



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUAR EL NIVEL DE APLICABILIDAD DE LOS FACTORES DE
CONSTRUCTABILIDAD EN CARRETERAS DE CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

FERNANDA PAZ SILVA TORRES

PROFESOR GUÍA:
JORGE PULGAR ALLENDES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
EDGARDO GONZÁLEZ LIZAMA
WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE

2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL
POR: FERNANDA PAZ SILVA TORRES
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: JORGE PULGAR ALLENDES

EVALUAR EL NIVEL DE APLICABILIDAD DE LOS FACTORES DE CONSTRUCTABILIDAD EN CARRETERAS DE CHILE

El presente trabajo de título tiene como objetivo evaluar el nivel de aplicación de los distintos factores de la constructabilidad en carreteras de Chile. Este permite una mejor gestión de los proyectos llevando la experiencia de la construcción a etapas tempranas, lo que permite una mejora en la productividad.

Para esto se realizaron cuatro entrevistas a profesionales de la construcción para determinar las problemáticas existentes que tiene el sistema actual y demostrar la utilidad de la constructabilidad.

Por otro lado, se realizaron dos entrevistas a profesionales de organismos como: Dirección de Vialidad y el Consejo de Construcción Industrializada para conocer el nivel de conocimiento de la constructabilidad a nivel de organizaciones. Además se realizó una encuesta a profesionales del área de diseño, construcción o planificación de obras de carreteras. Lo anterior con el fin de identificar la aplicación de estos factores y las principales barreras que afectan su aplicación.

A modo general se obtuvo que existe un nivel alto tanto para el nivel de conocimiento como aplicación de los principios y herramientas.

A mi familia y amigos.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, Patricio y Alejandra y a mis hermanas Beatriz y Camila por siempre entregarme el apoyo y comprensión que necesitaba. También a mis amigos Barbe, Francisca y Fabiola por estar a lo largo de toda la carrera y convertirse en grandes amistades.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Metodología	2
1.3.1. Revisión de bibliografía	2
1.3.2. Entrevistas y encuesta	3
1.3.3. Análisis cualitativo de resultados	3
1.3.4. Recomendaciones y buenas prácticas	3
1.4. Resultados esperados	3
1.5. Guía de lectura	4
2. Marco conceptual	5
2.1. Constructabilidad	5
2.1.1. Etapas de un proyecto	6
2.1.2. Características del proyecto	7
2.1.3. Principios	8
2.1.4. Barreras y restricciones	12
2.1.5. Aplicación internacional y nacional	13
2.1.5.1. Internacional	13
2.1.5.2. Nacional	16
2.1.6. Beneficios	16
2.2. Proyecto vial	16
2.2.1. Tipos de trabajos	16
2.2.2. Categorización de rutas	17
2.2.3. Estructura organizacional del proyecto	18
2.2.4. Etapa de diseño	18
2.2.5. Etapa de construcción	20
2.2.5.1. Maquinaria	23
2.2.5.2. Problemas existentes	23

4.1.3.3.1	Reducción de residuos de embalaje y movilización	48
4.1.3.3.2	Documentación y retroalimentación de los problemas	49
4.1.3.3.3	Utilización de métodos innovadores	50
4.1.4.	Herramientas de constructabilidad	51
4.1.4.1.	Diseño	51
4.1.4.2.	Construcción	52
4.1.5.	Barreras de implementación de constructabilidad	53
4.2.	Resumen de evaluación	54
5.	Recomendaciones y buenas prácticas	58
5.1.	Administrativo	58
5.1.1.	Tipo de Contrato	58
5.1.2.	Permisos	58
5.1.3.	Normativa	58
5.2.	Diseño	59
5.2.1.	Revisión	59
5.3.	Construcción	59
5.3.1.	Programación	59
5.3.2.	Métodos innovadores	59
5.4.	Empresarial	59
5.4.1.	Programa de constructabilidad	59
5.4.2.	Cultura	59
5.5.	Sustentabilidad	60
5.5.1.	Diseño y construcción	60
5.6.	Educacional	60
5.6.1.	Curso/Malla	60
5.7.	Herramientas	60
5.7.1.	Softwer 3D	60
5.7.2.	Documentación	60
5.8.	Resumen	61
6.	Conclusiones	62
6.1.	Dificultades en la construcción	62
6.2.	Evaluación de aplicabilidad	62
6.2.1.	Nivel y conocimiento	62
6.2.2.	Principios y herramientas	62
6.2.3.	Barreras	63
6.2.4.	Reflexiones	63
	Bibliografía	64
	Anexos	67

Anexo A. Cuestionario de entrevistas y encuestas	67
A.1. Entrevista a profesionales de la construcción	67
A.2. Entrevista a profesionales de organismos	68
A.3. Encuesta a profesionales	68
Anexos	71
Anexo B. Respuesta de entrevistas a profesionales de la construcción	71
B.1. Aldo Encina	71
B.2. Gabriel Opazo	72
B.3. Adolfo León Rodríguez	75
B.4. Francisco Rodríguez	76
Anexos	78
Anexo C. Respuesta de entrevistas a profesionales de organismos	78
C.1. Departamento de Vialidad	78
C.2. Consejo de Construcción Industrializada	79
Anexos	81
Anexo D. Resultados de encuesta	81

Índice de Tablas

2.1.	Lista de principios de constructabilidad para las distintas fases de un proyecto (Parte 1).	9
2.2.	Lista de principios de constructabilidad para las distintas fases de un proyecto (Parte 2).	10
2.3.	Equivalencias para la clasificación de Proyectos	17
3.1.	Resumen: Entrevista a profesionales de la construcción (Parte 1).	27
3.2.	Resumen: Entrevista a profesionales de la construcción (Parte 2).	28
3.3.	Resumen: Entrevista a profesionales de organismos.	31
4.1.	Nivel de frecuencia.	36
4.2.	Resumen de evaluación (Parte 1).	55
4.3.	Resumen de evaluación (Parte 2).	56
4.4.	Resumen de evaluación (Parte 3).	57
A.1.	Preguntas de entrevista a profesionales en la etapa de construcción.	67
A.2.	Preguntas de entrevista a profesionales del organismo.	68
A.3.	Preguntas de encuesta: Caracterización y nivel de conocimiento.	68
A.4.	Preguntas de encuesta: Principios.	69
A.5.	Preguntas de encuesta: Herramientas.	70
A.6.	Preguntas de encuesta: Barreras de implementación.	70
A.7.	Preguntas de encuesta: Aplicación.	70
D.1.	Respuestas de encuesta (Parte 1).	81
D.2.	Respuestas de encuesta (Parte 2).	82
D.3.	Respuestas de encuesta (Parte 3).	83
D.4.	Respuestas de encuesta (Parte 4).	84
D.5.	Respuestas de encuesta (Parte 5).	85
D.6.	Respuestas de encuesta (Parte 6).	86
D.7.	Respuestas de encuesta (Parte 7).	87

Índice de Ilustraciones

2.1.	El ámbito de la constructabilidad definido por CIRIA. Fuente: McGeorge & Palmer, 1997	6
2.2.	Capacidad para influir el costo final de un proyecto, a lo largo de su ciclo de vida. Fuente: Serpell, 2002	7
2.3.	Hoja de ruta de implementación de la constructabilidad Fuente: Thirion, 2019 adaptado de O'Connor, 2006.	14
2.4.	Actividades principales en la etapa de construcción. Fuente: Elaboración propia.	22
4.1.	Tipo de empleador. Fuente: Elaboración propia.	33
4.2.	Área de desempeño. Fuente: Elaboración propia.	34
4.3.	Años de experiencia. Fuente: Elaboración propia.	34
4.4.	Estructura Organizacional. Fuente: Elaboración propia.	35
4.5.	Conocimiento sobre el término de constructabilidad. Fuente: Elaboración propia.	35
4.6.	Revisión de métodos de construcción que incluyen reciclaje y sustentabilidad. Fuente: Elaboración propia.	36
4.7.	Utilización de programa de constructabilidad para el proyecto. Fuente: Elaboración propia.	37
4.8.	Integración de la experiencia de la construcción en la planificación. Fuente: Elaboración propia.	38
4.9.	Revisión de factores medioambientales. Fuente: Elaboración propia.	39
4.10.	El diseño facilita la construcción ante problemas climáticos. Fuente: Elaboración propia.	40
4.11.	Plano de Planta y Perfil Longitudinal - Mejoramiento y Reposición de ruta G-16 - Sector Lampa. Fuente: Mercado Público.	40
4.12.	Utilización de elementos prefabricados. Fuente: Elaboración propia.	41
4.13.	Barreras prefabricadas de hormigón - Ruta 115CH, Sector Quebrada Los Toros - Limite Paso Pehuenche. Fuente: Constructora FV [31].	41
4.14.	Revisión del diseño por parte del personal de construcción para minimizar el desperdicio de materiales y reciclaje. Fuente: Elaboración propia.	42
4.15.	Consideración de la seguridad y salud en las especificaciones de diseño. Fuente: Elaboración propia.	43
4.16.	Tiempo suficiente para la revisión del diseño para garantizar calidad. Fuente: Elaboración propia.	43
4.17.	Los diseños permiten una construcción eficiente. Fuente: Elaboración propia.	44

4.18.	Los diseños promueven la accesibilidad del personal, material y equipo. Fuente: Elaboración propia.	45
4.19.	Extracto de Planta Geométrica - Ruta 215-CH. Fuente: Mercado Público [12].	45
4.20.	Los elementos de diseño están estandarizados. Fuente: Elaboración propia.	46
4.21.	Perfil tipo 2 - Plano Geométrica PTL3. Fuente: Mercado Público [12].	46
4.22.	Utilización de herramientas y programas computacionales. Fuente: Elaboración propia.	47
4.23.	Reducción de residuos de embalaje y movilización. Fuente: Elaboración propia.	48
4.24.	Documentación y retroalimentación de los problemas. Fuente: Elaboración propia.	49
4.25.	Utilización de métodos innovadores. Fuente: Elaboración propia.	50
4.26.	Herramientas: Etapa de diseño. Fuente: Elaboración propia.	51
4.27.	Herramientas: Etapa de construcción. Fuente: Elaboración propia.	52
4.28.	Barreras de implementación. Fuente: Elaboración propia.	53
4.29.	Aplicación del concepto en carreteras. Fuente: Elaboración propia.	54
5.1.	Recomendaciones (Parte 1). Fuente: Elaboración propia.	61
5.2.	Recomendaciones (Parte 2). Fuente: Elaboración propia.	61

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Los diseños de ingeniería se han caracterizado por ir de menos a más: ingenierías conceptuales, ingenierías básicas e ingeniería de detalle durante su desarrollo. Cada cierto tiempo se han creado distintas herramientas o metodologías que permiten obtener mejores resultados en términos de productividad. Estas han ido variando a lo largo del tiempo adecuándose a las nuevas necesidades y cambios que ocurren.

Ante esta necesidad surge el concepto de constructabilidad que se define como: “El uso óptimo de los conocimientos y la experiencia en materia de construcción en la planificación, el diseño, la adquisición y las operaciones sobre el terreno para alcanzar los objetivos generales de un proyecto” (Construction Industry Institute) [5].

Dentro de los beneficios que anuncia el Constructibility Manual [7] se encuentra una reducción del costo entre un 6% al 23%, aumento de productividad, calendarios más precisos, entre otros.

En Chile la construcción vial representa un área importante dentro de los proyectos a desarrollar. Según la Corporación de Desarrollo Tecnológico [6], entre los años 2022 y 2026 representará un 34% del presupuesto total de la cartera de licitaciones con un valor aproximado de US \$4.532 millones.

Por otro lado, un estudio de Matrix Consulting [23] afirma que en Chile las obras viales tienen una productividad promedio de un 220% menor en comparación a los referentes internacionales.

Lo anterior, se ve reflejado directamente en los plazos y costos de los proyectos realizados en Chile. Esto motiva la idea de este Trabajo de Título.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el nivel de aplicabilidad de los factores de constructabilidad en carreteras de Chile.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las problemáticas existentes en la etapa de construcción de carreteras para justificar su uso.
- Identificar los principales factores como herramientas y principios de la constructabilidad aplicables a carreteras.
- Evaluar lo anterior para el contexto chileno entregando las medidas actuales y su nivel de frecuencia.
- Proponer recomendaciones y mejoras para los efectos más influyentes.

1.3. Metodología

A continuación, se presentan los pasos a seguir para cumplir con los objetivos anteriores:

1.3.1. Revisión de bibliografía

A través de la búsqueda bibliográfica como libros, revistas, normas y estudios relacionados a la constructabilidad aplicada a carreteras en otros países.

Con lo anterior se busca:

- Definir qué es la constructabilidad y su evolución en el tiempo.
- Determinar que es una carretera, cuáles son sus características de diseño y que proceso constructivo se utiliza actualmente en Chile.
- Analizar los principios de constructabilidad que pueden ser incorporados en cada etapa de un proyecto.
- Identificar las barreras para su aplicación.
- Ver qué variables afectan negativamente en la etapa de construcción.

Así, se busca conocer la situación global de la constructabilidad y el contexto de las carreteras en Chile.

1.3.2. Entrevistas y encuesta

En primer lugar, se realizarán entrevistas a profundidad a distintos profesionales como Ingeniero Civil, Constructor Civil, entre otros, que hayan participado directamente en la construcción de una carretera con el objetivo de obtener cuáles son las dificultades más usuales que ocurren en la construcción y sus efectos. Lo anterior para demostrar que la constructabilidad es una solución que permite mejorar estos aspectos.

En segundo lugar, para conocer la situación actual en Chile respecto al uso de la constructabilidad se prepara una encuesta orientada a profesionales que tengan experiencia en las etapas de planificación, diseño y/o construcción de obras viales. La aplicación de esta tiene por objetivos:

- Identificar el conocimiento sobre el concepto de constructabilidad
- Conocer la frecuencia de aplicación de los principios y herramientas en las etapas.
- Determinar barreras de la aplicación según expertos.

