandas.

Tradicionalmente, la estabilización con cemento se ha hecho con maquinaria normal para la construcción de caminos, la que sigue siendo una forma válida de aplicación. En las últimas décadas se ha desarrollado maquinaria especial para esta labor, la que permite acelerar y mejorar la homogeneidad del resultado, permitiendo además un pequeño ahorro de cemento.

Una característica notable de la estabilización con cemento es que se puede aplicar por pistas y con tránsito circulante por turnos con banderero, no es estrictamente necesario un período de fraguado antes de la puesta en servicio. La Ruta E-415 se cerró al tráfico por 7 días en la última pista construida, con efecto positivo con respecto a las que se ponen en servicio inmediatamente.



■ Secuencia constructiva con maquinaria recicladora, mezcladora y extendedora especiales. Ruta E-415, construida por empresa particular y Administración Directa Región de Valparaíso, octubre 2021.



■ Ruta R-925-S Melipeuco. Construido por Administración Directa Región de La Araucanía, febrero 2022.

De acuerdo a experiencia internacional, el espesor mínimo recomendable a estabilizar es de 20 cm, mayor a los 15 cm tradicionales que se aplica con otros estabilizadores. En caminos de bajo tránsito existe la posibilidad de usar la capa estabilizada como superficie de rodado sin capa de protección. Pero si el tránsito es más intenso, si el trazado tiene curvas muy cerradas o pendientes fuertes, o el clima es muy lluvioso, se recomienda la colocación de una capa de

protección. La opción sin capa de protección ha sido aplicada en varios caminos cercanos a Cochrane, con resultados y durabilidad de buenos a aceptables.

A la izquierda de las fotos anteriores pueden verse "tacitas" en la superficie recién sellada, son producto de terrones que no son alcanzados por el cemento cuando la revoltura se hace con motoniveladora. Si estas imperfecciones no son muy grandes o



■ Ruta R-925-S Melipeuco, estado inicial con sello y después de un año de uso.

profundas, su importancia es más estética que funcional. Cuando el trabajo se hace con máquina recicladora y dispensador de cemento no deberían producirse, como se aprecia en la siguiente fotografía.

Este tipo de estabilización es 100% reciclable en un número indefinido de veces: la capa deteriorada se escarifica, desterrona, se le vuelve a incorporar cemento (no se toma en cuenta la aplicación anterior), se agrega agua, perfila y compacta.

Los costos por kilómetro de esta tecnología son menores que las de soluciones de pavimentos tradicionales. Las mayores economías se dan en la adquisición y transporte de áridos con especificaciones al lugar de la obra, si se puede trabajar con el material

existente estos costos no existen. Como referencia, en la obra La Vega-Alicahue se estimó un costo unitario total por kilómetro unas siete veces menor que el del DTS que se empleó en la mayor parte de la obra. Esta proporción puede variar de acuerdo a los costos locales de cada proyecto en particular.

Hasta la fecha se ha probado esta solución en caminos de bajo tránsito y es extensible al mejoramiento de sub-rasantes, terraplenes, rellenos estructurales (no permeables), sub-bases y bases de caminos de mayor tráfico. Se abre también la posibilidad de uso de materiales marginales y de menor especificación en todo tipo de caminos, incluso en lugares con escasez o ausencia de granulares de buena calidad.



■ Ruta N-31 San Fabián. Base estabilizada con cemento sellada con Cape-Seal, contrato realizado con maquinaria especializada y terminado en marzo 2022.

IMPORTANTE ACTUALIZACIÓN DE NORMA DE MECÁNICA DE SUELOS PARA CHILE

Por: Ing. Civil Francisco Ruz Vukasovic
MEng Geotechnical Engineering - RyV Ingenieros ®

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de actualizar la norma NCh 1508 del año 2014 "Geotecnia — Estudio de Mecánica de Suelos", considerada la normativa más importante en geotecnia en Chile, el Instituto de la Construcción, en colaboración con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, convocó a un Comité Técnico.

Este comité, presidido por Miguel Ángel Jaramillo desde mayo de 2021 y con Manuel Ruz (Q.E.P.D) como Vicepresidente, sesionó hasta diciembre de 2022.

La norma actual, es una norma muy completa y clara. Esta norma chilena establece los procedimientos mínimos que debe cumplir un estudio de mecánica de suelos para un proyecto u obra de ingeniería.

Se especifica claramente lo que debe contemplar un estudio de mecánica de suelos, un estudio preliminar o un estudio especial.

Se prevé que durante este año, y tras diez años de vigencia de la versión actual, se complete la actualización de esta crucial norma geotécnica. Con el uso de esta normativa actual se han detectado ciertas necesidades, como por ejemplo incorporar además una definición clara para un "estudio de edificaciones existentes".

Lo anterior corresponde a un estudio que se realiza para confirmar o evaluar las condiciones geotécnicas del terreno sobre el cual ya existe un proyecto, obra o estructura. Estas pueden ser del tipo de estructuras sin ampliaciones, daño y modificaciones; o pueden ser estructuras existentes a reparar, modificar o cambio de uso; o también puede tratarse de estructuras patrimoniales.

La nueva norma mantendrá las especificaciones para la exploración del subsuelo en términos de:

a) cantidad de puntos a investigar;



- b) profundidad a alcanzar en cada punto;
- c) distribución de los puntos en la superficie del terreno;
- d) número y tipo de muestras a extraer;
- e) mediciones y ensayos en terreno;
- f) ensayos y mediciones en laboratorio.

No obstante, a diferencia de la versión actual, la nueva normativa la cantidad de puntos y la profundidad de exploración es independiente del tipo de proyecto.

En esta actualización se crearon 11 categorías. Dentro de las cuales las categorías varían las exigencias, según altura de las edificaciones, número de pisos, su uso (comercial, habitacional o industrial como galpones y bodegas). También existen categorías de estructuras industriales como fundaciones de máquinas, estanques, silos. Se creó una categoría especial para el esparcimiento, recreación, prácticas deportivas, cultura, tales como skate park, monumentos, anfiteatros, obras de arte (como, por





ejemplo, esculturas, monumentos subterráneos). Además, se incluyen categorías para definir los puntos de exploración para pavimentos exteriores, muros de contenciones y finalmente para estructuras flotantes.

Cada una de estas categorías especifican la cantidad de puntos a explorar y las profundidades que debe contemplar la campaña de exploración del informe de mecánica de suelos.

La norma tiene varias sutilezas como por ejemplo, considera dentro del total de puntos de la exploración geotécnica a la geofísica, con esto se permite rebajar un punto de exploración.

Se generó un anexo completo destinado a los métodos geofísicos, lo que se complementa con la NCh3793 "Obtención de parámetro Vs y T0 basado

en técnicas de ondas de superficie para clasificación sísmica de sitios"

Los cambios propuestos impactarán principalmente el nivel de exploración y mejorarán la calidad de los informes de mecánica de suelos, proporcionando a los ingenieros estructurales información más precisa para sus diseños.

De acuerdo con la Ley 20.703, los ingenieros estructurales comparten la responsabilidad con los especialistas en mecánica de suelos, salvo que soliciten la revisión de un especialista geotécnico debidamente inscrito en el registro de revisores. Por ello, los ingenieros estructurales están especialmente interesados en que los informes de mecánica de suelos sean lo más completos y profesional posible.



30 AÑOS

De trayectoria y presencia en el mercado












- MECÁNICA DE SUELOS
- URBANIZACIONES
- PAVIMENTACIÓN
- INGENIERÍA SANITARIA
- INGENIERÍA VIAL
- FUNDACIONES ESPECIALES
- CONTENCIÓNES ESPECIALES
- MOVIMIENTOS DE TIERRA
- COORDINACIÓN BIM
- PROYECTOS EN REVIT Y CIVIL3D



Somos **RyV Ingenieros**®, Llevamos más de 30 años brindando asesoría integral a nuestros clientes, siendo un partner estratégico en sus desarrollos e implementación de soluciones innovadoras para la ingeniería. Utilizamos sistemas de alto estándar y amigables con el medio ambiente, generando eficiencia y confianza en los proyectos de nuestros clientes y su entorno.






Dirección: Licenciado de las Peñas 4909, Ñuñoa, Santiago, Chile.
 Teléfono: +562 2245 3362 / +562 2245 3363 / +562 2245 3364
 Email: contacto@ryv.cl



EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN OBRA CAMINO BÁSICO INTERMEDIO RUTA Q-689

Por: Sandro Iván Aliquintui Vera - Ingeniero Civil - Universidad Tecnológica Metropolitana
 Juan Carlos Miranda Araya - Ingeniero Civil - Departamento de Conservación - Subdirección de Mantenimiento - Dirección de Vialidad