Además, se realizarán entrevistas a profesionales de organismos como el Departamento de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas y al Consejo de Construcción Industrializada para conocer el estado y conocimiento actual de constructabilidad.

1.3.3. Análisis cualitativo de resultados

En esta etapa se realiza un análisis de los resultados obtenidos de las experiencias de los profesionales con la existente en la literatura.

1.3.4. Recomendaciones y buenas prácticas

Con la información anterior se entregan recomendaciones para los factores y herramientas que se pueden mejorar para el sistema actual.

1.4. Resultados esperados

Los resultados esperados son los siguientes:

- Determinar los principales problemas que afectan a la construcción con el actual sistema.
- Saber cuánto se conoce respecto a la constructabilidad.
- Medir el nivel de aplicación de los principios de constructabilidad y conocer que herramientas se utilizan.
- Demostrar que es útil para aplicar en proyectos viales.
- Generar recomendaciones y buenas prácticas con base en lo obtenido.

1.5. Guía de lectura

En el capítulo 2 “Marco Conceptual” se plantean definiciones y conceptos que abordan la presente investigación, con el fin de facilitar su comprensión, a través de distintas fuentes como estudios, libros, normativas, entre otros. En este caso se indaga sobre la constructabilidad, carreteras y problemáticas en su construcción.

En el capítulo 3 se presenta una síntesis de las entrevistas realizadas a profesionales de la construcción y de organismos con su respectivo análisis y cuadro resumen.

El capítulo 4 expone el nivel de aplicación obtenido a través de la encuesta realizada a los profesionales de las áreas de planificación, diseño y construcción de carreteras respecto a los factores de constructabilidad. Lo anterior, se complementa con medidas y normativas actuales junto a sus respectivos análisis. Además, se realiza un resumen con el nivel y puntos aplicados actualmente para una mejor visualización.

El capítulo 5 entrega una suma de recomendaciones según las problemáticas y barreras identificadas. En el siguiente capítulo, se observan las conclusiones correspondientes del trabajo tras el análisis de los resultados obtenidos, destacando el nivel de aplicación obtenido.

Por último, se presenta la Bibliografía donde se enlista las distintas fuentes utilizadas a lo largo del trabajo en formato APA. A continuación, se encuentran los anexos con el detalle de las entrevistas, encuestas y la transcripción de las respuestas obtenidas.

Capítulo 2

Marco conceptual

En este capítulo se plantean las definiciones de los conceptos más relevantes para la realización de este trabajo a través de la búsqueda de distintas fuentes especializadas.

2.1. Constructabilidad

La primera definición fue entregada por el Construction Industry Research and Information Association la que consiste en: “la medida en que el diseño de un edificio facilita su construcción, en función de los requisitos generales del edificio terminado” (CIRIA, 1983, como se citó en Best & De Valence, 2002, p.113) [2].

Según Best & De Valence (2002) [2] lo descrito se interpreta como:

“El vínculo entre el diseño y la construcción implicaba que los factores que están únicamente bajo la influencia o el control del equipo de diseño son los que tienen un impacto significativo en la facilidad de construcción de un proyecto” (p.113).

Lo anterior, se complementa con la visión de otro autor que establece que “Este límite es bastante restrictivo, puesto que considera la constructabilidad como una actividad de diseño orientada a la producción. En este sentido, no existe consenso en cuanto a los límites de su ámbito” (McGeorge & Palmer, 1997) [24].

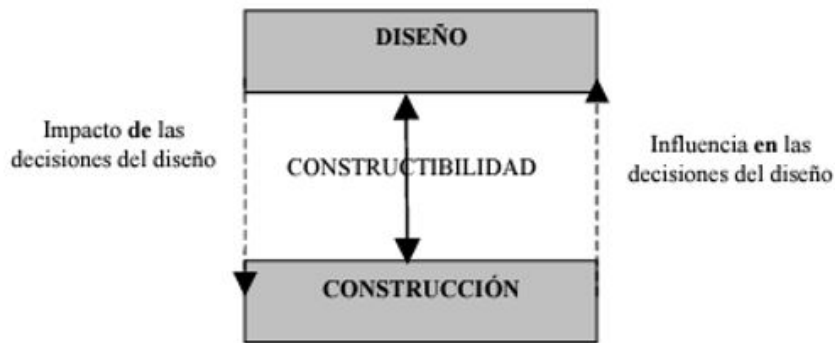


Figura 2.1: El ámbito de la constructabilidad definido por CIRIA.
Fuente: McGeorge & Palmer, 1997

En Estados Unidos el Construction Industry Institute CII (1986) citado en Best & De Valence (2002) [2] lo define como:

“La integración óptima de los conocimientos de construcción y la experiencia en planificación, ingeniería, adquisiciones y operaciones sobre el terreno en el proceso de construcción y el equilibrio entre los diversos objetivos del proyecto y las limitaciones medioambientales para alcanzar los objetivos generales del proyecto” (p.114).

Como se aprecia se tiene un alcance mucho más amplio, integrando no solo el diseño y construcción, sino que también otras etapas previas que será una de las grandes características de este concepto.

2.1.1. Etapas de un proyecto

La constructabilidad relaciona diversos principios que se pueden agrupar en las distintas etapas de un proyecto. Por lo tanto, es importante conocer cuáles son estas y en qué consisten.

El ciclo de vida de un proyecto se define como “la serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su conclusión proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto” (PMI, 2017) [34].

Como muestra la siguiente figura existe una relación entre el tiempo de la etapa y su capacidad de influir el costo. Y las fases que se pueden encontrar son:

- Planificación conceptual
- Diseño
- Adquisiciones
- Construcción

- Puesta en Marcha



Figura 2.2: Capacidad para influir el costo final de un proyecto, a lo largo de su ciclo de vida.

Fuente: Serpell, 2002

Además, como explica Serpell (2002) [37] se tiene que:

“El estudio de la constructabilidad ha orientado en forma importante sus esfuerzos hacia las etapas de diseño y adquisiciones, ya que en ellas existen muchas oportunidades donde aplicar la constructabilidad. Mientras que en la planificación conceptual la constructabilidad tiende a abordar los objetivos del proyecto, la organización y los planes generales de ejecución, durante las etapas de diseño y adquisiciones, se manifiesta en el mejoramiento del contenido de planos, especificaciones, órdenes de compra y programas” (p.60).

2.1.2. Características del proyecto

Para que un proyecto aplique correctamente y mejore el concepto debe cumplir con las siguientes características de acuerdo a lo explicado por Serpell (2002) [37]:

1. El dueño y los contratistas (diseño y construcción) están orientados a lograr la efectividad económica global del proyecto, reconociendo la alta influencia que tiene las decisiones iniciales sobre el desempeño de un proyecto.
2. Los administradores del proyecto (por parte del dueño, contratista, etc.) usan la constructabilidad como su mejor herramienta para lograr los objetivos del proyecto, en lo que respecta a costos y programas.
3. Estos administradores integrarán tempranamente la experiencia de construcción al proyecto. Esto significa encontrar el tipo apropiado de personal especializado en construcción, con una comprensión acabada de la forma en que un proyecto es planeado, diseñado y construido.

2.1.3. Principios

Existen una lista de principios que varían según la literatura estudiada. A continuación, se expone una general para luego detallar según la etapa estudiada.

Según el CIRIA citado en Griffith & Sidwell (1996) [13] los factores principales son:

1. Integración: La constructabilidad debe ser una parte integral del plan del proyecto.
2. Conocimientos de construcción: La planificación de proyectos debe involucrar activamente el conocimiento y la experiencia de la construcción.
3. Habilidades del equipo: La experiencia, las competencias y la composición del equipo del proyecto deben ser apropiadas para el proyecto.
4. Objetivos Corporativos: La constructabilidad mejora cuando el equipo del proyecto comprende los objetivos corporativos y del proyecto del cliente.
5. Recursos disponibles: La tecnología de la solución de diseño debe ajustarse a los conocimientos y recursos disponibles.
6. Factores externos: Los factores externos pueden afectar al coste y/o al programa del proyecto.
7. Programa: El programa general del proyecto debe ser realista y sensible a la construcción, y contar con el compromiso del equipo del proyecto.
8. Metodología de construcción: El diseño del proyecto debe tener en cuenta la metodología de construcción.
9. Accesibilidad: La constructabilidad mejorará si la accesibilidad de la construcción se tiene en cuenta en las fases de diseño y construcción del proyecto.
10. Especificaciones: La constructabilidad del proyecto mejora cuando se tiene en cuenta la eficiencia de la construcción en el desarrollo de las especificaciones.
11. Innovación en la construcción: El uso de técnicas innovadoras durante la construcción mejorará la construcción.
12. Feedback: La constructabilidad puede mejorarse en futuros proyectos similares si el equipo del proyecto realiza un análisis posterior a la construcción.

De lo anterior, se interpreta que debe existir un compromiso temprano de la aplicación del concepto tanto del cliente como de la empresa que trabajara. Si se analiza con mayor detalle según la etapa del proyecto se tienen los siguientes principios:

Tabla 2.1: Lista de principios de constructabilidad para las distintas fases de un proyecto (Parte 1).

<p>Fase de planificación conceptual</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los programas de constructabilidad se convierten en parte integrante de la ejecución del proyecto • La planificación del proyecto implica activamente el conocimiento y la experiencia de la construcción • La participación temprana de la construcción se tiene en cuenta en el desarrollo de estrategias de contratación • Los calendarios del proyecto son sensibles a la construcción • Los planteamientos básicos de diseño tienen en cuenta los principales métodos de construcción • La disposición de las obras favorece una construcción eficiente • Las tecnologías de la información avanzadas se aplican en todo el proyecto
---	---

(a) Fuente: Adams (1989) & O'Conner (1988) citado en Mohsenijam et al. (2020).

Tabla 2.2: Lista de principios de constructabilidad para las distintas fases de un proyecto (Parte 2).

<p>Fase de diseño y contratación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los calendarios de diseño y adquisición son sensibles a la construcción. • Los diseños están configurados para permitir una construcción eficiente. • Los elementos de diseño están estandarizados. • La eficiencia de la construcción se tiene en cuenta en el desarrollo de las especificaciones. • Se preparan diseños de módulos/premontajes para facilitar la fabricación, el transporte y la instalación. • Los diseños promueven la accesibilidad a la construcción del personal, el material y el equipo. • Los diseños facilitan la construcción en condiciones meteorológicas adversas. • La secuencia de diseño y construcción debe facilitar la rotación y puesta en marcha del sistema.
<p>Fase en la etapa de construcción</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La constructabilidad aumenta cuando se utilizan métodos de construcción innovadores

(a) Fuente: Adams (1989) & O’Conner (1988) citado en Mohsenijam et al. (2020).

Existen factores adicionales que se pueden considerar según Nima (2001a), Nima (2001), Saghatforoush (2012) y Saghatforoush (2011) citado en Mohsenijam et al. (2020) [26] los cuales son:

- Fase de planificación conceptual
 - Para llevar a cabo las operaciones sobre el terreno con rapidez y eficacia, los métodos de construcción primarios deben analizarse en profundidad lo antes posible.
 - Las fases de operatividad y mantenibilidad se integran en las etapas de planificación y diseño del proyecto.
 - Los factores políticos y legales se revisan antes de la fase de diseño.
 - Los factores medioambientales se revisan y abordan.

- Fase de diseño y contratación
 - Las revisiones de seguridad y salud se tienen en cuenta de forma exhaustiva en las especificaciones de diseño.
 - El diseño del proyecto tiene en cuenta su operatividad y mantenimiento
- Fase en la etapa de construcción
 - La secuencia de las tareas se configura para minimizar la repetición de los elementos del proyecto, las necesidades de andamiaje, el encofrado utilizado o la congestión de mano de obra y materiales.
 - Innovación en materiales/sistemas de construcción temporales que no hayan sido definidos por los planos de diseño y las especificaciones técnicas.
 - Métodos innovadores de utilización de los equipos disponibles o modificación de los mismos para aumentar su productividad.
 - Utilice el premontaje para aumentar la productividad, reducir la necesidad de andamios o mejorar la constructabilidad del proyecto en condiciones meteorológicas adversas.
 - La evaluación, la documentación y la retroalimentación sobre los problemas de los conceptos de constructabilidad deben mantenerse a lo largo de todo el proyecto y como lecciones aprendidas.

Por otra parte, según Mohsenijam et al. (2020) [26], existen factores relacionados a la sustentabilidad los cuales son:

- Fase de planificación conceptual
 - Los métodos de construcción se revisan exhaustivamente para incluir los métodos de recuperación y reciclaje junto con la planificación sostenible y de eliminación final.
 - Simplificar y separar los sistemas y componentes para facilitar el mantenimiento y las futuras renovaciones.
- Fase de diseño
 - Estandarizar los componentes repetibles.
 - Garantizar el correcto dimensionamiento y especificación de equipos, productos y materiales.
 - Optimizar las dimensiones para utilizar todo el producto/material.
 - Utilizar métodos y materiales que faciliten la reconfiguración, renovación o deconstrucción.
 - El personal de construcción revisa los diseños para minimizar el desperdicio de materiales, el reciclaje y la rentabilidad.

- Fase en la etapa de construcción
 - Reducir los residuos de embalaje y movilización.
 - Documentar los componentes prefabricados y modularizados para su reutilización.

Por otra parte se pueden identificar las siguientes herramientas para aplicar el concepto según Hamadani et al (2022):

- Diseño:
 - Revisión por pares
 - Seguir manual de práctica
 - Revisión del diseño por un experto en construcción
 - Una actividad de revisión de la constructabilidad en el calendario de su proyecto
 - Experto en construcción en el equipo de diseño
 - Aplicación de una base de datos o lista de comprobación para evitar errores de construcción comunes
- Construcción:
 - Aplicación de medios y métodos de construcción innovadores
 - Planificación previa a la obra
 - Coordinación de los oficios de la construcción
 - Aplicación de medios y métodos de construcción adecuados
 - Incorporación de expertos en construcción a la planificación previa a la obra

Como se expone, existen variados factores que se pueden aplicar para utilizar este concepto. Anteriormente se dieron conocer algunos de los más importantes.

2.1.4. Barreras y restricciones

Como en todo plan se encuentran dificultades a la hora de su implementación. Según Jergeas & Put (2001) citado en Mubarak et al. (2015) [27] se identificaron las siguientes:

- Uso del contrato tradicional (diseño-licitación-construcción), sobre todo en el sector público que dificultaría la participación anticipada del personal de construcción durante la fase de diseño.
- El uso de la modularización y la prefabricación es específica en determinados proyectos y no se puede utilizar siempre.

Por otra parte, según el Constructibility Manual del Department Of Transportation The State Of New Jersey [7] se pueden considerar las siguientes dificultades:

- Complacencia con el statu quo
- La resistencia de los diseñadores, los que ven estos esfuerzos como una intrusión
- La falta de experiencia del personal de diseñadores y el personal de construcción
- Falta de respeto entre los diseñadores y el personal de construcción
- El personal de construcción no responde de forma oportuna, y la entrada es demasiado tarde para ser de cualquier valor.

2.1.5. Aplicación internacional y nacional

2.1.5.1. Internacional

Como se describió anteriormente el concepto de constructabilidad nace en Estados Unidos donde para su implementación se crearon guías y manuales por organismos las cuales entregan recomendaciones a seguir. Existe una hoja de ruta representada por 4 caminos las cuales se describen a continuación según Ureña-Villamizar et al (2018) [41]:

- Hoja de ruta hito 1: Debe existir un real compromiso de la constructabilidad donde el personal debe estar profundamente familiarizado con los objetivos, métodos y conceptos. Los aspectos más importantes a considerar son la cultura corporativa, el personal y la documentación y seguimiento, la puesta en marcha, las barreras comunes y el destino de los objetivos de la constructabilidad.
- Hoja de ruta hito 2: Establecer un programa de constructabilidad corporativa. Existen tres pasos para su implementación: identificar patrocinador constructabilidad, establecer la organización de apoyo funcional y procedimientos y desarrollar y mantener una base de datos de lecciones aprendidas.
- Hoja de ruta hito 3: Se debe obtener las capacidades de constructabilidad. Se realiza a través de cuatro pasos: montar los principales miembros del equipo titular, definir los objetivos y medidas de factibilidad, seleccionar estrategia de contratación y los contratistas, vendedores de seguros y consultores integrarlos lo antes posibles.
- Hoja de ruta hito 4: Plan de implementación constructabilidad. Se realiza mediante 4 pasos: desarrollar el equipo de construcción y la identificación a los obstáculos, poseer una pantalla de la base de datos - lecciones aprendidas, llevar a cabo un taller de planificación constructabilidad y por último finalizar los planes de concepto de aplicación donde la factibilidad de construcción deben ser planificadas para su aplicación durante las fases conceptual, diseño y construcción.

En particular este trabajo ahonda en la aplicación de la hoja de ruta hito 4 cuestionando directamente la existencia de este.

Para complementar lo expuesto, el Manual de Dirección de Proyectos [15] indica que “Debe adecuarse a las características de cada proyecto y del grupo de trabajo encargado del mismo” (p.4). Por otra parte otro autor Thirion [39] representa la aplicación de esta ruta en la siguiente imagen:

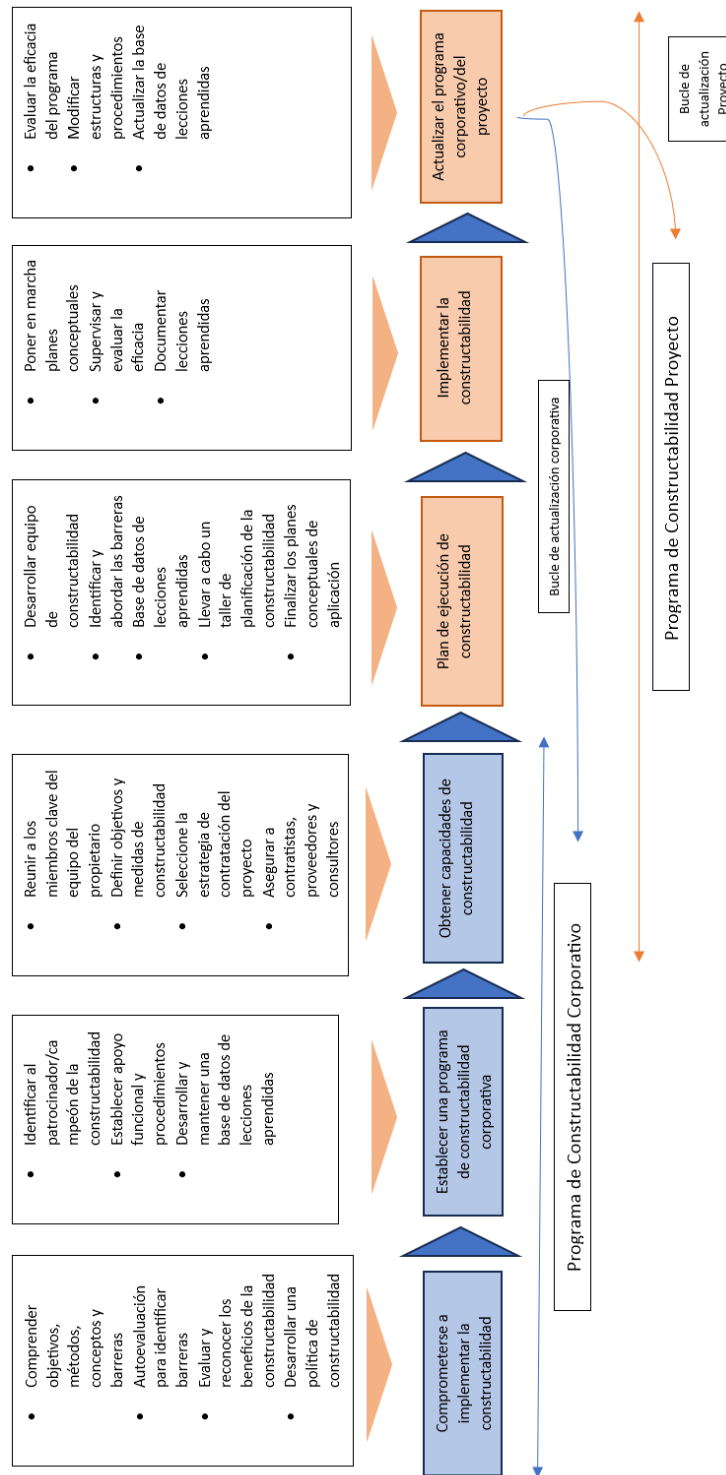


Figura 2.3: Hoja de ruta de implementación de la constructabilidad
Fuente: Thirion, 2019 adaptado de O’Connor, 2006.

Asimismo, no es el único país que ha desarrollado el concepto, otros países como Malasia, Australia, España y Reino Unido también han explorado y estudiado el concepto. En el caso de Singapur, se exige cierto nivel mínimo de implementación a través del Building Construction Authority (BCA). Según Law (2002) y Low (2001) citado en Hamadani et al. (2022) [14] “El Sistema de Evaluación de Diseño Construible de Singapur utiliza un método cuantitativo para evaluar, requiriendo un desempeño mínimo de constructabilidad como requisito previo para la aprobación del plan de construcción”.

Este índice mide el efecto del diseño y del proceso constructivo en la mano de obra en obra el cual debe ser mayor a 80 para aprobarse según Ivelic [17].

Además existe el “Constructibility Manual” del Department Of Transportation The State Of New Jersey [7] el cual entrega una serie de recomendaciones para la implementación y una lista de chequeos para para distintas áreas del proyecto.

En particular para carreteras existe el “Highway Constructability Guide” [16] el cual entrega una serie de recomendaciones para utilizar el concepto y entrega un esquema sugerido para el plan de ejecución el cual se distribuye en:

1. Propósito
2. Alcance del trabajo
3. Objetivos del proyecto
4. Equipo y organización del proyecto
5. Base para el diseño
6. Cronograma del proyecto
7. Presupuesto del proyecto
8. Diseño
9. Constructabilidad
10. Control de material
11. Construcción

2.1.5.2. Nacional

En Chile algunas empresas han implementado el concepto, pero principalmente a proyectos mineros por la gran inversión y envergadura de estos. Es importante destacar que según Pablo Pulgar (2023) de Construye2025 [3] en Singapur se han utilizado seis principios originales de los doce, por lo tanto, se concluye en la necesidad de realizar un análisis de cada país.

Por lo anterior, los desafíos para el país son identificar los principios fundamentales que se adapten al contexto local, la creación de un manual y la exploración según el proyecto que se realizará.

2.1.6. Beneficios

Al aplicar un programa de constructabilidad, se espera tener ventajas y beneficios en los proyectos tanto cualitativos como cuantitativos. Según el Constructibility Manual [7]:

“Se han citado reducciones de costos de entre 6 y 23 por ciento, relaciones costo/beneficio de hasta 10:1 y grandes reducciones de programación. Los beneficios intangibles son tan importantes como los beneficios cuantitativos y deben reconocerse en consecuencia. Estas incluyen; cronogramas más precisos, mayor productividad, mejor secuencia de construcción, mayor calidad, menor mantenimiento y un trabajo más seguro”.

Lo anterior, sería provechoso para la empresa en ámbitos financieros, de tiempo, productividad, entre otros.

2.2. Proyecto vial

Un proyecto vial nace con el objetivo de crear o mejorar la movilidad de las personas en alguna zona particular a través del uso de vehículos u otras opciones. Este se puede definir como: “Intervención sobre la red vial que implique un conjunto indivisible de inversiones, tendiente a mejorar las características físicas y operacionales de ella” (MOP, 1994, p.1003-3) [18].

2.2.1. Tipos de trabajos

Existen distintos trabajos que se pueden realizar en una obra vial desde la construcción total del proyecto hasta un mejoramiento. A continuación, se expone la clasificación que entrega el Volumen 2 del Manual de Carreteras [19]:

Tabla 2.3: Equivalencias para la clasificación de Proyectos

Descripción del Proyecto	Nomenclatura Sistema Nacional de Inversiones	Clasificación General de los Proyectos Viales
Proyecto de camino nuevo, en todas sus categorías, desde caminos de desarrollo hasta autopistas.	CONSTRUCCIÓN	Nuevos Trazados
Proyecto de camino destinado principalmente a recuperar su pavimento o a recuperar estructuras como puentes y otras. En muchos casos obliga a rectificaciones de trazado y plataforma, producto de la necesidad de lograr una velocidad de proyecto homogénea.	REPOSICIÓN	Recuperación de Estándar
Proyecto de camino que contempla su pavimentación, incluyendo rehabilitación de saneamiento, reemplazo de puentes, intersecciones, señalización y seguridad vial, etc.	MEJORAMIENTO	Cambio de Estándar
Proyecto destinado a construir principalmente segundas calzadas o ampliación del número de pistas de calzadas existentes.	AMPLIACIÓN	Cambio de Estándar

(a) Fuente: Volumen 2 del Manual de Carreteras (2001).

Para este estudio, se ahondará en cualquier de las categorías dando énfasis a la primera.

2.2.2. Categorización de rutas

Una carretera se puede categorizar en tres clasificaciones según la Tabla 3.103.3 A “Características Típicas de las Carreteras y Caminos según la Clasificación Funcional”, del Volumen 3 del Manual de Carreteras [20].

- Autopista: La velocidad del proyecto va desde los 80 hasta los 120 (km/h) según el tipo de terreno. Contiene pistas unidireccionales. Posee una función de prioridad absoluta y un control total de acceso. Además, se conecta con Autopistas, Autorrutas y Primarios a través de enlaces.
- Autorrutas: Posee una velocidad de los 80 hasta 100 (km/h) variando según el terreno. Tiene pistas unidireccionales con prioridad absoluta y control total de acceso vehículos. Se conecta a Autopistas, Autorrutas, Primarios a través de enlaces y accesos direccionales.
- Primaria: Se tiene un rango de velocidad de 80 hasta 100 (km/h) de acuerdo con el terreno que se encuentre y es unidireccional o bidireccional. Posee un servicio al tránsito de paso con consideración principal y el servicio a la propiedad adyacente con control parcial de acceso. Se conecta a Autopistas, Autorrutas Primarias y Colectores (Locales) mediante enlaces intersecciones.

2.2.3. Estructura organizacional del proyecto

En el mundo de la construcción existen diversos tipos de maneras de organizar el desarrollar un proyecto los cuales cuentan con distintas relaciones y características. Se pueden clasificar principalmente en los siguientes tres:

- Diseño-Licitación-Construcción (Design-Bid-Build): “Se desarrolla el diseño, posteriormente se licita y la empresa adjudicataria construye el proyecto, sobre el cual no tiene ninguna responsabilidad en cuanto al diseño ni en cuanto a los posibles errores u omisiones existentes en el mismo” (Alarcón, 2017) [1].
- Diseño-Construcción (Design-Build): “Se contrata a una única empresa que desarrolla el diseño y la construcción, en un diseño básico. De esta forma, se combina el diseño y la construcción en un único contrato. Se consigue que el diseño y la construcción estén más integrados, pero no se traspasa ningún riesgo en cuanto a financiamiento al diseñador-constructor” (Alarcón, 2017) [1].
- Director de obra/Contratista general (Construction Manager/General Contractor): “Se celebra contratos con dos partes: el consultor de diseño y director de obra/contratista general (CM/GC). Sin embargo, a diferencia del típico sistema de diseño-licitación-construcción, aquí los servicios del CM/GC se contratan al principio de la fase de diseño. Como resultado, la CM/GC realiza una aportación durante el diseño y controla toda la fase de construcción” (Molenaar, 2014) [28].