INTRODUCCIÓN

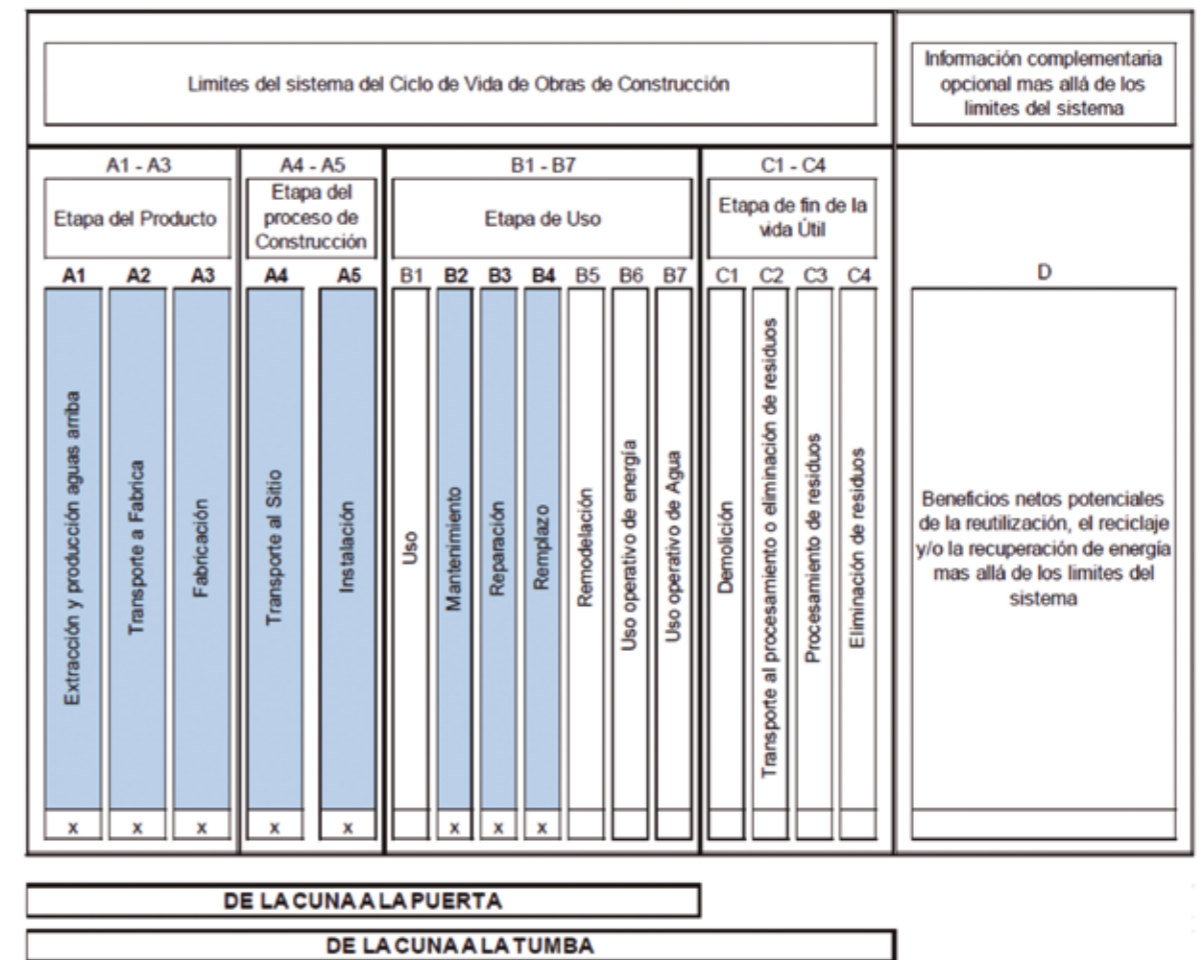
En la medida que el ser humano sigue añadiendo a la atmósfera gases de efecto invernadero (GEI) que atrapan el calor, como el dióxido de carbono y el metano, el cambio climático generado por el calentamiento global está significando el aumento progresivo de las temperaturas medias, el incremento en la frecuencia de los desastres naturales, los cambios en los hábitats de la fauna y flora, y el aumento en el nivel del mar, entre otros efectos.

En Chile los GEI están afectando en: sequías por más una década, menor cantidad de nieve en la cordillera, el derretimiento acelerado de glaciares, mayores olas de calor e intensificación de incendios forestales, entre otros, lo que ha significado estar evaluando continuamente dichos impactos. En este sentido, la huella de carbono es una medida que cuantifica la cantidad de gases de efecto invernadero en las diversas actividades. Se basa en la cantidad de CO2 y otros GEI emitidos por fabricación de productos o por servicios. Generalmente, se expresa en una sola unidad de medida: tonelada de CO2 equivalente.

Así mismo, el área de la construcción es uno de los mayores consumidores de materia prima, empleo de maquinaria pesada y transporte, por ende, fuente importante de emisiones GEI.

Por otra parte, el aumento sistemático en la cobertura de caminos pavimentados de la red vial nacional, impulsado principalmente por la ejecución de los denominados caminos básicos y la demanda por mejorar la conectividad, generan en las distintas etapas de sus ciclos de vida, importantes cantidades de GEI. Actualmente, el Ministerio de Medio Ambiente reporta las emisiones por sector económico a nivel nacional, pero no existe un registro por parte del Ministerio de Obras Públicas que identifique la huella de carbono asociada al uso de energías y materiales en los proyectos de inversión pública.

Por ello, se hace importante cuantificar la huella de carbono de un proyecto durante su etapa de construcción y mantenimiento, a lo largo de su ciclo de vida. Esto permitirá identificar los procesos más contaminantes relacionados con el uso de energía,



uso de materiales e insumos más predominantes.

las reduzcan.

1. Objetivo General

Medir la huella de carbono contabilizando los GEI de una obra vial tipo camino básico intermedio, que actualmente está en etapa de construcción, con el aporte de datos reales. Además, se estima la huella de carbono de la etapa de mantenimiento por un periodo de 10 años, para una longitud de 24,08 kilómetros. Lo anterior de acuerdo con el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y según las normas ISO 14040 e ISO 14044.

2. Objetivos Específicos

- Analizar el contexto actual de las emisiones GEI en la construcción y mantenimiento vial.
- Aplicar la metodología internacional de la medición de la huella de carbono.
- Medir la huella de carbono de un camino básico intermedio de las etapas de construcción y mantenimiento.
- Identificar las fuentes y la magnitud relativa a las emisiones GEI en ciclo de vida de un proyecto de infraestructura vial.
- Identificar los procesos que generan mayores emisiones y proponer alternativas sustentables que

CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA ANALIZADA

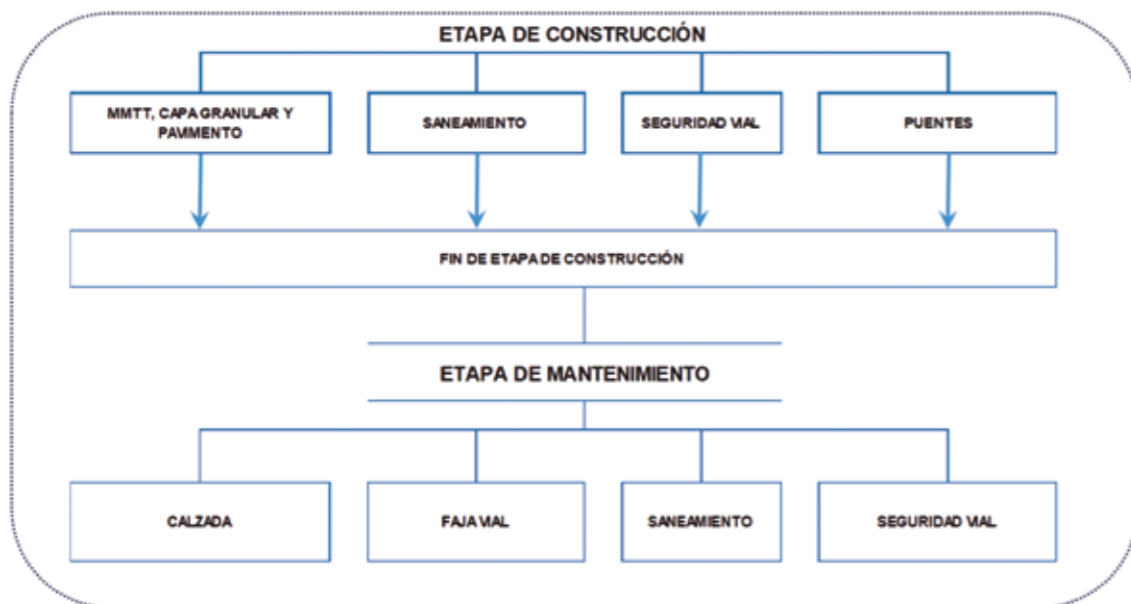
La obra consiste en un mejoramiento del tipo Camino Básico intermedio, en la ruta Q-689, cruce ruta 177 (Los Ángeles) – Santa Bárbara – Ralco – Guallali – Río Chaquilvín, sector km 89,60 al km 113,68, comuna de Alto Biobío, Provincia de Biobío. Las obras a realizar se emplazan en un tramo de 24,08 km, con inicio en el puente Endesa 1 hasta el sector de la posta de Palmucho.

Las obras mayoritariamente consisten en la pavimentación del tramo con una capa de protección tipo Cape Seal, sobre una base granular de CBR > 100%. Además, considera saneamiento general, obras de seguridad vial, obras de mantención para 6 puentes, y el ensanche de 5 puentes menores con sus correspondientes obras anexas.

METODOLOGÍA APLICADA

La metodología de medición aplicada se basa en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. La norma ISO 14040 ofrece un marco metodológico para evaluar





el ciclo de vida de productos y servicios, mientras que la norma ISO 14044:2006 proporciona las directrices y principios para llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de estos mismos productos y servicios. Su aplicación consta de cuatro fases: Definición del Objetivo y el Alcance, Análisis de Inventario, Evaluación de Impacto Ambiental e Interpretación.

1. Análisis de Ciclo de Vida

Para estructurar el análisis de ciclo de vida, se utilizó en parte la norma ISO 14044:2006. A continuación, la siguiente figura muestra un diagrama de Análisis del Ciclo de Vida en la construcción: Figura 2 Estándares ISO 21930 y EN 15978 etapas del ciclo de vida en la construcción

2. Alcance del Sistema

Sobre la base de lo señalado en la normativa aplicada, la siguiente figura muestra un diagrama con las categorías en las que se subdividió el alcance del sistema, excluyéndose las etapas de Diseño, de Uso y Fin de la Vida Útil, tanto para la etapa de construcción como la de mantenimiento:

3. Diagrama de Entradas y Salidas

De acuerdo con lo que establece la normativa aplicada, las siguientes dos figuras muestran sendos diagramas con las entradas, secciones de procesos y salidas, tanto para la etapa de construcción como de mantenimiento.

4. Cálculo de la Huella de Carbono

Los impactos de gases de efecto invernadero en el calentamiento global se expresaron en términos de CO2 equivalente. Cada emisión de gas se

convierte a CO2 equivalente, ya sea en kilogramos o toneladas, utilizando los resultados de los datos recolectados durante las actividades de construcción y mantenimiento. Esta conversión se realiza aplicando factores de emisión encontrados en la literatura, relevante para esta evaluación. En el cálculo de la Huella de Carbono (HC) se utilizó la siguiente fórmula: $HC \text{ Emisiones (tCO}_2\text{eq)} = \text{Dato de la Actividad} \cdot \text{Factor de Emisión (tCO}_2\text{eq/unidad de la actividad)}$

Donde los factores de emisión se refieren a la cantidad de CO2e que se emiten a la atmósfera por una unidad de referencia específica. Los factores de emisión se expresan generalmente en kilogramos de CO2e por unidad. La tabla siguiente muestra los factores de emisión utilizados:

Tabla 1 Factores de Emisión Utilizados en la Medición de la Huella de Carbono

RESULTADO OBTENIDOS

1. Resultados del inventario de Ciclo de Vida en la Etapa de Construcción

La siguiente tabla muestra los resultados de la evaluación de la huella de carbono, durante la etapa de construcción.

De los resultados obtenidos, el transporte de material al sitio se ubica en primer lugar, el que incluye una cantidad total transportada de 153.578 m3 entre áridos producidos y material excavado producto de excavaciones de escarpe, corte en terreno de cualquier naturaleza y corte en roca.

2. Resultados del Inventario de Ciclo de Vida en la Etapa de Mantenimiento (10 años)

La siguiente tabla muestra los resultados de la

evaluación de la huella de carbono, durante la etapa de mantenimiento, considerada de 10 años:

De los resultados obtenidos se ubican en primer y segundo lugar: el transporte, uso de camión y equipos como fuente emisora el uso del combustible diésel.

3. Emisiones por Unidad Funcional

Con el objetivo que los resultados sean comparables, se procedió a transformar a una unidad funcional, los resultados de las emisiones de la huella de carbono en ambas etapas, en este caso el "tCO2eq por kilómetro". Los resultados se muestran a continuación: Tabla 4 Resultados de Emisiones en Unidad Funcional

Los resultados finales indican que, incluyendo las etapas y procesos identificados anteriormente, la etapa de construcción aporta 140 toneladas de CO2 equivalente por kilómetro de camino, mientras que la etapa de mantenimiento contribuye con 35 toneladas de CO2 equivalente por kilómetro.

4. Comparación con Estudios Similares

Los estudios de análisis de ciclo de vida sobre caminos se centran en pavimentos en base a mezclas asfálticas en caliente. En este sentido, se observa un incremento porcentual en las emisiones de huella de carbono en una opción que ofrece mayor capacidad estructural y un período de vida útil más prolongado.

Comparación N°1 Mezcla Asfáltica en Caliente (considera solo la capa asfáltica)

La primera comparación tiene que ver con un estudio realizado en España. El estudio incluye una de las

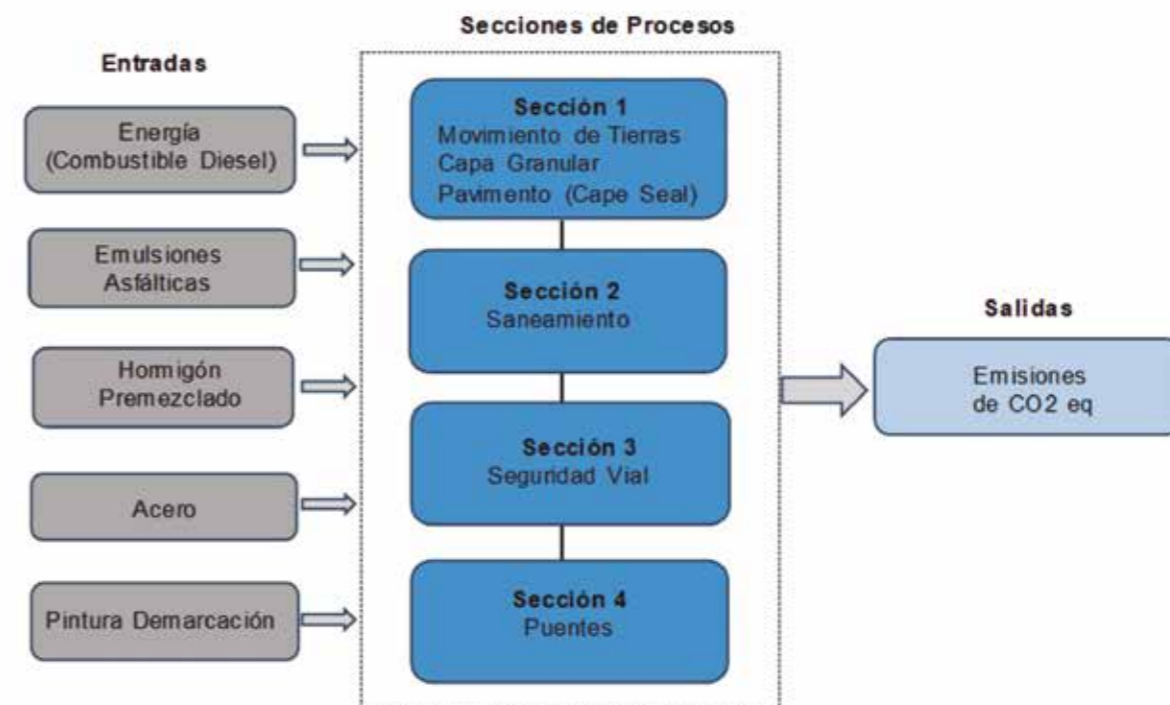
mediciones a una capa de mezcla asfáltica en caliente, incorporando materiales e insumos, transporte, colocación con equipos. La siguiente tabla muestra los resultados de la comparación-

En este caso, las emisiones del cape seal resultaron un 34% menor que la mezcla asfáltica en caliente, siendo coherentes con lo esperado. Hay que destacar que para la fabricación de la mezcla en caliente se utiliza bitumen y el uso de energías para calentar la mezcla, lo que provoca un incremento en su huella de carbono. En lo que respecta al transporte, los resultados en términos de emisiones son altamente sensibles a las distancias de transporte.

Comparación N°2 Mezcla Asfáltica en Caliente (considera toda la estructura de pavimento)

La segunda comparación se hizo con los resultados de un estudio desarrollado en México. Este estudio consideró más aspectos que el anterior, dado que incluye las capas granulares y subrasante. En este caso, la unidad funcional es en kg de CO2eq/m2.

Los datos anteriores evidencian que, dadas las características de cada estructura de pavimento, la huella de carbono de la mezcla asfáltica es mayor a la del cape seal. Sin embargo, es importante señalar que estas cifras pueden variar dependiendo de los volúmenes y las distancias de transporte. Además, en este caso, en la subrasante, el cape seal supera significativamente a la subrasante de la mezcla en caliente, nuevamente debido a las distancias de transporte. Así, considerando la capa de rodadura, capas granulares y subrasante, la opción del cape



seal equivale a una huella de carbono 20% menor que la opción de la mezcla en caliente, esta vez debido a valores más elevados en huella de carbono de las capas granulares y capa de rodadura de la mezcla en caliente.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la etapa de construcción, analizados por fuente de emisión, arrojan que 51,2% tiene relación con el uso de energía a través de combustible Diesel, el 23,7% con el uso del acero, un 19,6% el uso de hormigón premezclado, mientras que un 5,2% de uso de emulsiones asfálticas y por último un 0,3% el uso de pintura de demarcación.

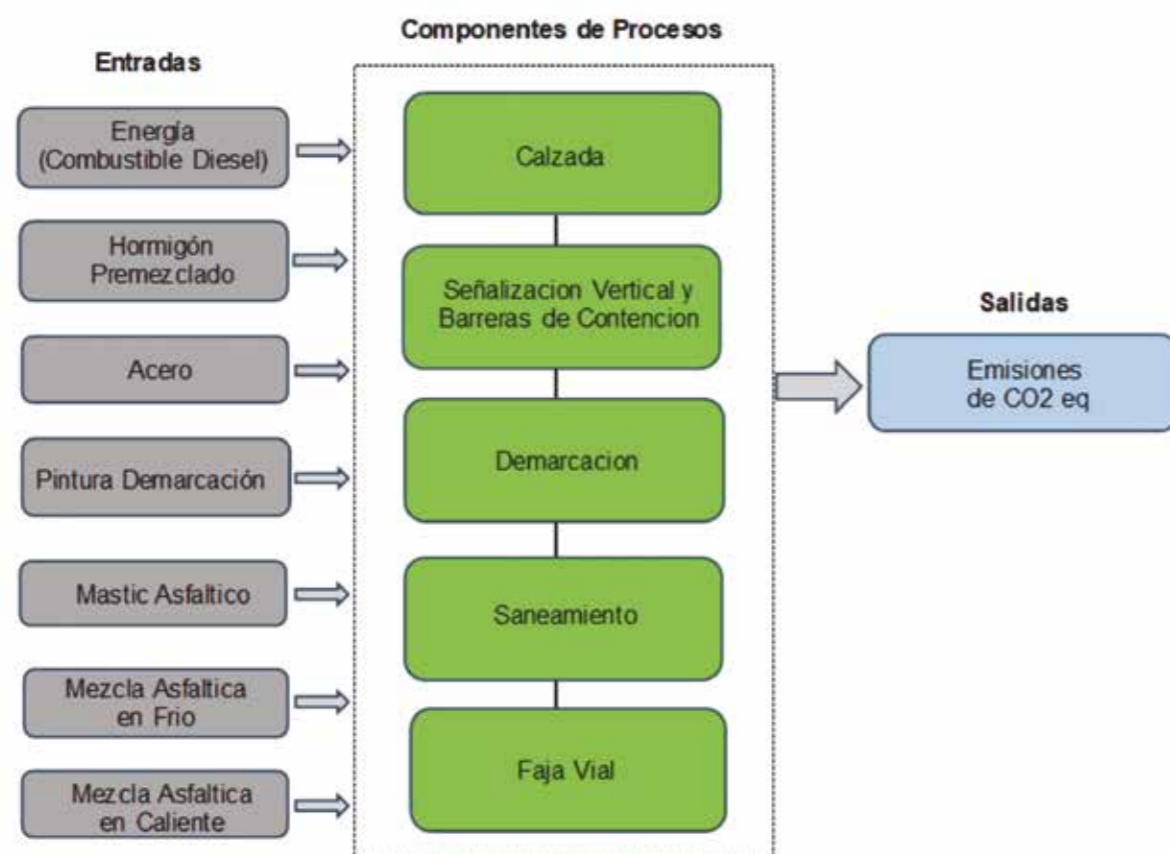
Considerando los resultados obtenidos para la capa asfáltica, capas granulares y terraplén, se pudo comparar con otros estudios de forma coherente, mediante el uso de unidad funcional.