En Chile los proyectos viales que nacen de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas se rigen principalmente por el método tradicional de Diseño-Licitación-Construcción lo que genera los resultados que se tienen actualmente.

2.2.4. Etapa de diseño

El volumen 3 del Manual de Carreteras [20] entrega los parámetros, diseños geométricos y factores que se deben cumplir para implementar el proyecto. En particular indica que una sección transversal de una carretera (Capítulo 3.303) se compone de distintas partes las cuales son:

1. Plataforma: Superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas, los sobrehombros de plataforma (SAP) y su mediana.
 - a) Calzada: Banda de material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.
 - b) Bermas: Franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzada(s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial.
 - c) Sobre anchos de la plataforma (SAP)

d) Mediana: Espacio libre existente entre los bordes interiores de los pavimentos de dos calzadas unidireccionales.

2. Pistas auxiliares complementarias

- a) Paraderos de buses
- b) Lechos de frenado
- c) Ciclovías

En el capítulo 3.308 de instrucciones y criterios para obras varias se tienen otras características a considerar:

- 1. Cercos
- 2. Barreras de contención
- 3. Señalización de obras de arte y de drenaje
 - a) Alcantarillas
 - b) Drenes
- 4. Paralelismos en caminos públicos
- 5. Atravesos en caminos públicos
- 6. Acceso a instalaciones diversidad, estaciones de servicio y similares

También existen otros tipos de estructuras que pueden complementar a la carretera, las cuales son:

- 1. Puentes
- 2. Muros de Alcantarillas
- 3. Intersecciones
- 4. Enlaces
- 5. Túneles

Por lo tanto, las principales características que componen este tipo de proyecto poseen varias especificaciones y detalles según el tipo y alcance que se realizará.

2.2.5. Etapa de construcción

De acuerdo con el volumen 5 del Manual de Carreteras [21], el cual entrega las especificaciones técnicas generales de construcción a continuación se describen algunas de las principales actividades para esta etapa las cuales dependerán del alcance del proyecto.

- Preparación del área de trabajo
 - *Demoliciones y remociones*: Trabajos de remoción, desarme o demolición de las obras, elementos y estructuras existentes.
 - *Despeje y limpieza de la faja*: Trabajos de desmonte, tala y eliminación de la vegetación existente.
 - *Rodillado, seccionamiento y asentamiento de pavimentos de hormigón*: Trabajos que deben realizarse como parte de la preparación de las superficies de pavimentos de calzada o bermas existente de hormigón.
 - *Fragmentación de pavimentos de hormigón*: Solo para una repavimentación se debe fragmentar el hormigón existente.
 - *Puentes y badenes provisorios*: Diseño y construcción, conservación y desarme de puentes y badenes de carácter provisorio para mantener el tránsito.
 - *Instalación de faenas y campamentos*: Consideraciones y criterios que se deberán tener en cuenta para la ejecución, operación y abandono de la instalación de Faena y Campamentos.
- Movimiento de tierra
 - *Excavación general abierta*: Excavaciones para conformar la plataforma del camino.
 - *Excavación para drenajes, puentes y estructuras*: Excavaciones para obras de drenaje como zanjas para la instalación de ductos, fundaciones de estribos y cepas de puentes y fundaciones de otras estructuras.
 - *Excavación general en túneles*: Excavación necesarias para la construcción de túneles.
 - *Geotextiles*: Provisión y colocación de telas tipo geotextil para la estabilización de suelos, separación de materiales, drenaje, control de erosión y relleno estructural liviano.
 - *Relleno estructural*: Trabajos y materiales para efectuar rellenos en lugares tales como los espacios excavados y no ocupados por obras, en sobreexcavaciones ordenadas por el Inspector Fiscal, en respaldo de estructuras de muros y estribos de puentes.
 - *Defensas fluviales de riberas*: Construcción de enrocados y gaviones en cauces naturales o artificiales con el fin de evitar erosiones o socavaciones en sus márgenes.
 - *Obras de encauzamiento*: Rebajes, perfiladuras y encauzamientos requeridos para conformar los fondos de cauces naturales o artificiales.

- *Preparación de la subrasante*: Trabajos requeridos para conformar la plataforma del camino a nivel de subrasante, en sectores de terraplén y corte.
- *Apertura, explotación y abandono de empréstitos*: Consideraciones y criterios que se deberán tener en cuenta para la apertura, explotación y abandono de empréstitos.
- Capas granulares
 - *Subbases granulares*: Provisión, mezclado, colocación, perfiladura y compactación de subbases granulares.
 - *Bases granulares*: Confección, colocación y compactación de bases granulares normalmente ubicadas sobre una subbase o subrasante.
- Revestimientos y Pavimentos
 - *Imprimación*: Aplicar un riego de asfalto cortado de baja viscosidad o emulsión imprimante, sobre una base no tratada (pavimento asfáltico).
 - *Riego de liga*: Aplicar un riego de emulsión asfáltica sobre una superficie pavimentada.
 - *Sellos bituminosos*: Construcción de sellos bituminosos consistentes en aplicaciones de asfalto recubiertas por áridos, sobre superficies pavimentadas.
 - *Tratamientos superficiales*: Construcción de tratamientos superficiales asfálticos, consistentes en sucesivas aplicaciones de asfalto recubiertas por áridos.
 - *Mezclas asfálticas en caliente*: Trabajos de construcción de concretos asfálticos mezclados en planta y en caliente incluyendo la provisión de materiales, transporte, distribución y la compactación.
 - *Mezclas asfálticas en frío*: Trabajos de construcción de mezclas de áridos no calentados, mezclados con asfaltos cortado o emulsiones asfálticas.
 - *Pavimentos de hormigón*: Construcción de pavimentos de hormigón de cemento hidráulico sobre una superficie previamente preparada
- Puentes y estructuras
 - *Hormigones*: Confección, transporte, colocación, curado y control de los hormigones.
 - *Hormigones de revestimiento*: Trabajos de hormigonado de revestimientos de túneles.
 - *Acero para armaduras y alta resistencia*: Suministro, doblado y colocación de barras y mallas de acero para las armaduras de refuerzo del hormigón estructural.
 - *Pilotes*: Provisión, confección, excavación e hinca de pilotes para puentes y estructuras afines.
- Drenaje y protección de la plataforma
 - *Alcantarillas de tubos de hormigón*: Suministro y colocación de tubos de hormigón simples y armados, corrientes y de alta resistencia, circulares y de base plana para construir alcantarillas, sifones y otros ductos.

- *Alcantarillas de tubos de metal corrugado*: Suministro e instalación de ductos de metal corrugado, circulares, elípticos y de sección abovedada.
 - *Drenes*: Trabajos de construcción de subdrenes destinados a interceptar flujos de agua subterránea. Además de la construcción de drenes longitudinales al borde de pavimentos de hormigón.
- Elementos de control y seguridad
 - *Cercos, portones y guardaganados*: Construcción de cercos de alambre de púas con postes de madera, portones de madera de una y dos hojas y guardaganados.
 - *Señalización caminera*: Provisión e instalación de señalización caminera del tipo vertical lateral y vertical sobre la calzada.
 - *Demarcación del pavimento*: Aquella línea, símbolo o leyenda aplicada sobre la superficie de la calzada con fines informativos, preventivos o reguladores de tránsito.
 - *Tachas reflectantes*: Provisión y colocación de tachas reflectantes para la demarcación de pavimentos.
 - *Barreras metálicas de contención*: Suministro, transporte y colocación de barreras metálicas de contención incluyendo sus correspondientes piezas accesorias.
 - *Barreras de hormigón*: Suministro, transporte y colocación de barreras prefabricadas de hormigón tipo Perfil F.
- Obras Varias
 - *Sostenimiento de rocas*: Se definen las características que deberán tener los diversos tipos de sostenimiento de la bóveda de una excavación subterránea o del talud de un corte.

Lo expuesto anteriormente se puede resumir en el siguiente esquema:

PREPARACION DEL ÁREA DE TRABAJO	MOVIMIENTO DE TIERRA	CAPAS GRANUALRES	REVESTIMIENTO Y PAVIMENTOS	PUNTES Y ESTRUCTURAS
<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza del terreno • Instalación de faena • Trazado del terreno 	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación general abierta • Excavación para drenaje • Geotextil • Relleno estructural • Preparación subrasante 	<ul style="list-style-type: none"> • Subbase • Base 	<ul style="list-style-type: none"> • Imprimación • Riego de liga • Mezclas asfálticas frías o calientes • Pavimento de hormigón 	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigones • Acero • Pilotes
	DRENAJE Y PROTECCION DE LA PLATAFORMA	ELEMENTOS DE SEGURIDAD	OBRAS VARIAS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Alcantarillados • Drenes • Ductos 	<ul style="list-style-type: none"> • Cercos • Señalización • Demarcación • Barreras 	<ul style="list-style-type: none"> • Obras complementarias 	

Figura 2.4: Actividades principales en la etapa de construcción.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.1. Maquinaria

En la parte anterior se describieron los principales hitos que ocurren en la construcción, pero no la maquinaria utilizada. Según la Universidad Nacional de Ingeniería [40] las que se utilizan principalmente para este tipo de obras son los siguientes:

1. Equipos de excavación y movimiento de tierra: Retroexcavadora, Bulldozer, Cargador frontal.
2. Equipo de transporte horizontal de materiales: Camiones, vagones, cintas transportadoras.
3. Equipo de transporte vertical de materiales: Grúa
4. Equipos de compactación y terminación: Placas compactadoras vibratorias y compactadores neumáticos, rodillos lisos, rodillos neumáticos y rodillos pata de cabra.
5. Equipos de producción de hormigón: Plantas mezcladoras, betoneras, camiones mixer, bombas y vibradores.

2.2.5.2. Problemas existentes

En la realización de la construcción surgen problemas o imprevistos que afectan los plazos y costos del proyecto. En Chile según un estudio se demostró que el 55 % de los contratos efectuados por la Dirección de Vialidad presentan, al finalizar, un incremento de presupuesto y con respecto a los plazos el 71 % de los contratos de la Dirección de Vialidad finalizados en 2016 sufrieron incrementos de plazos (MOP, 2016 citado en Alarcón, 2017) [1].

Respecto a las causas que provocan sobrecostos e incrementos en plazos en proyectos viales en Chile se pueden encontrar problemas en el diseño, licitación y construcción. En particular para esta última existen factores externos como las peticiones de terreno, medio ambiente, afecciones a terceros, cambios imprevistos y clima. En relación con el contratista se tiene una asignación no adecuada, procesos constructivos, programación, errores constructivos y corrupción. Por último, en el área de supervisión las causas son: tramitación administrativa, supervisión deficiente, corrupción e inspección sin experiencia (Alarcón, 2017) [1].

Por otro lado en el diseño se identificaron que la principal causa son el diseñador y equipo de diseño por la inexperiencia, poco conocimiento de la realidad local, etc. Específicamente las causas corresponden a la inexperiencia del diseñador, falta de coordinación entre disciplinas, desconocimiento de la realidad local, falta de interacción con el conocimiento constructivo y falta de profesionales (Alarcón, 2017) [1].

Para complementar las causas existentes un estudio realizado en Colombia demostró que los factores que principalmente generan retraso en obras viales son: escasez de equipo y materiales, métodos de construcción inadecuados, fallos y cambios en el diseño, condiciones del terreno, retraso en la movilización del sitio, clima, experiencia inadecuada del contratista, toma de decisiones tardía por parte del propietario, mala coordinación entre las partes, entre otros (Mera, 2021) [22].

Capítulo 3

Entrevistas

Las preguntas realizadas para las entrevistas se encuentran en el Anexo A. Luego en el Anexo B se muestra la transcripción de las respuestas de los profesionales de construcción y en el Anexo C para los organismos.

3.1. Determinación de problemáticas en la construcción

3.1.1. Aldo Encina

El entrevistado se desempeña como encargado de calidad con aproximadamente 8 años de experiencia. En relación a los tipos de estructura que complementan destaca las obras de saneamiento como bajadas de agua, obras de arte y muros de contención. Además, dependiendo del uso del camino se hacen túneles, túnel liner y/o puentes. Por otro parte al consultar sobre la dificultad, expone que es baja, ya que la mayoría de estas obras se realizan por subcontrato o se tiene un capataz exclusivo.

En relación al cumplimiento del diseño considera que siempre hay cambios debido a la separación entre las etapas de diseño, licitación y construcción. Por otro lado, desde la fecha 0 se hacen modificaciones por el censo a los autos llamado Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).

Respecto a las dificultades cree que los imprevistos no deberían existir con una buena programación y que no existen grandes problemas con el diseño. Principalmente destaca los imprevistos climáticos como la lluvia y la accesibilidad de algunas zonas como la cordillera.

Por último, acerca de los beneficios negativos que pueden provocar se destaca la pérdida de tiempo y dinero. Sin embargo cree que en general se cumplen con los parámetros establecidos de costo y plazo, ya que las maquinarias al ser el elemento principal no generan mayores equivocaciones al estimar los rendimientos para el presupuesto o plan.

3.1.2. Gabriel Opazo

Actualmente ejerce el cargo de jefe de producción el cual se encarga de verificar que los planos estén bien hechos y tengan sentido constructivo. Inicialmente entró como encargado de producción el cual revisa planos, cubica y gestiona materiales entrando el año 2019.

Comenta sobre la obra en la cual participó que corresponde a la Autopista Vespucio Oriente y la Carretera de La Fruta que es donde está actualmente. Respecto a la primera esta cuenta con dos niveles subterráneos la cual parte con una primera tipología con un viaducto que es un puente al final con 4 pistas, luego viene un túnel minero porque se pasa por el cerro San Cristóbal y finalmente se conectaba a la siguiente tipología que era una trinchera correspondiente a la formación de una estructura tipo marco. Especifica que la obra tenía una dificultad alta porque utilizaban métodos constructivos no convencionales y que todo tenía gran dimensión lo que incluso podía generar peligro en los trabajos.