El uso de las normas internacionales ayudó a estructurar un análisis de inventario que permitió dar mayor consistencia, transparencia y credibilidad. Ante la posibilidad de reducir la huella de carbono, es muy difícil encontrar materiales alternativos a los ya utilizados en esta evaluación, pero podría haber avances en la exigencia de menor huella de carbono

en sus procesos de fabricación y entrega final, a través de certificados de huella de carbono.

Medir la huella de carbono en esta obra sirvió para entender y cuantificar sus impactos y plantear posibles medidas para disminuir sus emisiones según la identificación de los procesos más contaminantes. Propuestas en el ámbito de la sustentabilidad:

- Para los productos e insumos utilizados, lograr reducir las emisiones de forma paulatina, realizando cambios en las fuentes de energías contaminantes por energías renovables.
- Ir reemplazando sistemáticamente el combustible fósil por fuentes de energía renovables para la producción, transporte de áridos.
- Uso de mezclas asfálticas tibias y lograr un aumento en el ciclo de vida, pero requiere aumentar la inversión respecto a un Cape Seal.
- Uso de otros combustibles alternativos tales como: Gas natural comprimido renovable y biodiesel, entre otros.
- En el ámbito del mantenimiento se puede realizar el reciclado del pavimento Cape Seal para reutilizar como material de base.
- Plantación de árboles para lograr neutralidad de carbono.



15° CONGRESO INTERNACIONAL Y FERIA TECNOLÓGICA PROVIAL 2025 CENTRO DE EVENTOS Y CONVENCIONES SURACTIVO | CONCEPCIÓN – CHILE

26 al 30 de Mayo 2025

La red vial de cualquier país es un elemento relevante para su desarrollo socioeconómico, representando, además, uno de los patrimonios más altos que puede tener una nación. De acuerdo a la última estadística la Dirección de Vialidad tiene bajo su tuición unos 88 mil kilómetros de camino.

Por lo tanto, la gestión del patrimonio vial, consistente en administrar todo el ciclo de vida de sus activos, con el fin de maximizar su valor y lograr que efectivamente contribuya con el desarrollo nacional, es una de las principales responsabilidades de las administraciones de carreteras a nivel mundial y en particular en Chile.

Los caminos, puentes, túneles y demás activos de la infraestructura vial deben ser conservados en forma permanente, para así controlar su deterioro y lograr mantenerlos en las condiciones adecuadas durante toda su vida útil.

En el caso de nuestro país, en los últimos años, hemos tenido una importante y creciente inversión en la construcción y mejoramiento de la red vial y con ello nuestro patrimonio vial se ha incrementado significativamente. Pero este incremento del patrimonio vial también ha ido acompañado de un esfuerzo importante en materia de conservación de caminos y carreteras, para mantener su serviciabilidad de manera adecuada y cumplir con la vida útil prevista en el diseño, caso contrario la inversión realizada se perdería acercándose al plazo de su vida útil, obligándonos a costos de rehabilitación y reconstrucción mayores y a un aumento progresivo de los costos generalizados de transporte relacionados con los costos de operación vehicular y tiempos de viaje.

En el año 1995 hablábamos de 10.000 kilómetros en conservación. Hoy con las modalidades de Conservación por administración directa y los contratos globales atendemos prácticamente el 100% de la red vial de administración de la Dirección de Vialidad e invertimos cerca del 50% de nuestro presupuesto en conservación, equivalente a unos MMUS\$ 1.000 y su cobertura llega a todos los rincones del país.

Hemos recorrido un largo camino y nos queda mucho por andar. Pero la calidad del mantenimiento de las carreteras no sólo depende de la disponibilidad presupuestaria sino también de la gestión, de las nuevas y mejores prácticas, de la innovación tecnológica, de los conocimientos, del personal profesional calificado y de equipos y maquinarias adecuadas y bien operadas.

Además, hemos avanzado en la conservación por administración directa a través de caminos básicos, la aplicación del modelo de niveles de servicio en la mantención de caminos, en el potenciamiento de controles de peso, controles de calidad y de la seguridad y señalización vial, en la implementación de un modelo de gestión de la conservación de caminos y puentes, etc.

Es por ello que la Dirección de Vialidad le da una tremenda importancia a este Congreso PROVIAL. Se trata de un lugar de encuentro para especialistas nacionales e internacionales en el mantenimiento vial. Su objetivo es reunir a expertos profesionales del sector público y privado, representantes de firmas consultoras y empresas constructoras, proveedores de maquinarias e insumos viales, académicos, estudiantes y autoridades de Chile y el extranjero, con el fin de intercambiar experiencias relativas al avance en investigación, desarrollo y administración de la gestión vial en el área de mantenimiento y explotación de caminos y carreteras, como también, conocer las tendencias mundiales en torno a esta actividad.

El primer congreso PROVIAL realizado en Chile fue en Valparaíso el año 1995. Desde ese primer encuentro, ya se han organizado 14 versiones del congreso, gracias al trabajo colaborativo de universidades locales y las Direcciones Regionales de Vialidad. En esta oportunidad, la organización está en manos de la Dirección Regional de Vialidad Biobío y la Universidad de Concepción, el año 2002 también estuvimos en Termas de Chillán bajo el lema "Gestión y desarrollo del Mantenimiento Vial", y bajo la misma organización.

Este 15° PROVIAL que se llevará a cabo entre los días 26 y 30 de mayo de 2025 cuenta con el apoyo de la Universidad de Concepción (UDEC), a través del Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, quienes han asumido la organización del Congreso Internacional y Feria Tecnológica PROVIAL, Biobío 2025, en conjunto con la Dirección de Vialidad. Por otra parte, dado que la Ciudad de Concepción es una Ciudad Universitaria por excelencia, reúne varios centros de estudios superiores que la posicionan como uno de las ciudades más importantes a nivel cultural y de estudios del país, es por ello que se ha invitado a la Universidad del Bio-Bio, Universidad Andrés Bello, Universidad Católica de la Santísima Concepción, y Universidad San Sebastián a coorganizar este evento que abordará temáticas asociadas a Soluciones sostenibles, seguridad vial inteligente, innovación tecnológica, innovación en materiales para carreteras sustentables, adaptaciones al cambio climático, inteligencia artificial aplicada a problemas viales entre otras.

Durante los cinco días del congreso tendremos distintas actividades como ponencias de artículos especializados, charlas magistrales de expertos nacionales y extranjeros, paneles de discusión, visitas técnicas y una feria tecnológica.

Esperamos a más de 400 expertos profesionales y técnicos del área vial, que involucran a funcionarios del Ministerio de Obras Públicas, a empresas constructoras y consultoras relacionadas, académicos y estudiantes universitarios, así que es una gran oportunidad de unirse y trabajar colaborativamente.

PILOTES PREEXCAVADOS PARA FUNDACIÓN DE PUENTES EN CHILE

Por: Marcelo Márquez Marambio
Jefe de Proyecto Plan de Puentes – Dirección de Vialidad

CONTEXTO

Las fundaciones de puentes en Chile son principalmente de dos tipos: directas o profundas. Estas últimas se diseñan para transferir las cargas a estratos de suelos competentes y/o pasar la zona de socavación general y local de los elementos de la infraestructura del puente. Las fundaciones profundas se conforman hoy en día principalmente a través de pilotes, los cuales pueden ser hincados o preexcavados. El artículo trata sobre los pilotes preexcavados, incluyendo aspectos históricos, aspectos técnicos, un caso de aplicación y futuros desafíos.

ASPECTOS HISTÓRICOS

Hasta la década de los años 80 las fundaciones profundas se constituían principalmente de cajones de fundación, los cuales en algunos casos eran descendidos hasta el sello mediante excavación por su interior y en algunos casos mediante cámaras de aire comprimido (cajones neumáticos), generando estos últimos en algunos casos riegos y peligro para el personal.

Los primeros equipos de pilotaje que se utilizaron en Chile, que podrían calificarse como primera generación, se denominaban "Benoto".

A inicios de la década de los años 60, el Ministerio de Obras Públicas adquirió dos de estos equipos, asignándolos al Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad y a la Dirección de Obras Portuarias. Aproximadamente el año 1963 el equipo del Departamento de Puentes inició sus trabajos en las obras de Puentes que consideraban fundaciones con pilotes preexcavados. En estos contratos el Departamento de Puentes suministraba el equipo con sus operadores, lo que permitió desde esa fecha construir pilotes preexcavados por Administración Directa. El equipo consistía en una máquina hidráulica, propulsada con motor diésel, sobre patines (no orugas) móviles mediante cilindros hidráulicos, para poder desplazarse en plataformas de mala calidad. El equipo poseía una morsa osciladora hidráulica, que permitía introducir una camisa metálica aplicando torque y empuje, mientras se excavaba el suelo en el interior mediante una cuchara bivalva, accionada por cabrestantes ("winches") montados en la base de la

máquina. La máquina poseía una torre sobre la cual se montaban las poleas y una guía para la camisa. Este tipo de equipo era lento, pero eficaz. Era posible utilizar trépano (cincel) accionado por el cabrestante de caída libre, para demoler clastos, bolones o roca.

Con el paso de los años, fueron llegando a Chile nuevas generaciones de equipos de pilotaje, trayendo consigo mejoras en las técnicas de construcción, en rendimientos, incorporación de tecnologías, entre otros. Es así como también fue evolucionando el diámetro y longitud de los pilotes.

La que podría denominarse "segunda generación" de los equipos de pilotes preexcavados con cuchara que llegaron a Chile, consistían en morsas osciladoras montadas en grúas sobre orugas con cabrestantes de caída libre. La metodología de excavación utilizada era la misma de los equipos "Benoto": excavación con cuchara bivalva (Figura 4) y trépano. La diferencia más importante consistía en la utilización de grúas como máquinas base, que posibilitaban una mayor movilidad y versatilidad en la obra. Los primeros equipos de este tipo se habrían empezado a utilizar en Chile a inicios de los años 90 y acotados a pilotes de diámetro 1,00 m.

En 1996 se introdujeron los primeros pilotes preexcavados de diámetro 1,50 m, para la construcción de la autopista concesionada Talca-Chillán. En esa oportunidad apareció también por primera vez el concepto y diseño de "pila-pilote": al utilizar pilotes de diámetros mayores, es posible continuarlos hasta la viga cabezal transversal de apoyo de las vigas longitudinales del puente.

Paralelamente al desarrollo de la excavación con el sistema originalmente denominado "Benoto", en la década de los años 90 aparecieron en Chile los primeros equipos de perforación por rotación.

Existen varios tipos de equipos de perforación rotativa para pilotes de gran diámetro en el mercado internacional. Los que llegaron a Chile fueron básicamente equipos modernos hidráulicos, formados por: una máquina base con motor diésel, sobre orugas, que es prácticamente una máquina de base de grúa o excavadora; un mástil; una barra

telescópica "Kelly"; un cabezal de rotación hidráulico; cabrestantes o "winches" hidráulicos: uno principal y uno auxiliar; morsa osciladora (opcional); herramientas de perforación rotativas de distinto tipo (baldes, hélices, "core barrel", hélices progresivas, entre otros).

Las piloterías hidráulicas rotativas se clasifican por su tamaño, según el torque máximo que puede proporcionar la cabeza de rotación del equipo. Los equipos disponibles en el país tienen cabezas de rotación con torques que van desde 140 kNm a 410 kNm. A mayor torque, mayor capacidad de perforación, lo que implica no sólo posibilidad de penetrar en estratos muy resistentes, sino un mayor rendimiento y capacidad para ejecutar mayores diámetros de pilotes.

Con el paso del tiempo, el impulso que tuvieron las obras públicas y el inicio de las concesiones viales multiplicó la necesidad de equipos de pilotes de gran diámetro. Desde 1996 en adelante fue aumentando gradualmente el número de equipos de pilotes disponibles en el país. Según datos de la época, se

estima que a fines de los años 90 había al menos ocho equipos rotativos disponibles en Chile, con diferentes capacidades.

Con los equipos hidráulicos modernos de perforación a rotación es posible utilizar diversas metodologías de ejecución de pilotes de gran diámetro: perforación rotativa con camisas recuperables; perforación rotativa bajo fluidos estabilizantes (lodos bentoníticos o polímeros) y hélice continua (CFA).

Uno de los primeros grandes puentes construidos por un equipo de rotación fue el puente Llacolén, en Concepción, construido entre 1998 y 1999. Se construyeron poco más de 400 pilotes de diámetro 1,50 m para cepas y estribos (longitudes máximas de aproximadamente 17,0 m) y diámetro 1,00 m para estructuras de acceso. Los pilotes de 1,50 m de diámetro fueron ejecutados por rotación con camisas metálicas recuperables. En las estructuras de acceso se ejecutaron pilotes a rotación, bajo lodos bentoníticos, mayormente de diámetro 1,00 m.



■ Cuchara bivalva. Fuente: elaboración propia.



■ Morsa oscilatoria. Fuente: elaboración propia.

Desde el año 2000 hasta la actualidad, el número de equipos de pilotaje disponibles en el mercado ha ido aumentando gradualmente y se han introducido equipos modernos y de alta capacidad. Hasta 2013, el diámetro máximo disponible en el mercado seguía siendo de 1,50 m. Actualmente existen máquinas en el país para ejecutar pilotes a rotación con las siguientes capacidades máximas: diámetro máximo de pilotes, ejecutados con camisas recuperables: 2.000 mm; diámetro máximo de pilotes, ejecutados bajo lodos o polímeros: 2.500 mm.

Una innovación relevante fue introducir cucharas y trépanos de última generación con mayores pesos y prestaciones, permitiendo alcanzar el diámetro de 2,00 m. La primera experiencia en Chile de pilotes de más de 1,50 m de diámetro fue la ejecución de pilotes de 2,00 m de diámetro en el Viaducto Las Chilcas. Allí se utilizó una morsa oscilatoria de última generación con una cuchara bivalva para dos cables con un peso operativo de 12,0 ton. La misma cuchara, equipada con valvas para pilotes de diámetro 1,50 m tiene un peso de 11,25 ton, mientras que la generación anterior

de cucharas en el mercado sólo alcanzaba un peso de 4,3 ton para el mismo diámetro de pilotes. Esa diferencia, junto con trépanos de mayor capacidad y diseño avanzado, permitió ejecutar con buenos rendimientos, por primera vez en Chile, pilotes de diámetro 2,00 m, parcialmente empotrados en la roca, con longitudes de hasta 8,00 m.

A diferencia de los equipos rotativos, los equipos de pilotaje integrados por grúa, morsa oscilatoria, cuchara y trépano, son los preferidos cuando se trata de fundar en los suelos más difíciles, con clastos, grandes bolones o empotramientos en roca, cuando la resistencia a compresión de la roca supera los 50 MPa.

En cuanto a las longitudes máximas alcanzables en el país, los equipos disponibles permitirían una profundidad máxima de perforación de aproximadamente 70 m, según los diámetros utilizados, y considerando perforación bajo lodos. En perforación con camisas recuperables, es posible considerar profundidades máximas de 40 m.

PILOTES CON EMPOTRAMIENTO EN ROCA

En muchos proyectos es necesario empotrar pilotes en roca, lo cual es factible, aunque limitado por las características de la roca. Las metodologías que se han utilizado hasta el momento en Chile son: trépano y cuchara (el trépano puede utilizarse normalmente para rocas con resistencias a compresión simple de hasta 150 MPa, aún así el rendimiento es muy bajo) y herramientas de rotación para roca (hélice progresiva y core barrel, están limitadas en la práctica para rocas blandas y medias hasta resistencias de compresión simple de hasta 100 MPa). Sin embargo, no es recomendable utilizar herramientas de rotación de roca para casos en que se superen resistencias de aproximadamente 50 MPa, por los altos desgastes implicados.

Como casos especiales, cuando la resistencia de la roca es muy alta (sobre 150 MPa) o cuando se requiere incrementar los rendimientos de perforación en roca, ya se han aplicado en Chile dos alternativas técnicas: "Roller bit core barrel" ("core barrel" especial dotado de conos, con esta herramienta se corta un espacio anular en roca de mayor tamaño y luego se puede usar trépano por impacto o un cross cutter por rotación para romper el testigo interior) o preperforación de pequeño diámetro para combinarla con el uso de trépano (en este caso la preperforación en varios puntos de la sección del pilote con un diámetro de aproximadamente 150 mm, desconfinan la roca y mejora el rendimiento posterior del trépano).

PILOTES EN TERRENOS CON NAPAS ARTESIANAS

Las normas internacionales recomiendan trabajar siempre con una sobrepresión hidráulica positiva en el interior de la perforación para contrarrestar la presencia de posibles napas artesianas, evitando el sifonamiento del fondo e inestabilidad en las paredes de la perforación. En la práctica esto se traduce en las siguientes medidas posibles para trabajar en condiciones de napa artésiana: elevar la cota de la plataforma de trabajo, para que la presión del agua o fluido de perforación en el interior de la perforación sea por lo menos equivalente a una altura de 1,00 m de agua (Norma Europea EN 1536:2011), utilizar una extensión de la camisa metálica para que se pueda elevar el nivel del fluido o agua en el interior de la perforación, de forma de garantizar una sobrepresión mínima equivalente a 1,00 m. (Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods, FHWA NHI-10-016, Mayo 2010) o reducir la presión artésiana mediante pozos de alivio.

PILOTES CON CAMISA PERDIDA

La utilización de camisas perdidas es típicamente

necesaria cuando se ejecutan pilotes "a flote" o desde una plataforma a través de una lámina de agua (Figura 7). En estos casos, dado que debe construirse el pilote hasta una cota normalmente superior al nivel del agua, se procede hincando una camisa perdida y luego perforando bajo lodo bentonítico. La camisa actúa como moldaje o encofrado para confinar el hormigón en el tramo de agua. En algunos casos la camisa también puede aportar desde el punto de vista estructural.

Otro caso donde se requiere instalar camisas perdidas es cuando se prevé la existencia de oquedades o cavernas, con el fin de contener el hormigón. También puede ser necesario utilizar camisas perdidas en caso de terrenos muy blandos.

Es habitual observar proyectos donde se especifica el uso de camisas perdidas con el fin de controlar fallas constructivas por presencia de napas artesianas. Al respecto, cabe destacar que las medidas prioritarias para controlar una napa artésiana se explican en el apartado anterior. El uso eventual de una camisa perdida para controlar la napa artésiana no sería necesario si la sobrepresión hidrostática (del agua o fluido de excavación o del hormigón fresco) dentro de la perforación se mantiene durante todo el proceso.

NORMAS Y RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

En Chile, para puentes viales, todo lo relativo a pilotes preexcavados está referenciado en el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad.

Internacionalmente existen normas y recomendaciones modernas y relevantes que cubren el diseño y/o la construcción de pilotes de gran diámetro.

Dentro de ellas, merecen citarse las siguientes: la Norma Europea EN 1536:2011, "Ejecución de trabajos geotécnicos especiales: Pilotes perforados" (cubre aspectos constructivos y no trata temas relativos al diseño) y la Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods, Federal Highway Administration FHWA NHI-10-016 (Mayo 2010) (cubre aspectos constructivos y de diseño en base a AASHTO).