En cuanto al diseño indica que siempre va cambiando, pero que un 90% fue construido como fue diseñado y que queda abierto para una futura parte.

Acerca de las dificultades en carreteras plantea motivos relacionados a las expropiaciones y el proceso de deforestación. En temas constructivos expone el compromiso del consultor de ir a terreno y cuestionar los resultados, además de la falta de comunicación entre él y quien construye ya que a veces proyectan un método poco factible o que cuesta construir.

Destaca la incertidumbre que puede generar la campaña geotécnica debido a que se realiza cada 500 metros por ejemplo lo que podría generar que se encuentre otro tipo de suelo entre medio. También indica que al trabajar con tierras de los cerros aledaños se debe revisar si cumplen o no.

De los efectos negativos señala que se genera un aumento de costo y plazo pero que se llevan contractualmente. Y que los parámetros originales en general se deberían cumplir pero que imprevistos hay siempre.

3.1.3. Adolfo León Rodríguez

Se desempeña como administrador de contrato trabajando con una empresa de movimiento de tierra que realiza toda esa actividad en la carretera. Cuenta con aproximadamente 20 años de experiencia a lo largo de su vida laboral.

Al consultar respecto de obras complementarias explica que existen actividades extras como obras de saneamiento, obras de puente, viaductos y enrocados aparte de las principales como asfaltos, obras de seguridad, pinturas, barreras, entre otras. Considerando que la dificultad de la construcción es media.

En las dificultades señala que el tema del diseño a veces tiene algún problema pero no es principal. Si destaca las expropiaciones e informes medios ambientales por el tiempo que demoran. También indica temas normativos que están obsoletos en relación con las técnicas de trabajo y que deberían fomentar nuevas. Además señala la restricción de materiales como otro problema pues como se obtienen de distintas carteras estas a veces son escasas de encontrar o la empresa no se movió con agilidad para tenerlos o no trajo el adecuado.

En relación a los costos y plazos indica que para este último generalmente se atrasan y que el tema económico se ve afectado por temas externos ya que se estudia con ciertas características y luego cambian. Un ejemplo es la inflación.

3.1.4. Francisco Rodriguez

Es asesor técnico de gerencia en diversas áreas de empresas dedicadas al rubro de la construcción de obras viales y cuenta con aproximadamente 2 años de experiencia. En cuanto a obras complementarias señala las obras de artes u otro tipo de obra como puentes, túneles, pasarelas pero que en su mayoría este tipo de obras se realiza en colaboración con otras empresas o subcontratos.

Acerca de la dificultad indica que depende de la zona, el tipo de proyecto y de las condiciones al momento de estar en terreno. Destaca la variable climática para ciertas zonas, problemas con el material o la contaminación de este y también la accesibilidad.

Del diseño indica que en la mayoría de los casos se realizan tal cual fue diseñado pero que hay casos donde el mandante solicita alguna modificación.

Comenta que las dificultades de este tipo de proyecto son los errores de diseño o sobredimensionamiento de las carpetas asfálticas. También comenta respecto a las condiciones climáticas ya que en estos casos no se tiene en consideración en la programación. Además la ubicación de la zona puede generar problemas con el agregado que busca la mezcla. Agrega que en la actualidad los métodos constructivos es un problema porque cae en varios vicios que se hacen comunes en terreno y termina produciendo una cadena de errores.

En general considera que los efectos negativos principales son el aumento de costo y pérdida de plazo pero que puede existir falta o escasez de mano de obra produce errores y que puede generar una mala ejecución del proyecto. Por último, indica que para cumplir con los parámetros originales se debe tener un muy buen estudio del proyecto y a la gente que corresponde en terreno.

3.1.5. Resumen comparativo

Tabla 3.1: Resumen: Entrevista a profesionales de la construcción (Parte 1).

Persona	Caracterización	Obras complementarias	Cumplimiento de diseño
Aldo Encina	Encargado de calidad y cuenta con 8 años de experiencia.	Obras de saneamiento como bajadas de agua, obras de arte, muros de contención o muros TEM, túneles, túnel liner o puentes. Se subcontratan.	Considera que siempre hay cambios debido a la separación entre diseño y construcción a la hora de licitar.
Gabriel Opazo	Jefe de producción y salió el 2019.	Distintas tipologías: viaducto con puente de 4 pistas, túnel minero, trincheras tipo marco.	Siempre va cambiando pero que un 90% fue construido como se diseñó.
Adolfo León Rodríguez	Administrador de contrato trabajando con empresa de movimiento de tierra. Tiene 20 años de experiencia.	Obras de saneamiento, puentes, viaductos y enrocados.	-
Francisco Rodríguez	Asesor técnico de gerencia y posee 2 años de desarrollo laboral.	Obras de arte u otros como puentes, túneles y pasarelas pero se subcontratan.	En la mayoría se realiza tal cual fue diseñado pero a veces existen modificaciones por el mandante.

(a) Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2: Resumen: Entrevista a profesionales de la construcción (Parte 2).

Persona	Dificultad	Problemáticas	Efectos negativos	Cumplimiento de costo y plazo
Aldo Encina	Baja.	Imprevistos climáticos.	Pérdida de tiempo y dinero.	Generalmente se cumplen. Difícil equivocarse en rendimientos de maquinarias.
Gabriel Opazo	Alta. Métodos constructivos no convencional y elementos de gran dimensión.	Expropiaciones, proceso de deforestación, compromiso del consultor para ir a terreno, falta de comunicación entre diseñador y constructor, incertidumbre en campaña geotécnica y trabajar con tierras de cerros.	Aumento de costo y plazo pero se lleva contractualmente.	A modo general se cumplen pero imprevistos hay siempre.
Adolfo León Rodríguez	Media.	Expropiaciones, informes medio ambientales, temas normativos obsoletos para técnicas de trabajo y restricción de material.	Existe un atraso y el tema económico se ve afectado por factores externos.	En plazo no se cumple generalmente.
Francisco Rodríguez	Depende de muchos factores como la zona, tipo de proyecto y características.	Errores de diseño o sobredimensionamiento de las carpetas asfálticas, condiciones climáticas, ubicación de la zona, métodos constructivos y escasez de mano de obra.	Aumento de costo y pérdida de plazo.	Para lograrlo se debe contar con un muy buen estudio del proyecto y a la gente en terreno que corresponde.

(a) Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Análisis

Las diferentes entrevistas realizadas permiten conocer la situación actual de la construcción de este tipo de obras según la experiencia de los profesionales.

De acuerdo a la caracterización personal de los entrevistados se tiene una variedad en las áreas como lo es el área de calidad, movimiento de tierra, producción y gerencia técnica contando con distintos años de experiencia que van desde los 2 hasta los 20 años.

Respecto a las obras complementarias se destacan las obras de saneamiento, obras de arte, muros de contención, túneles, puentes, viaductos, enrocados, pasarelas, entre otros. Comparando con el capítulo 2.2.4 de diseño se aprecia que algunas de estas están contempladas en el Manual de Carreteras. Esto demuestra que realizar una carretera no solo es construir un camino, sino que puede contar con muchas más actividades.

Con base en lo obtenido, para el cumplimiento de diseño se aprecia que la mayoría de los profesionales cree que se cumple con este y que en algunos casos existen modificaciones por parte del mandante lo que generaría el no cumplimiento.

En relación a la dificultad no existe un consenso en las respuestas, lo que indica que existe más de una variable para determinar esto. Lo anterior dependerá del tipo de proyecto y sus características como la zona, clima, materiales, entre otros.

Acercas de las problemáticas se pueden identificar distintas, las cuales se pueden clasificar por ejes principales. Por una parte se puede agrupar en administrativos tales como: expropiaciones, informes medioambientales y temas normativos obsoletos para las técnicas de trabajo. Otras dependen de la zona como: la accesibilidad, imprevistos climáticos, restricción de material y el uso de los cerros como material. Para las relacionadas al diseño se identifican: la falta de compromiso del consultor para ir a terreno, mala comunicación entre diseñador-constructor y errores de diseño o sobredimensionamiento de las carpetas asfálticas.

Otro grupo está vinculado con la etapa de estudio como: la incertidumbre en campaña geotécnica y el tiempo que transcurre en las licitaciones entre el diseño y construcción. Por último para la etapa de construcción se identifica: los métodos constructivos utilizados y la escasez de mano de obra.

Comparando las dificultades con los de la literatura (capítulo 2.2.5.2) los factores administrativos, de ubicación y de construcción obtenidos de la entrevista coinciden con los factores externos, de diseño y del contratista del estudio, es decir, en los temas de expropiación, medio ambiente, clima, procesos constructivos y falta de interacción con el conocimiento constructivo lo cual implica que son aspectos para mejorar.

En el caso de los efectos negativos todos los profesionales coinciden en que se refleja principalmente en el aumento de costos y de plazos. Lo cual como muestra el estudio realizado por el MOP en el capítulo 2.2.5.2 es lo que principalmente se refleja al finalizar los contratos de la Dirección de Vialidad.

En relación al cumplimiento de los costos y plazos planificados dos de los entrevistados indican que generalmente se cumplen. Sin embargo se destaca lo indicado por uno de los entrevistados que comenta que para lograrlo se debe contar con un estudio muy bueno del proyecto y al equipo en terreno que corresponde.

Como se aprecia existen problemáticas que la constructabilidad ayudaría a combatir como el fomento de la innovación en métodos constructivos, considerar correctamente el clima en el calendario, comunicación entre las áreas y la sustentabilidad, por lo cual su estudio se hace importante.

3.2. Conocimiento actual de organismos

3.2.1. Álvaro Mejías - Dirección de Vialidad

Se desempeña como Inspector Fiscal de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Al consultar respecto al término de constructabilidad indica haberlo escuchado pero más en cursos de universidad que en obra. Cree que está interiorizado de manera implícita la esencia del concepto a través de los documentos o profesionales pero no como una herramienta puntual.

Por otra parte, destaca la norma ISO9001 del sistema de gestión de calidad que lleva bastante tiempo y que a su juicio busca algo similar pero no lo mismo.

En relación a la obligatoriedad en documentos no reconoce ninguno pero cree que se utiliza ya que en la práctica uno busca el mismo objetivo la eficiencia en toda la cadena constructiva desde su génesis hasta la elaboración y entrega del proyecto.

Acerca de empresas que lo apliquen en vialidad desconoce y no puede dar algún nombre pero recalca que muchas veces se exige en las bases de licitación el uso de gestión de calidad que entrega un inicio para la mejora continua del producto. Sin embargo a comparación de la constructabilidad sería diferente ya que este lo hace desde un punto de vista económico donde se busca estandarizar procesos para ganar tiempo reduciendo errores y costos.

Por último no conoce algún manual específico para el concepto pero indica la existencia del Manual de Carreteras que se utiliza como base en la mayoría de los contratos de obras viales. Y que si bien no lleva el término busca lo mismo que los procesos de terreno y diseño estén estandarizados.

3.2.2. Pablo Pulgar - Consejo de Construcción Industrializada

Actualmente es líder de los grupos técnicos y patrocinante de la iniciativa que hace el CCI. Representa a la Universidad Tecnológica Metropolitana frente a la Cámara Chilena de la Construcción, Corporación de Desarrollo Tecnológico y el Consejo de Construcción Industrializada en sustentabilidad.

Comenta que si conoce el término de constructabilidad y lo define como la madurez de la gestión del conocimiento entre el área de diseño y de construcción. Al existir un proyecto estas deben generar una sinergia para ser más productivas y obtener el objetivo final. Así, los diseñadores tienen un diseño inicial donde en una etapa de integración temprana lo examina el que construye permitiendo la optimización, revisión de soluciones constructivas, entre otros. Esto genera una mejor solución y productividad que va buscando soluciones estandarizadas.

En relación a la obligatoriedad no conoce nada e indica que solo es una buena práctica. Respecto a empresas que lo apliquen expone que trabaja con algunas en temas de edificación. Además debido a la gran envergadura, las distintas especialidades y la gran inversión es común que se realice en minera. Sin embargo en vialidad señala que no está muy desarrollado.

En cuanto a algún manual no conoce alguno pero comenta que alguna vez en la revista de la Católica hizo un análisis para obras viales.

3.2.3. Resumen comparativo

Tabla 3.3: Resumen: Entrevista a profesionales de organismos.

Criterio	Vialidad	CCI
Cocimiento del término	Lo ha escuchado en cursos académicos pero no en obra. Cree que está interiorizado de forma implícita en terreno.	Lo conoce y lo define como la madurez de la gestión del conocimiento entre el área de diseño y de construcción.
Obligatoriedad en documentos	No conoce. Destaca la ISO9001 de gestión de calidad.	No conoce.
Aplicación de empresas en vialidad	No conoce.	Indica que trabaja con algunas en el área de edificación y también nombra la minería. No conoce en vialidad.
Manual o índice de constructabilidad	Para el término no conoce pero destaca el Manual de Carreteras.	No conoce.

(a) Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Análisis

En cuanto al conocimiento del concepto desde Vialidad él indica que lo ha escuchado pero no en obra. Por otra parte el del Consejo de Construcción Industrializada si lo conoce y entrega su definición correspondiente como se muestra en la tabla 3.3. Sin embargo al consultar por la aplicación de este en obras viales ambos indican que no conocen ninguna empresa y que se ha desarrollado más en otras áreas como edificaciones y minería.

Al consultar por la obligatoriedad en documentos ninguno da una respuesta afirmativa sin embargo el de Vialidad destaca la norma ISO9001. Esta busca un estándar de calidad y generalmente se le exige al contratista. Respecto a un manual de constructabilidad ninguno conoce alguno, Vialidad por su parte recalca la existencia del Manual de Carreteras que entrega una pauta, recomendaciones y consejos para diversas áreas dentro de un proyecto vial.