ENSAYOS DE INTEGRIDAD

Actualmente en Chile se ejecutan dos tipos de ensayos de integridad:

1. Ensayo eco e impedancia mecánica: estos ensayos se ejecutan de acuerdo a la norma ASTM D5882-00 (Low Strain Integrity Testing). El ensayo consiste

básicamente en medir la respuesta dinámica provocada por la aplicación de una pequeña fuerza axial en la cabeza de un pilote mediante un martillo de mano. Este ensayo es económico y fácil de realizar. Sin embargo, choca con la limitación por la atenuación de la señal, que depende de la esbeltez de los pilotes (relación entre la longitud y el diámetro L/D) y los diámetros.

En suelos blandos, pueden interpretarse bien los registros de pilotes con esbelteces de hasta 30:1 o superiores, mientras que en terrenos más resistentes y rígidos puede haber problemas incluso para esbelteces inferiores a 20:1. La norma francesa limita este tipo de ensayos a esbelteces entre 10 y 30, y aplicables a diámetros de pilotes inferiores a 1,00 m (recomendaciones para la ejecución e interpretación de ensayos de integridad de pilotes y pantallas "in situ" - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (España)). Por lo tanto, podría ser cuestionable su aplicabilidad para los pilotes habituales para puentes en Chile, los cuáles normalmente se ejecutan en diámetros superiores a 1,00 m y en suelos relativamente rígidos, no obstante aun así es recomendable su utilización.

2. Transparencia Sónica o "Cross -Hole" Sonic Logging (CSL) (Figura 9): Este ensayo se ejecuta de acuerdo a la norma ASTM D 6760 y consiste en medir la propagación de una onda de ultrasonido a través del hormigón. Para ello se dejan tubos instalados en el hormigón, normalmente amarrados firmemente a la armadura en su interior, en un número que depende del diámetro del pilote. El ensayo se realiza en cada par de tubos instalados, descendiendo una sonda emisora en uno de ellos, mientras en el otro se desciende una sonda receptora. Una vez que las sondas alcanzan el fondo de los tubos, se elevan ambas en forma sincronizada, mientras la sonda emisora emite un impulso acústico en un determinado rango de frecuencias que es captado por la sonda receptora. La unidad de control del equipo registra las señales y las almacena para su posterior tratamiento y representación. La integridad del hormigón entre fuente emisora y receptor se analiza en base a dos resultados del ensayo: velocidad de la onda y fuerza de la señal.

Según la norma ASTM, se recomienda instalar un mínimo de 4 tubos para pilotes de diámetro 1,00 m y seis tubos para pilotes de diámetro 1,50 m. La cantidad de tubo varía sin embargo entre las diferentes normas. La única desventaja que posee este ensayo, es que requiere instalar los tubos antes de decidir la realización del mismo. CEDEX recomienda dejar tubos instalados en el 100% de los pilotes en obras de importancia o donde las condiciones de ejecución sean difíciles. Luego se pueden realizar más o menos ensayos, de acuerdo a los resultados de los primeros

que se seleccionen.

Según la FHWA este ensayo es el más utilizado actualmente en Estados Unidos para la evaluación de la integridad de pilotes de gran diámetro. Según CEDEX es el ensayo que corresponde utilizar en pilotes de grandes diámetros (mayor a 1,00 m) y profundidades. En Chile, se ha venido realizando en forma más frecuente el ensayo Eco o Impedancia Mecánica. Como conclusión, se recomienda una mayor utilización del ensayo CSL en el país, cuando se trate de pilotes de diámetros 1,00 m o superiores, y longitudes sobre 20 m.

Importante destacar que el Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad cuenta con equipos y personal calificado para realizar ensayos de integridad en pilotes.

ENSAYOS DE CARGA

La realización de ensayos de carga estáticos en pilotes de gran diámetro es poco frecuente en Chile. Existen antecedentes de ensayos de carga en obras industriales, mineras u otras obras civiles, pero prácticamente no existen antecedentes de ensayos de carga estáticos en pilotes preexcavados ejecutados para fundación de puentes.

Los ensayos de carga estáticos que se han ejecutado, han sido básicamente de dos tipos:

1. Ensayo de carga estático "clásico" con carga en cabeza

En este ensayo, se construye una estructura de reacción, conformada normalmente por anclajes al terreno (Figura 10). Se instala una estructura metálica con forma de corona sobre el pilote, a la que se conectan todos los anclajes de reacción. El gato o los gatos hidráulicos se instalan entre corona y pilote.

Este tipo de ensayos es muy costoso por la estructura de reacción necesaria, cuando se sobrepasan aproximadamente las 800 a 1000 ton de carga de prueba.

.2. Ensayo con celda de Osterberg

La celda de Osterberg es un dispositivo para ensayar los pilotes con carga estática, mediante un dispositivo (celda) instalado en el cuerpo del pilote (Figura 11), normalmente en la punta. La celda consiste en un cilindro hidráulico, accionado mediante agua, con el que se aplica una carga ascendente y descendente simultáneamente. En Chile se había aplicado este método en obras industriales o mineras. En el puente Chacao es la primera vez que se considera en una estructura tipo puente.



■ Trépano. Fuente: elaboración propia.

Mediante instrumentación aplicada a lo largo del pilote, es posible medir la carga axial a diferentes cotas durante el ensayo y consecuentemente es posible deducir la resistencia por fuste durante cada escalón de carga. Eso permite conocer la carga de fuste máxima alcanzada en los diferentes estratos y la carga de la punta.

PILOTES PREEXCAVADOS EN EL PUENTE CHACAO

El Puente Chacao, ubicado en la región de Los Lagos, es un puente colgante multivano asimétrico con una longitud total de 2.750 m y dos vanos principales de 1.155 m y 1.055 m (Figura 12). El puente tiene tres vanos suspendidos, un viaducto en el acceso sur y tres pilas de hormigón armado: la norte de 199 m, la central de 157 m de forma Y invertida y la pila sur de 157 m. El tablero es un cajón ortotrópico de acero con un ancho total de 25 m.

Las fundaciones de los estribos norte y sur, de las tres pilas y del viaducto sur son del tipo profundas en

bases a pilotes preexcavados de hormigón armado, de acuerdo a lo siguiente:

.1 Pilotes Pila Norte

La ejecución de los pilotes de la Pila Norte se realiza desde una plataforma tipo Jack Up, en forma continua hasta completar el hincado de las camisas hasta la cota definida en los planos de diseño, utilizando para el hincado un martillo hidráulico. Previo a la hinca de las camisas se instala un marco guía para asegurar máxima precisión durante el posicionamiento de la camisa y minimizar los movimientos laterales durante el hincado. Se instalan luego las camisas permanentes de 2.650 mm de diámetro. La segunda fase consiste en la excavación de cada pilote por el interior de la camisa y que por su longitud se debe realizar por medio de equipo RCD (Reverse Circulation Drilling, por su sigla en inglés, o Perforación de Circulación Inversa) (Figura 13) con apoyo de una grúa de servicio ubicada en la plataforma de trabajo norte. Una vez alcanzada la cota de punta o sello del pilote, y luego de aproximadamente una hora (de acuerdo a la velocidad de sedimentación del suelo en suspensión en el polímero), se limpia el fondo de la excavación



■ Camisa pilotes Puente Chacao. Fuente: elaboración propia.

mediante inyección de aire comprimido.

Con el objetivo de verificar que la inclinación del pilote sea menor a 1.5/100 (1.5%) se mide la verticalidad de la excavación con empleo de un equipo de Monitoreo ultrasónico de la perforación marca Koden DM602/604.

El equipo está compuesto de un sensor de emisión-recepción de ultra sonido y un registrador. El sensor se posiciona en el centro del pilote y guinchos lo hacen bajar a lo largo del mismo. Continuamente el equipo emite ondas de ultrasonido en 2 direcciones ortogonales y en ambos sentidos. Estas ondas rebotan en las paredes y devuelven la señal al mismo sensor. En función de la velocidad de propagación de la onda y el tiempo que le toma al equipo recibir de nuevo la misma (rebote), el equipo calcula y grafica en tiempo real en papel la posición de las paredes del pilote. El equipo no emite un resultado numérico, el cálculo o interpretación del gráfico se realiza a posteriori.

Posteriormente, para cada pilote, una vez terminada la excavación, se instala la armadura por tramos de aproximadamente 12 m cada uno. Algunas jaulas de armaduras de pilotes consideran el caso de canastillos con estribo doble (estribo interior y exterior) (Figura 15). Completada la instalación de las jaulas de armaduras, en caso de que se encuentren sedimentos en el fondo del pilote se usa el sistema air lift para su limpieza el cual opera mediante el bombeo de aire por dentro de una tubería más pequeña y hacia el fondo de la línea. El aire llega hasta el fondo de la excavación generando el ascenso del fluido por dentro de la tubería más grande hacia la superficie.

Para el hormigonado del pilote se utiliza un tubo



■ Ensayo Transparencia Sónica. Fuente: elaboración propia.

tremie. El tubo tremie tiene un diámetro interior mínimo de 250 mm, utilizando de preferencia uno de 343 mm. Finalmente se realiza el descabezado del pilote, retirando el hormigón contaminado.

2 Pilotes Pila Central

Se utilizan la plataforma tipo Jack Up, el marco guía y un vibromartillo hidráulico que inserta las camisas en el suelo por medio de un movimiento vibratorio. Se instala en primer término una camisa provisoria de 3.000 mm de diámetro y luego las camisas permanentes de 2.650 mm de diámetro. Las camisas son previamente soldadas en el área norte del Canal de Chacao hasta conformar su longitud total para su transporte hasta el Jack Up mediante barcaza e izaje posterior hasta la posición vertical.

Se emplea una máquina perforadora por rotación (equipo pilotera hidráulica) para la excavación. Además se incorpora durante la excavación un fluido estabilizador (polimero).

Posteriormente se instala la jaula de barras de acero. Luego de la instalación de la jaula, en caso que se encuentren sedimentos en el fondo del pilote se usa el sistema air lift para su limpieza. Para el hormigonado del pilote se utiliza un tubo tremie. Finalmente se realiza el descabezado del pilote.

3 Pilotes en Tierra

La ejecución de los pilotes en tierra, es decir, pila sur, estribos norte y sur y viaducto sur se realiza empleando una maquina pilotera y lodos poliméricos.

Se utiliza una máquina perforadora por rotación (Figura

16), comúnmente conocida como equipo pilotera para pilote in situ. Se considera la colocación de una camisa temporal o provisoria utilizando un vibromartillo (las camisas son de 2.600 mm o 1.600 mm de diámetro dependiendo del diámetro del pilote a ejecutar). A medida que se excava se incorpora a la excavación un fluido estabilizador (polimero) para sostener las paredes de la excavación del pilote. Posteriormente se instala la armadura de refuerzo. Luego de la instalación de la jaula, en caso que se encuentren sedimentos en el fondo del pilote se usa el sistema air lift para su limpieza. Para el hormigonado se utiliza un tubo tremie de 343 mm de diámetro. Finalmente se realiza el descabezado del pilote.

4 Migración de Cloruros

La vida útil de diseño para el puente Chacao es de 100 años. Para lo anterior el contrato considera la implementación de una estrategia de durabilidad. Esta estrategia considera, entre otros, realizar ensayos para calcular la medición, directa o indirecta, del coeficiente de difusión de cloruro del hormigón. Por lo anterior se incorpora la Prueba de Migración de Cloruro NT Build, la cual aplica a los pilotes realizados en tierra.

Es importante destacar que el Puente Chacao es la primera obra vial que incorpora este ensayo.

5 Ensayos de Integridad en Pilotes

Para evaluar la integridad y la calidad del hormigón de todos los pilotes del proyecto se realiza el ensayo de Transparencia Sónica o "Cross -Hole".

6 Pilotes de Prueba

El proyecto considera la ejecución de tres pilotes de prueba, ubicados en las inmediaciones de las pilas, adicionales a los pilotes que forman parte de las fundaciones del puente. Es la primera obra de infraestructura vial tipo puente que considera este ensayo en Chile.

Los pilotes de prueba consideran un diámetro de 2,5 m. Dos se emplazan en el Canal de Chacao, es decir bajo agua, en sector de la Pila Norte y la Pila Central, y uno en seco en el sector de la Pila Sur.

Las longitudes de los pilotes de prueba son 90 m, 54 m y 60 m en la Pila Norte, Pila Central y Pila Sur respectivamente.

En los pilotes de prueba se realizan ensayos de carga (ensayo con celda de Osterberg) con el fin de obtener información medida en el mecanismo de transferencia de carga asociado con la resistencia en punta y fuste

del pilote. Se realiza un ensayo estático de carga axial a compresión aplicando celdas bidireccionales para el ensayo vertical.

Los objetivos del ensayo estático de carga axial son:

- Verificación de la resistencia al fuste del pilote en diferentes capas de suelo
- Verificación de la resistencia en punta del pilote
- Información del mecanismo de transferencia de carga
- Verificación del método de construcción de la perforación del pilote que se utilizará para los pilotes de las fundaciones

La prueba de carga bidireccional se realiza aplicando la carga con una o más gatas de sacrificio ubicadas entre una placa de soporte superior y otra inferior dentro del pilote. La prueba se desarrolla utilizando la parte superior del pilote como reacción contra la base y contra la parte inferior de éste.

Luego de un tiempo prudente de curado para obtener suficiente resistencia en el pilote, las celdas bidireccionales son presurizadas para romper los puntos de soldadura que las mantienen unidas y de esta forma "separar" el pilote en una porción superior y otra inferior.

Luego, la presión puede aplicarse nuevamente de manera incremental para comenzar a generar la carga bidireccional a las secciones superior e inferior del pilote.

Dado que el pilote debe separarse en el punto de ubicación de la celda bidireccional, la armadura no debe tener continuidad en ese punto.

La máxima carga de prueba está limitada por la resistencia axial máxima del pilote por arriba o por debajo de la celda, o la capacidad máxima de la celda, o la máxima expansión de las celdas bidireccionales (250 mm).

Se deben tomar al menos cuatro muestras del hormigón usado en el pilote para ensayarlas a compresión. Una de estas muestras debe ser ensayada antes de la prueba de carga para determinar la resistencia mínima del hormigón y dos muestras se ensayarán el día de la prueba para obtener la resistencia a la compresión no confinada y el módulo de elasticidad del hormigón.

Por otra parte, en cada pilote de prueba se evalúa la integridad del pilote y la calidad del hormigón mediante el ensayo de Transparencia Sónica o "Cross -Hole".

7 Características del Hormigón de los Pilotes

El proyecto considera el diseño de hormigones de alto desempeño (G30 para pila norte y central y G40 para pilotes en tierra) y autocompactantes (diámetro de flujo 70 cm) (Figura 18), donde además utiliza un cemento especialmente desarrollado para el proyecto, de nombre "Cemento Especial Chacao", cuyas características le confieren al hormigón una alta compacidad y resistencia mecánica, baja permeabilidad, buen comportamiento térmico y resistente a los agentes agresivos externos propios del ambiente marino.

El "Cemento Especial Chacao", corresponde a un cemento siderúrgico de acuerdo con la clasificación de la Norma Chilena NCh 148.Of68, con uso de escoria proveniente de la industria del acero y que para este cemento está presente en una proporción del 69% del total, lo que confiere al hormigón principalmente propiedades de durabilidad.

Para la pila central, se considera el suministro de hormigón desde una planta ubicada en una estructura temporal, la cual se abastece de materiales desde el sector norte del Canal de Chacao

8 Conectores Mecánicos en Pilotes

El diseño del Puente Chacao considera el uso de conectores mecánicos para dar continuidad a las barras de refuerzo longitudinales de los pilotes preexcavados.

Los conectores mecánicos se utilizaron por primera vez en una obra de infraestructura vial en Chile en el diseño del Viaducto Amolanas, ubicado en la Ruta 5 Norte en la región de Coquimbo y construido en la década de los 90, en particular para dar continuidad a barras de refuerzo que se ubicaban en las pilas de la infraestructura. Posterior a aquello, se emplearon conectores mecánicos para dar continuidad de barras de acero en activos tipo puentes como como solución a problemas puntuales que se generaron en la fase de construcción de algunas estructuras, pero nunca en pilotes preexcavados. En la actualidad, se emplearon conectores mecánicos en los pilotes preexcavados del Puente Industrial, ubicado en la región del Biobío, y que es desarrollado por la Dirección General de Concesiones.

IMPLEMENTACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN ACCELERADA EN PILOTES

La Construcción Acelerada de Puentes (ABC por sus siglas en inglés: Accelerated Bridge Construction) es un método de construcción de puentes que utiliza

la combinación más eficiente de planificación, diseño, materiales y técnicas de construcción innovadoras para reducir los impactos relacionados con la construcción, al reducir la cantidad de días de construcción en terreno y/o minimizar la interrupción del tráfico. Significa construir componentes del puente fuera del sitio y luego transportarlos al sitio de trabajo para su instalación. Entre sus beneficios están: reducir el tiempo total de entrega del proyecto, aumentar la seguridad de la zona de trabajo y disminuir las demoras en el trabajo relacionadas con aspectos climáticos, entre otros.

Una tendencia que se ha visto en los últimos años, y que va en la línea de la Construcción Acelerada, es la fabricación de jaulas de acero de refuerzo de pilotes preexcavados que se construyen fuera de la obra y posteriormente se trasladan a la misma (Figura 21). Lo anterior se genera con la incorporación del uso de barras de acero soldable a la versión del año 2018 del Manual de Carreteras, aumentando con ello el empleo de este material en los diseños de puentes. Esta tendencia se vio también potenciada con la publicación el año 2014 de la NCh 3334 (Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado - Requisitos), la cual también se referencia en el Manual de Carreteras.

FUTUROS DESAFÍOS EN TORNO A LOS PILOTES

Como parte de los futuros desafíos que se tienen en torno a los pilotes preexcavados están:

- Actualización de la especificación técnica 5.509 Pilotes del Manual de Carreteras, particularmente en lo referido a Hormigones. Este trabajo debiese ser parte de un convenio de colaboración que se trabaja entre la Dirección de Vialidad y el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- Incorporación a la especificación técnica 5.509 Pilotes de un protocolo de recepción de pilotes. Lo anterior se está trabajando al interior del Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad.
- Incorporación a la especificación técnica 5.509 Pilotes de las mejores prácticas que se han realizado en proyectos emblemáticos, como por ejemplo el Puente Chacao, y que pueden ser incorporadas en futuros proyectos de puentes singulares. Entre estas prácticas están el uso de pilotes de prueba, realización de pruebas de carga, uso de equipos para control de verticalidad de excavación, implementación de construcción acelerada, entre otros.
- Empleo de piloteras de baja altura en refuerzo de puentes.

INNOVACIÓN EN JUNTAS DE DILATACIÓN PARA PUENTES: EXPERIENCIA POLYSET COLOMBIA Y APLICACIÓN EN CHILE

Por: Oscar Ricardo Patiño Vargas
Gerente General Grupo Imexcon Colombia

INTRODUCCIÓN

Las juntas de dilatación son elementos críticos en la infraestructura de transporte, diseñadas para acomodar movimientos estructurales sin afectar la funcionalidad de los puentes. En Colombia, el grupo Imexcon Latam, ha desarrollado un sistema que integra juntas POLYSET [USA] con mano de obra calificada. Esta solución ofrece una alternativa de alto rendimiento al costo de las soluciones convencionales, resolviendo así la problemática de complejidad técnica, altos costos de construcción y mantenimiento que tradicionalmente ha sido la mayor fuente de reclamaciones en los proyectos de vías y puentes.