En resumen como se aprecia en las respuestas anteriores utilizar este sistema de gestión es solo una buena práctica por parte de la empresa y que no existe un total conocimiento de este. Por otra parte si bien existe el Manual de Carreteras que entrega directrices para los estudios, diseños, construcción, entre otras áreas, no tiene el mismo objetivo que un Manual de constructabilidad ya que por ejemplo el primero te indica cómo se calcula algún parámetro geométrico y que debe cumplir. En cambio el segundo entrega una lista de chequeos/consideraciones que debes tomar en cuenta para evitar errores, interferencias o mejores métodos en las distintas etapas de un proyecto.

Capítulo 4

Evaluación del nivel de aplicabilidad

4.1. Resultados y análisis de encuesta

Para conocer el nivel actual se realizó una encuesta (Anexo A) donde se obtuvo un total de 29 respuestas. El público objetivo fueron profesionales que se dediquen al área de planificación, diseño o construcción de carreteras en distintas empresas u organismos.

La recolección fue de forma online mediante un Formulario de Google que fue difundido en internet especialmente LinkedIn. La duración fue de 4 semanas correspondiente entre los días 28 de agosto y 22 de septiembre del año 2023. El total de las respuestas se encuentra en el anexo D.

4.1.1. Caracterización personal

En relación al tipo de empleador como muestra la figura 4.1, el 69% trabaja en una empresa, el 14% en concesionarias y el resto en consultorías o entidades públicas. Mostrando que la gran mayoría trabaja en el ámbito privado.

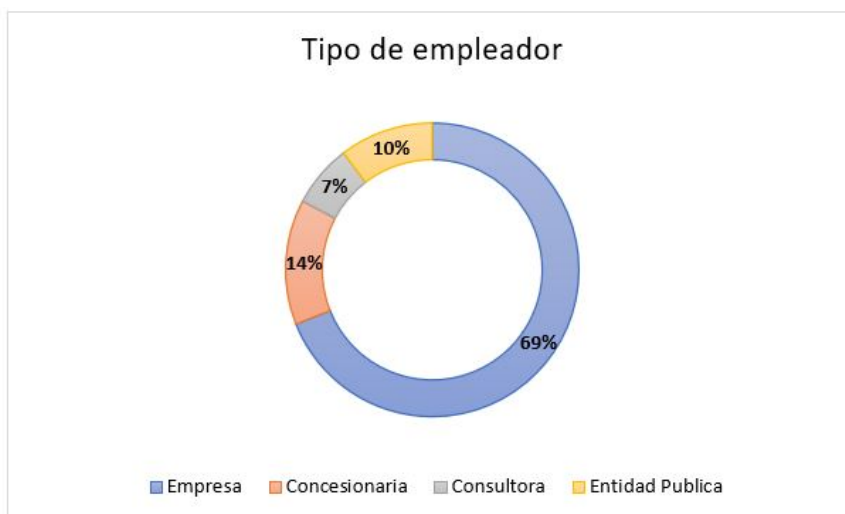


Figura 4.1: Tipo de empleador.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se muestra que el 48% trabaja en el área de diseño, un 38% en construcción y un 14% en planificación. Así se tiene una mayoría de opinión de profesionales de diseño y construcción en las respuestas.



Figura 4.2: Área de desempeño.
Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico (Figura 4.3) indica los años de experiencia de los profesionales donde un 41% tiene igual o más de 10 años. Además se aprecia que existe una alta variedad que va desde años iniciales hasta los más experimentados, permitiendo obtener distintos puntos de vista.

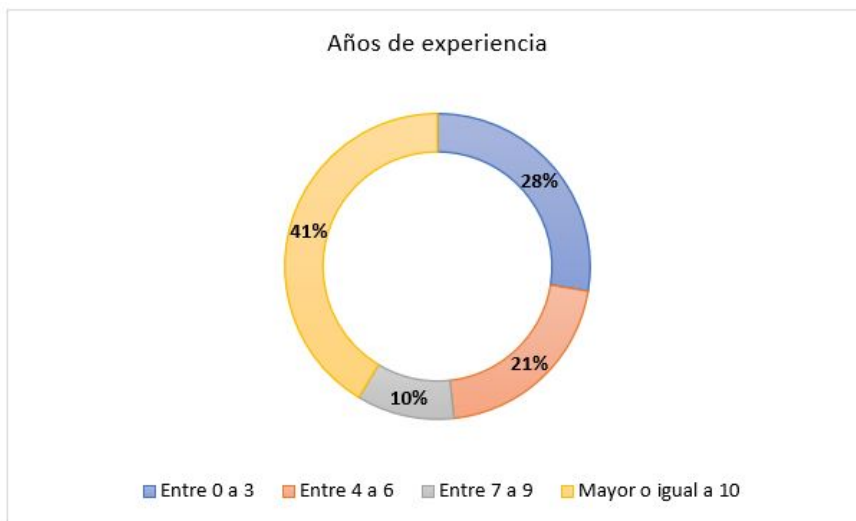


Figura 4.3: Años de experiencia.
Fuente: Elaboración propia.

En relación a la estructura organizacional se identifica que la gran mayoría (un 55%) ha participado en el sistema tradicional de diseño-licitación-construcción (Figura 4.4). Esto representa que el sistema tradicional de las licitaciones es el mecanismo que más se utiliza.

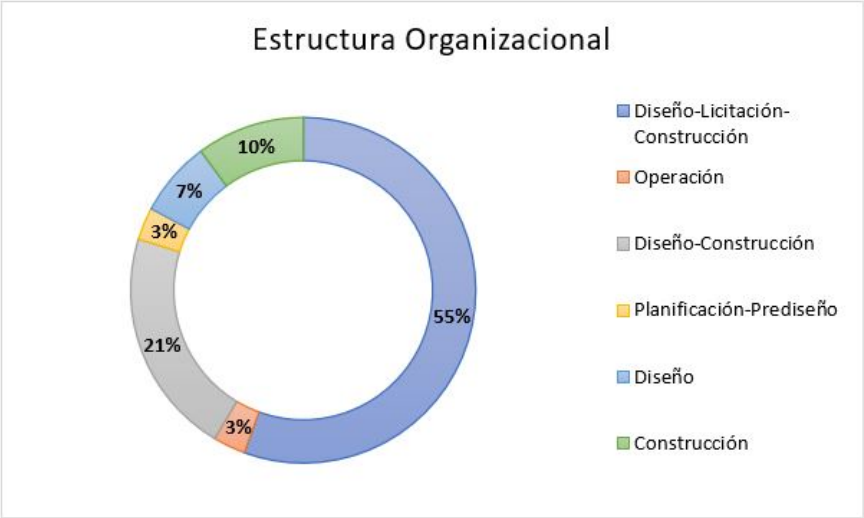


Figura 4.4: Estructura Organizacional.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Nivel de conocimiento del término

En la figura 4.5 se destaca que un 90% si conoce el término de constructabilidad y un 86% conoce los beneficios que trae su aplicación. Esto demuestra un nivel alto de entendimiento por parte de los encuestados.

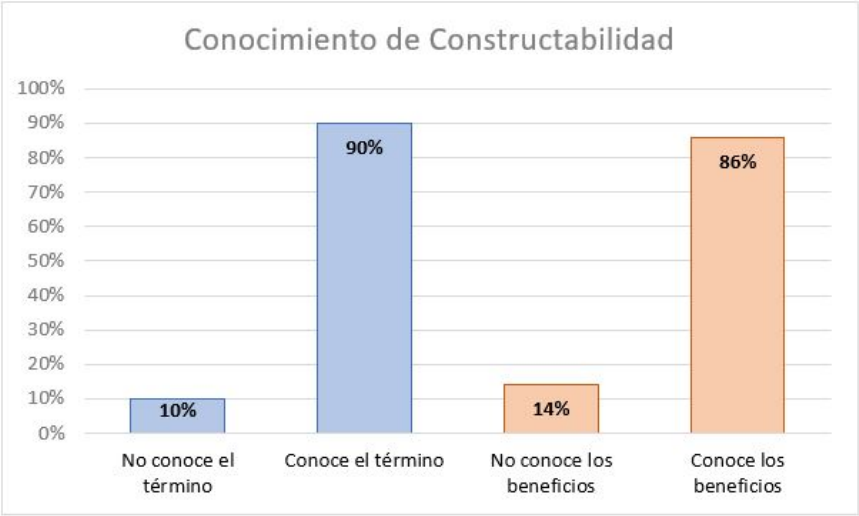


Figura 4.5: Conocimiento sobre el término de constructabilidad.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Principios de constructabilidad

Para el análisis de los principios se considerará que los porcentajes de frecuencia consultados tendrán la siguiente interpretación como muestra la tabla 4.1.a.

Tabla 4.1: Nivel de frecuencia.

Aplicación	Nunca	Casi Nunca	A veces	Normalmente	Casi Siempre	Siempre
Porcentaje	0%	20%	40%	60%	80%	100%

(a) Elaboración propia.

4.1.3.1. Planificación de la construcción

4.1.3.1.1. Revisión de métodos de construcción que incluyen el reciclaje y sustentabilidad

De los resultados obtenidos como muestra el gráfico 4.6 se aprecia que el 31% de los encuestados responde “Casi Siempre” siendo el mayor. Sin embargo, al contabilizar la opción “A veces” y “Casi nunca” se obtiene un porcentaje del 41% que corresponde a un poco menos de la mitad, por lo cual demuestra que aún se puede mejorar en la implementación de este punto.

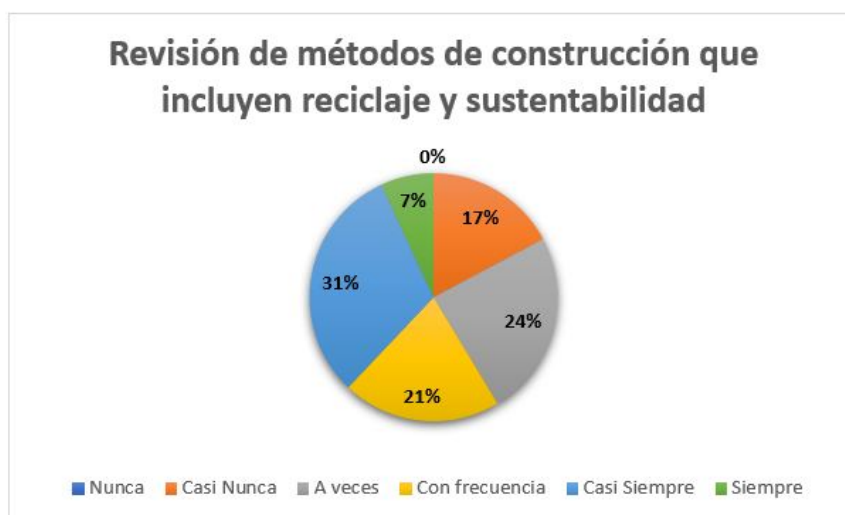


Figura 4.6: Revisión de métodos de construcción que incluyen reciclaje y sustentabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 4.6 se aprecia que aproximadamente el 60% evalúa este principio siempre o en la mayoría en los proyectos, no obstante, la otra mitad no lo hace o pocas veces. Lo anterior refleja una cultura dividida en temas de sustentabilidad.

En carreteras generalmente se utiliza la pavimentación asfáltica o de hormigón que provoca grandes emisiones y contaminación al ambiente, maquinaria de gran dimensión que genera ruidos y vibraciones y también se realiza una gran cantidad de movimiento de tierra que generan un cambio en los componentes del medio.

Actualmente en la industria de la construcción existe un proceso de auge y transición donde se busca concientizar y fomentar nuevos métodos y tecnologías en favor del medio ambiente. Por ejemplo el MOP exige planes de manejo integral (PMI) para la instalación de faena, uso y abandono de empréstitos/botaderos, plantas de producción de materiales, entre otros.

Por otra parte no existe una certificación sustentable para carreteras, caso contrario, la edificación cuenta con la “Certificación de Edificio Sustentable” (CES) que entrega los criterios establecidos que se deben cumplir. Sin embargo según Construye2025 se busca incluir un nuevo volumen de “Sustentabilidad en Proyectos Viales” que entrega un índice de calificación sustentable para proyectos viales [33].

Actualmente algunas de las exigencias sustentables dependen del mandante. Sin embargo como muestra la encuesta y normativas se está en un proceso de cambio.

4.1.3.1.2. Utilización de programa de constructabilidad para el proyecto

En la figura 4.7 se muestra que un 10% escoge la opción “Siempre”, un 41% “Casi Siempre” y un 21% “Normalmente”. Esto demuestra un alto nivel de aplicación a pesar de que no existe ninguna exigencia obligatoria para utilizarlo.

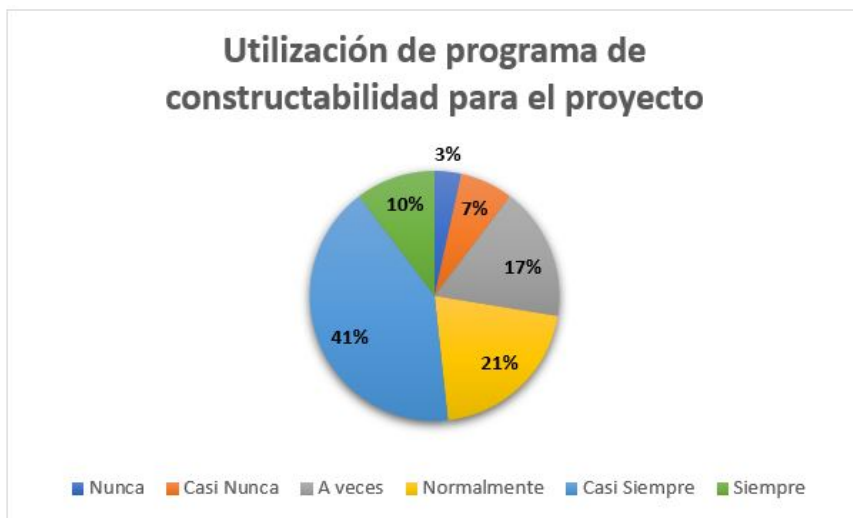


Figura 4.7: Utilización de programa de constructabilidad para el proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los programas de constructabilidad existen de dos tipos: a nivel empresarial y para cada proyecto donde su uso varía según el objetivo buscado. En particular el segundo se utiliza princi-

palmente cuando una empresa realiza una asesoría externa o si lo solicita el mandante (CII,1987) [4]. En Chile no existe ninguna normativa que obligue a utilizarlo o algún programa de constructabilidad publicado para proyectos de carretera, por lo que su uso es solo una buena práctica por parte de la empresa. Esto además se respalda con lo indicado en las entrevistas realizadas a profesionales de los organismos.