INNOVACIÓN TÉCNICA VALIDADA EN CAMPO

Desde 2018, Colombia ha instalado más de 5.000 metros lineales de juntas Polyset, con resultados sobresalientes. Los componentes principales incluyen:

- Bloques de concreto elastomérico (Ply-Krete): Diseñados para disipar energía de impacto mediante deformación elástica. En el corredor de Transmilenio de las Américas con Avenida 68 en Bogotá, estos bloques han soportado más de 1.200 buses articulados diarios, durante 6 años sin presentar daños estructurales significativos.
- Sello elástico (Ply-Seal): Permite movimientos

multidireccionales de hasta 100% a cortante, 60% a compresión y 30% a tracción, garantizando impermeabilidad total incluso en condiciones de lluvia intensa y exposición solar directa. Cuenta además con resistencia a derivados del petróleo y se adapta fácilmente a las diferentes aperturas de junta.

- Sistema de adhesión: La combinación de Ply-Primer LV y Ply-Bonder, ha probado ser crucial para el éxito del sistema, especialmente en zonas con alta precipitación. Estos elementos han sido diseñados y probados por más de 50 años en USA y el mundo. No existe anclaje mecánico en los Sistemas de Juntas Polyset.

Nuestra experiencia en Colombia ha demostrado que el sistema puede manejar eficientemente aperturas de hasta 120MM, siendo especialmente efectivo en las condiciones típicas de los puentes chilenos.

Un excelente caso de aplicación son las juntas del puente Opón en el corredor que comunica a Bogotá con los puertos de la costa Atlántica, uno de los corredores con mayor carga del país.

En esta aplicación se repararon las bases de las juntas, se reforzaron los bordes, se amplió el tamaño de la reparación para recuperar el pavimento aledaño con problemas de fisuración y se instaló el sistema de junta Polyset sobre una base firme.

El caso más representativo es el del sistema Transmilenio en Bogotá, donde implementamos una prueba comparativa directa entre Elemento de Transición Ply-Krete de Polyset y sistemas



Daño en bloque de concreto y pérdida de sello



Daño en bloque de concreto y pavimento adyacente



Daño en el bloque de transición por degradación del material

Material	Resultados en Campo (Colombia)	Aplicabilidad en Chile
Ply-Krete	- 6 años sin fallas en tráfico pesado - Cero desprendimientos - Resistencia comprobada a hidrocarburos – Sin agrietamientos.	- Ideal para zonas de alta carga - Compatible con climas variables - Excelente para puentes urbanos
Ply-Seal	- Impermeabilidad total - Flexibilidad mantenida - Sin degradación UV ni desgaste	- Perfecto para zonas costeras - Adaptable a variaciones térmicas - Resistente a condiciones extremas
Sistema de Adhesión	- Sin despegues en 6 años - Adherencia perfecta - Resistente a ciclos térmicos	- Ideal para clima chileno - Compatible con hormigones locales - Excelente durabilidad

tradicionales. Después de 2 años de servicio intensivo, los resultados son contundentes: Mientras las secciones con POLYSET mantienen su integridad estructural, las secciones tradicionales han requerido múltiples intervenciones.

BENEFICIOS COMPROBADOS EN CAMPO

1. Durabilidad excepcional: En Colombia, hemos documentado una vida útil superior a 10 años en condiciones de tráfico extremo, sin necesidad de mantenimiento mayor.
2. Eficiencia en instalación: Nuestros equipos han logrado optimizar los tiempos de instalación a menos de un día por junta, minimizando el impacto en el tráfico minimizando las congestiones de tráfico.
3. Costo-beneficio superior: El análisis de ciclo de vida en Colombia demuestra una reducción del 30% en costos operativos.
4. Desempeño acústico: Mediciones en campo muestran una reducción del 30% en niveles de ruido comparado con juntas convencionales con elementos metálicos, dentro de otros.

RECOMENDACIONES PARA CHILE

Basado en nuestra experiencia, el sistema POLYSET puede ofrecer beneficios significativos para las

carreteras chilenas:

- Garantía de cero filtraciones, crucial para la preservación estructural
- Reducción significativa en costos de mantenimiento
- Mejora en la experiencia del usuario final [confort al conducir por sobre las juntas]
- Excepcional rapidez en puesta en servicio [especialmente durante trabajos nocturnos]

CONCLUSIONES

Como Gerente General para Colombia, he sido testigo directo de cómo la tecnología Polyset ha redefinido los estándares de construcción y mantenimiento vial en nuestro país. Su éxito en proyectos clave ofrece un modelo replicable para Chile, especialmente en corredores concesionados y puentes críticos. La combinación de durabilidad comprobada, eficiencia en instalación y beneficios económicos a largo plazo hace de Polyset una inversión estratégica para el futuro de la Infraestructura Vial chilena.

Para acceder al artículo completo, visite www.contek.cl/noticias



Soluciones Viales Contek Ingeniería

- **JUNTAS DE DILATACIÓN COMPRESIBLES PUENTES Y ATRAVIESOS PEQUEÑAS - MEDIANAS APERTURAS [30MM-110MM].**
- **JUNTAS DE DILATACIÓN MODULARES PUENTES Y ATRAVIESOS GRANDES APERTURAS [110MM-500MM].**
- **PLACAS Y TOPES DE NEOPRENO**
Conforme Manual de Carreteras.
- **BARRAS ANTISÍSMICAS**
Conforme Manual de Carreteras.
- **CONECTORES & TERMINALES MECANICOS**
Type-2, para Zona Sísmica, Todos los tipos y diámetros.
- **CUBREJUNTA METÁLICA PEATONAL**
Aluminio Certificado con huella antideslizante.
- **IMPERMEABILIZACIÓN DE TABLEROS.**
- **MITIGACIÓN DE EFLORENCIAS.**
- **OTRAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.**



CONTEK
Construction Technologies
www.contek.cl



EL PLAN DE SUCESIÓN INSTITUCIONAL: CONSTRUYENDO EL FUTURO DE LA DIRECCIÓN DE VIALIDAD



Por: Michel Hernández Miranda
Subdirector de Gestión, Desarrollo de Personas y Administración

En un mundo en constante cambio, las instituciones enfrentan el desafío de mantener su continuidad operativa mientras aseguran la calidad en la entrega de servicios públicos. Con esto en mente, en la Dirección de Vialidad hemos desarrollado el Plan de Sucesión Institucional, una iniciativa estratégica que no solo resguarda el conocimiento técnico y operativo, sino que también prepara a las próximas generaciones de líderes para enfrentar los desafíos del futuro.

¿QUÉ ES EL PLAN DE SUCESIÓN INSTITUCIONAL?

Este programa está diseñado para garantizar la transición eficiente en cargos clave, fortaleciendo la gestión del conocimiento y promoviendo el aprendizaje continuo. Implementado inicialmente en regiones como Valparaíso, Biobío, Araucanía y Los Lagos, el plan contempla herramientas innovadoras que han demostrado ser efectivas en la transferencia de saberes y la preparación de nuevos líderes. Entre el 2020 y el 2023 trabajamos con los cargos: Jefe Departamento Laboratorio Nacional, Jefe de Departamento de Construcción, Jefe de Departamento de Maquinarias, Jefe de Departamento de Puentes y Jefe de Departamento de Medio Ambiente y Territorio.

ELEMENTOS CLAVE DEL PLAN

1. Definición de expectativas del cargo: Establecemos estándares claros sobre las responsabilidades y competencias necesarias para cada rol estratégico.

2. Mapas relacionales: Identificamos redes de colaboración y las dinámicas que estructuran el trabajo de los cargos clave.
3. Líneas de tiempo: Documentamos experiencias y aprendizajes clave que ayudan a mejorar los procesos actuales y a evitar errores del pasado.
4. Entrevistas por competencias: Mostramos cómo las habilidades necesarias se aplican en situaciones concretas, resguardando así valiosas lecciones prácticas.
5. Cantera del conocimiento: Reunimos y compartimos fuentes críticas de información y habilidades esenciales, asegurando que ningún conocimiento se pierda en la transición.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

El Plan de Sucesión no es solo una herramienta operativa; es una inversión estratégica. Al garantizar que los futuros ocupantes de cargos clave estén preparados, promovemos la estabilidad institucional y mejoramos nuestra capacidad para enfrentar crisis y desafíos. Este esfuerzo no solo beneficia a las personas directamente involucradas, sino que también fortalece la colaboración entre regiones y el aprendizaje organizacional, creando una cultura de mejora continua.

IMPACTO Y APRENDIZAJES

- Continuidad operativa: Los cargos críticos están cubiertos con personas capacitadas y listas para asumir los desafíos.
- Gestión del conocimiento: Aseguramos que los saberes técnicos y estratégicos sean transferidos de manera efectiva.
- Adaptación regional: Reconocemos las particularidades de cada región, implementando soluciones a la medida.

Desde mi rol como Subdirector, estoy convencido de que este plan puede ser un modelo replicable, no solo en otras áreas del sector público, sino también en organizaciones privadas. El conocimiento es poder solo si se comparte, y este plan es una muestra clara de cómo el trabajo colaborativo y la planificación estratégica pueden transformar la forma en que enfrentamos los desafíos.



**OTCE
CAPACITACIÓN
SPA**



CAPACITACIONES EN 3 MODALIDADES

- **PRESENCIAL**

• **E-LEARNING**
(Aula Virtual + Clases Streaming)
- **BI-LEARNING**
(Presencial + E-Learning)

📍 Av. Providencia 727 of. 302

✉ contacto@otce.cl

📞 +569 7986 4134

🌐 www.otce.cl
www.otce.cl/aulavirtual






CONTACTENOS
Riveradrill.cl



PROSPECCIONES GEOTECNICAS



PROSPECCIONES
GEOLÓGICAS Y GEOFÍSICAS



SONDAJES
**GEOTECNICOS TERRESTRES Y
MARINOS**



ESTUDIOS
SUELOS E IMPACTO AMBIENTAL

Más de 25 años de experiencia en el desarrollo de proyectos de geotecnia en todo Chile, con personal altamente capacitado y herramientas necesarias para lograr el éxito en cada uno de los proyectos que llevamos adelante.



SONDAJES
GEOTECNICOS
TERRESTRES



SONDAJES
GEOTECNICOS
MARINOS