Finalmente según la experiencia de los profesionales existe un alto nivel de implementación de este programa sin embargo no se consultó respecto a su alcance. Por lo tanto queda como un futuro estudio a que nivel lo trabajan y cómo lo están aplicando.

4.1.3.1.3. Integración de la experiencia de la construcción en la planificación

Como muestra el gráfico 4.8 existe un nivel alto de aplicación donde solo un 10% indica que lo aplica “A veces” o “Casi Nunca”. Esto permite inferir que a la experiencia de la construcción se le da importancia necesaria y se comprende los beneficios que trae.

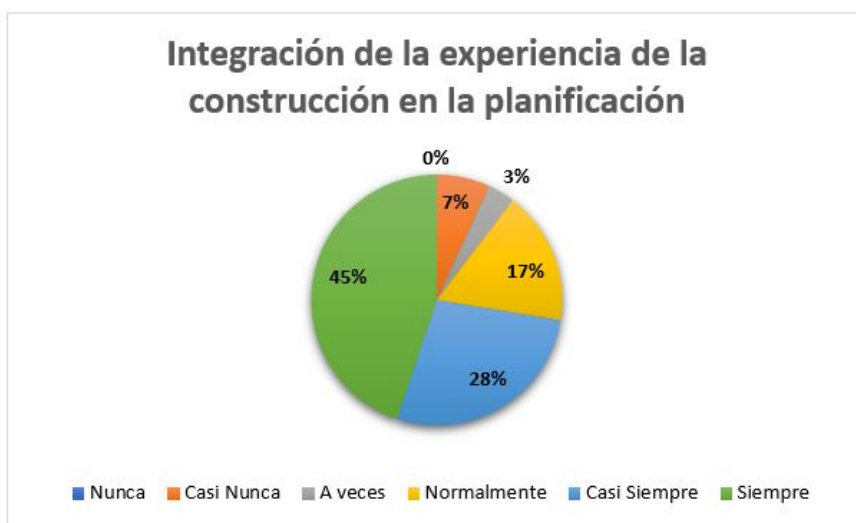


Figura 4.8: Integración de la experiencia de la construcción en la planificación.
Fuente: Elaboración propia.

El Manual de Carretera en sus distintos tomos entrega puntos que se deben considerar para la planificación. Esta etapa es muy importante debido a que se abordan distintos aspectos como la programación, los riesgos, métodos constructivos, planes de calidad, estrategia de contratación, entre otros. Por lo tanto contar con la experiencia de la construcción en este nivel influye positivamente, ya que permite considerar las opiniones desde una etapa temprana evitando posibles errores o factores que puedan afectar negativamente en la construcción.

4.1.3.1.4. Revisión de factores medioambientales

Como muestra la figura 4.9 se tiene con un 45% que se aplica “Siempre”, con un 21% “Casi Siempre” y con un 21% “Normalmente”. Esto demuestra que existe un alto nivel de aplicación para su revisión.

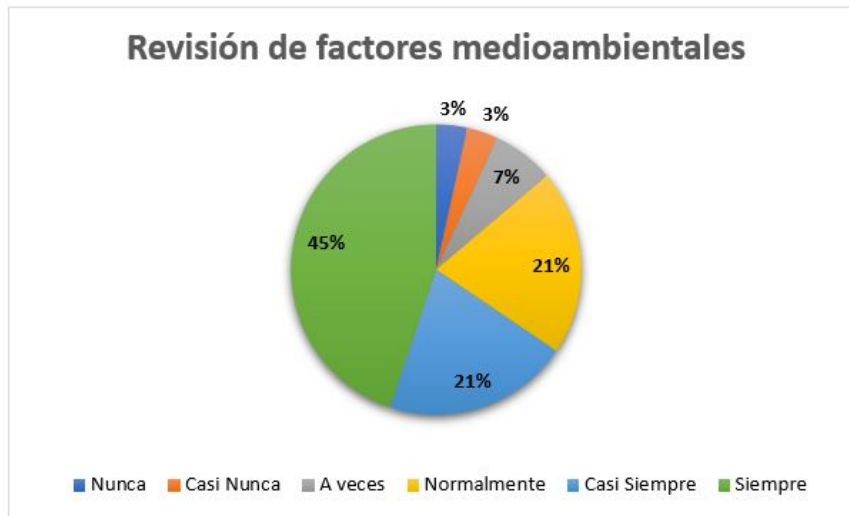


Figura 4.9: Revisión de factores medioambientales.
Fuente: Elaboración propia.

Los proyectos de infraestructura como las carreteras están bajo la ley 19.300 la cual establece el Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) a través de dos mecanismos: los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o de las Declaraciones (DIA) donde aplicar uno u otro depende de las exigencias de la norma. Por lo tanto es importante señalar que no todos los proyectos pasan obligatoriamente ya que depende de sus características.

Por otro lado el Manual de Carreteras en su volumen I indica que se debe revisar el costo social y la evaluación de impactos ambientales como su probabilidad de ocurrencia y sus efectos.

Por lo tanto tener un 90 % de aplicación demuestra que si se cumple la normativa anterior generando impactos positivos en la zona a trabajar y mejorando la relación con las comunidades.

4.1.3.2. Diseño

4.1.3.2.1. El diseño facilita la construcción ante problemas climáticos

Existe una opinión dividida respecto a este concepto. Por una parte el 55 % de los encuestados cree que “Nunca”, “Casi Nunca” o “A veces” el diseño cumple lo cuestionado, lo que representa un poco más de la mitad.

El diseño de carreteras cuenta con distintos aspectos como lo son el ancho y sección transversal, pendientes y curvas, drenaje, entre otros. Sin embargo estos quedan expuestos directamente a las condiciones meteorológicas por lo que la opinión de los encuestados se sustenta.

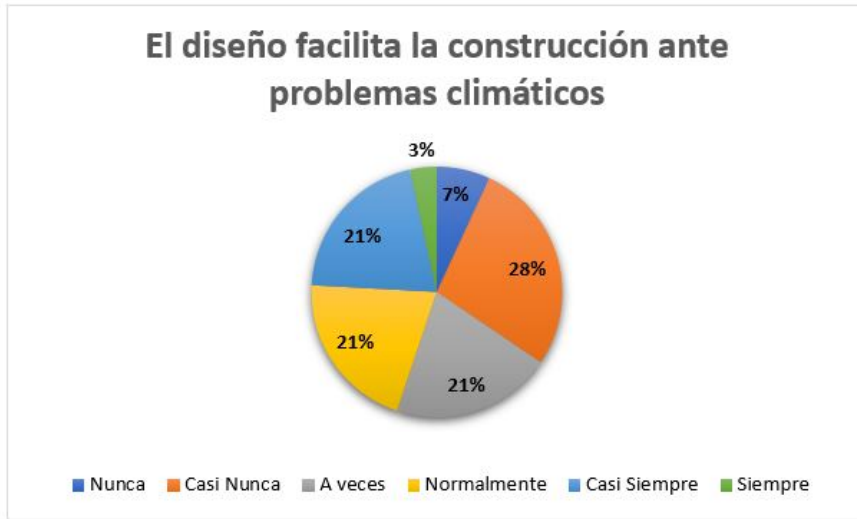


Figura 4.10: El diseño facilita la construcción ante problemas climáticos.
Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplificar en el proyecto “Mejoramiento y Reposición de la ruta G-16- Sector Lampa” obtenida de Mercado Publico ([11]) se aprecia del plano de “Planta y Perfil Longitudinal” que la carretera queda expuesta directamente a las condiciones del clima y que además posee una gran extensión. Por lo tanto, cambiar el diseño para enfrentar el clima es poco viable. Por esta razón, además se vuelve una de las principales problemáticas a la hora de construir como indican los entrevistados.

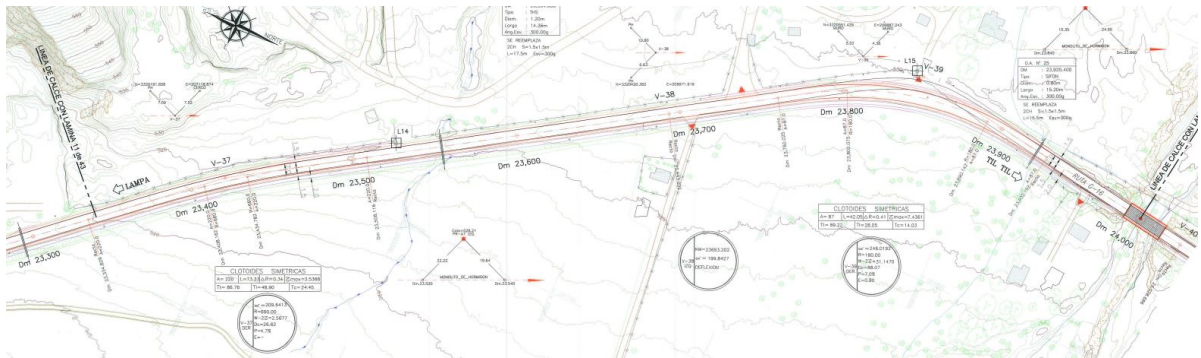


Figura 4.11: Plano de Planta y Perfil Longitudinal - Mejoramiento y Reposición de ruta G-16 - Sector Lampa.
Fuente: Mercado Público.

4.1.3.2.2. Utilización de elementos prefabricados

Se aprecia en la imagen 4.12 que un 17 % de los encuestados indica que se utiliza “Siempre”, un 21 % “Casi Siempre” y un 28 % “Normalmente”. Esto implica un alto uso de este principio que produce varios beneficios.

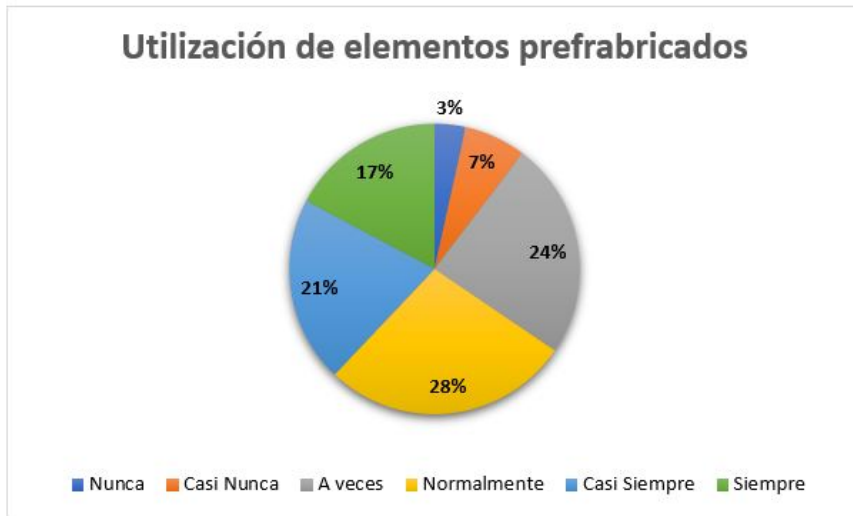


Figura 4.12: Utilización de elementos prefabricados.
Fuente: Elaboración propia.

El uso de elementos prefabricados ha ido en aumento en la industria de la construcción y considerar la opción desde el diseño genera mayores beneficios. En el caso de carreteras si bien no se utiliza para la construcción del camino, ya que principalmente se hace por capas granulares y revestimientos o pavimentos, si se utiliza en otro tipo de elementos como los de seguridad vial.

Al analizar proveedores de prefabricados, de material hormigón se encuentran las siguientes soluciones: Barreras tipo F, camellones, muros TEM, cajones aforadores, cámaras, pantallas acústicas, soleras, entre otros. También existen en acero como las barreras de contención y todos los señalizadores como carteles y señaléticas de tránsito. En la imagen 4.13 se aprecia el uso de barreras de hormigón en el sector de la ruta 115CH.

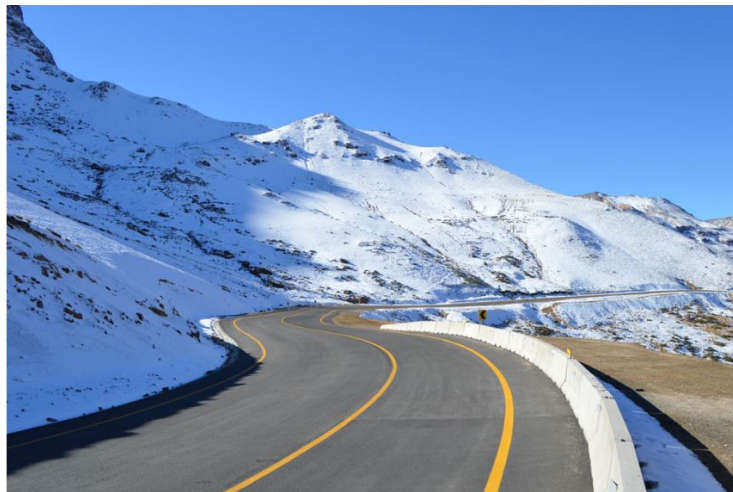


Figura 4.13: Barreras prefabricadas de hormigón - Ruta 115CH, Sector Quebrada Los Toros - Limite Paso Pehuenche.
Fuente: Constructora FV [31].

Por lo tanto tener un nivel alto de aplicación por parte de los profesionales encuestados, es una señal de que se está incluyendo y considerando esta metodología. Según el Diario Financiero trae los siguientes beneficios: “más productividad, mayor calidad, menos problemas de posventa y menos desechos” [9].

4.1.3.2.3. Revisión del diseño por parte del personal de construcción para minimizar el desperdicio de materiales y reciclaje

Al consultar por este principio los encuestados demuestran un alto nivel de aplicación. Con un 17% se elige la opción “Siempre”, con un 24% “Casi siempre” y con un 24% “Normalmente” como muestra la figura 4.14.

Considerar el desperdicio de materiales y reciclaje desde el diseño y sumado a la experiencia de quien va a construir permite una gestión más eficiente, ya que se pueden realizar las modificaciones u optimizaciones al diseño en una etapa temprana y no se espera hasta la construcción donde el diseño ya no se puede modificar sustancialmente. Este principio esta alineado a los objetivos de la economía circular el cual busca eliminar los residuos y la contaminación desde el diseño.

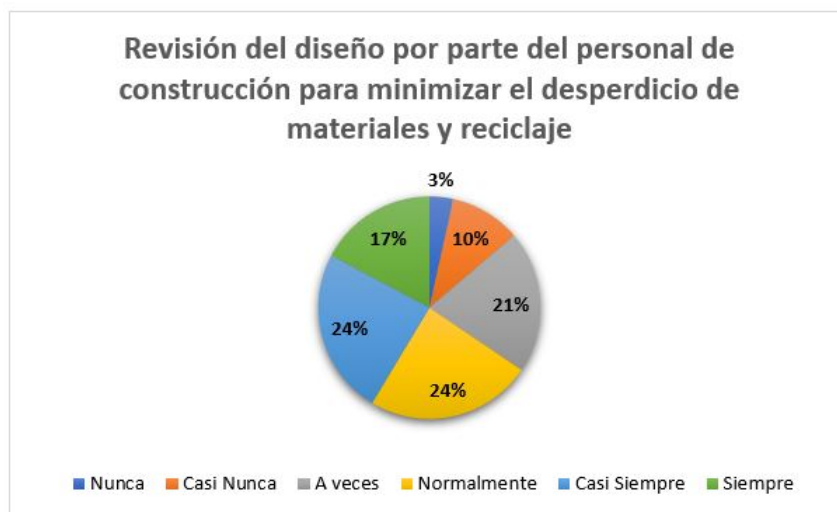


Figura 4.14: Revisión del diseño por parte del personal de construcción para minimizar el desperdicio de materiales y reciclaje.

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente en carretas existen distintas alternativas que se pueden realizar como: la utilización de materiales reciclados, evaluación de alternativas de asfaltos, optimización de los trazados para minimizar el uso de áridos, utilización de residuos de otros proyectos como material, entre otros. Por lo que opciones existen y se van expandiendo día a día.

4.1.3.2.4. Consideración de la seguridad y salud en las especificaciones de diseño

De los resultados obtenidos se aprecia que un 45 % de los profesionales indica que ocurre “Siempre” o “Casi siempre” como muestra la figura 4.15.

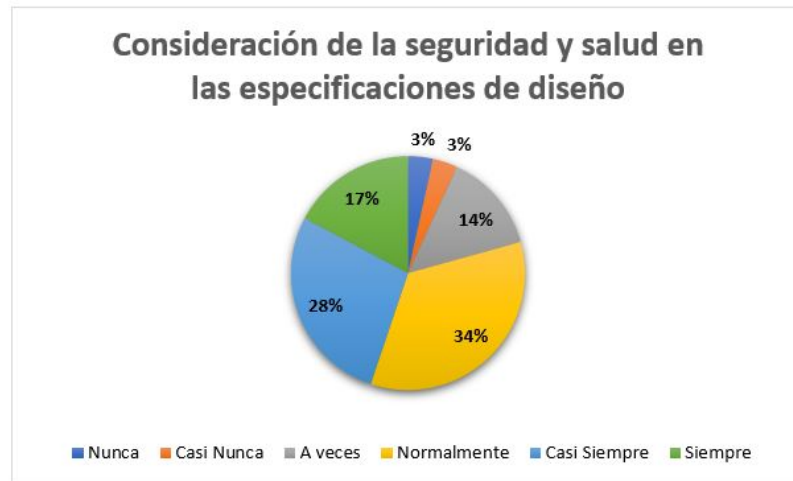


Figura 4.15: Consideración de la seguridad y salud en las especificaciones de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño de un proyecto debe ser tal que no ponga en riesgo a los trabajadores ni su seguridad para que pueda desarrollarse correctamente. Si bien en carreteras no existe un alto riesgo como en la edificación (estar en altura o caída de materiales) o minería (elementos de grandes dimensiones y más especialidades) este aspecto debe igualmente abordarse para no tener problemas en el futuro.

4.1.3.2.5. Tiempo suficiente para la revisión del diseño para garantizar su calidad

Un 14 % de los encuestados indica que “Casi Nunca” o “A veces” tiene el tiempo suficiente lo cual demuestra un alto nivel de aplicación de este principio.



Figura 4.16: Tiempo suficiente para la revisión del diseño para garantizar calidad.

Fuente: Elaboración propia.

Según un estudio realizado el 2017 por Alarcón [1] este indica que dentro de los factores generadores de falencias del diseño una de las causas es contar con un plazo corto para el estudio. Sin embargo actualmente según la opinión de los profesionales se cuenta con el tiempo suficiente para su revisión.

Realizar una inspección del diseño exhaustivamente permite revisar y abordar diversos aspectos como los métodos constructivos, definición, geometría, entre otros. Esto será un beneficio para etapas posteriores.

4.1.3.2.6. Los diseños permiten una construcción eficiente

Las opciones “Siempre” y “Casi Siempre” entregan un porcentaje del 61 % lo que representa más de la mitad de los encuestados como se muestra en la figura 4.17. Lo anterior refleja una disposición y entrega adecuada del diseño para su posterior construcción.

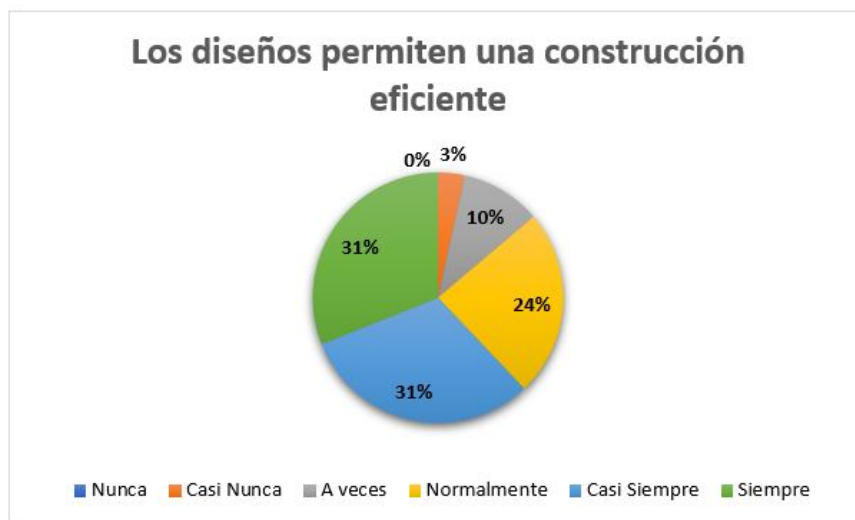


Figura 4.17: Los diseños permiten una construcción eficiente.
Fuente: Elaboración propia.

La encuesta refleja que la disposición y calidad del diseño que se realiza es buena y permite construir eficientemente. Además según las entrevistas realizadas a profesionales de la construcción estos indican que en general no se cuenta con un gran problema con el diseño y que se cumplía con su construcción como éste venía, respaldando lo obtenido.

Por lo tanto contar con un buen nivel de diseño el cual tenga los menores errores posibles y que los elementos realmente se puedan construir en terreno, generan un ahorro en posibles problemáticas a la hora de construir.

4.1.3.2.7. Los diseños promueven la accesibilidad del personal, material y equipo

Se tiene con un 38 % la opción de Siempre, 28 % Casi Siempre y un 24 % Normalmente sumando un total de 90 % (figura 4.18). Esto demuestra que el diseño si promueve la accesibilidad.

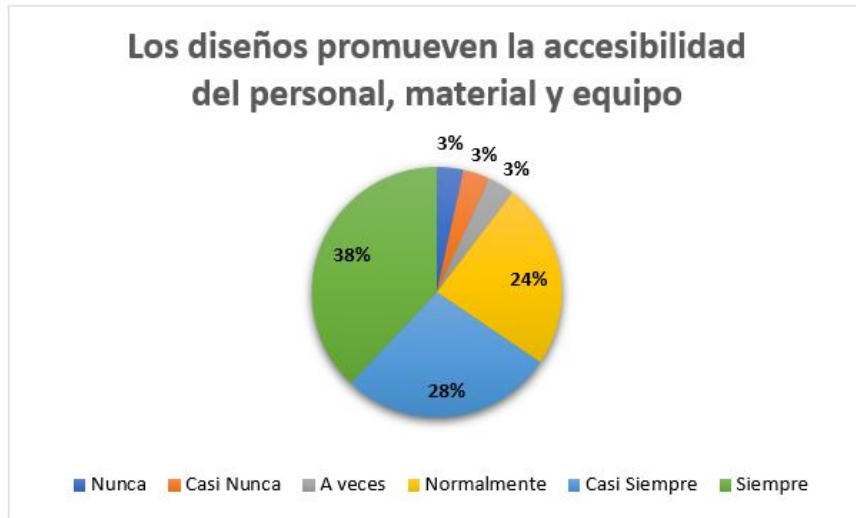


Figura 4.18: Los diseños promueven la accesibilidad del personal, material y equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el espacio para trabajar dependerá de la ubicación del proyecto, es importante notar que el diseño de una carretera no genera grandes restricciones de acceso. Esto debido a que no se cuenta con zonas cerradas y se tiene una gran extensión de kilómetros lo que permite incluso trabajar en más de un frente. Lo anterior se puede ejemplificar en el plano de la planta geométrica de la Ruta 215-CH (figura 4.19).

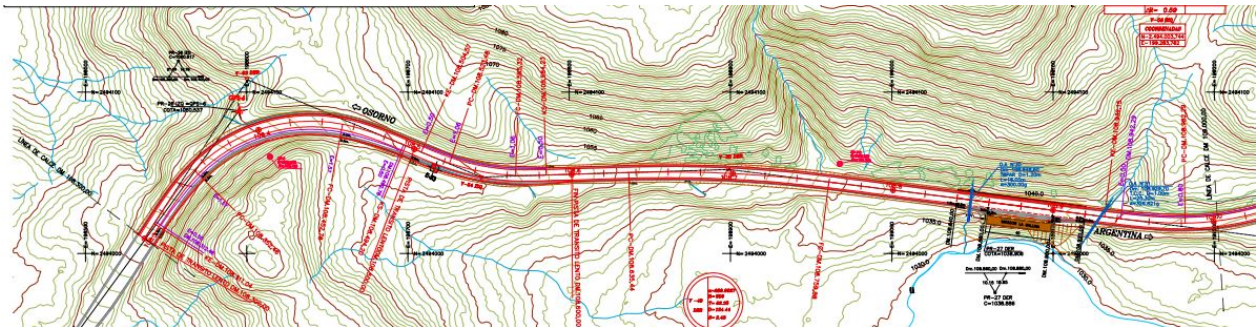


Figura 4.19: Extracto de Planta Geométrica - Ruta 215-CH.

Fuente: Mercado Público [12].

Por lo tanto como se demuestra en la opinión el diseño no restringe la accesibilidad lo que resulta beneficioso ya que se permite un flujo constante de trabajo.

4.1.3.2.8. Los elementos de diseño están estandarizados

Como muestra la imagen 4.20 la mayoría está de acuerdo con el principio. Con un 38 % se indica la opción “Siempre”, un 34 % “Casi Siempre” y un 24 % “Normalmente”.

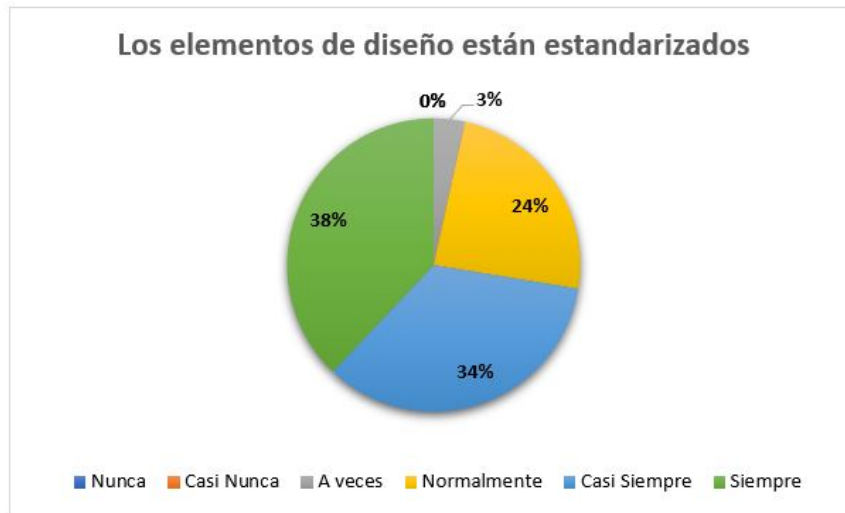


Figura 4.20: Los elementos de diseño están estandarizados.
Fuente: Elaboración propia.

Debido a la naturaleza de este tipo de obras y al marco que entrega el Manual de Carreteras los criterios y elementos que componen el diseño son claros. Generalmente se entregan planos de planta general, planta de perfiles longitudinales, perfiles tipo, perfiles transversales, saneamiento, entre otros.

Por ejemplo para un perfil tipo está compuesto por el ancho, espesor de materiales, cunetas, entre otros. Lo anterior se muestra la imagen 4.21 correspondiente a un perfil tipo 1 de la reposición Ruta 215-CH.

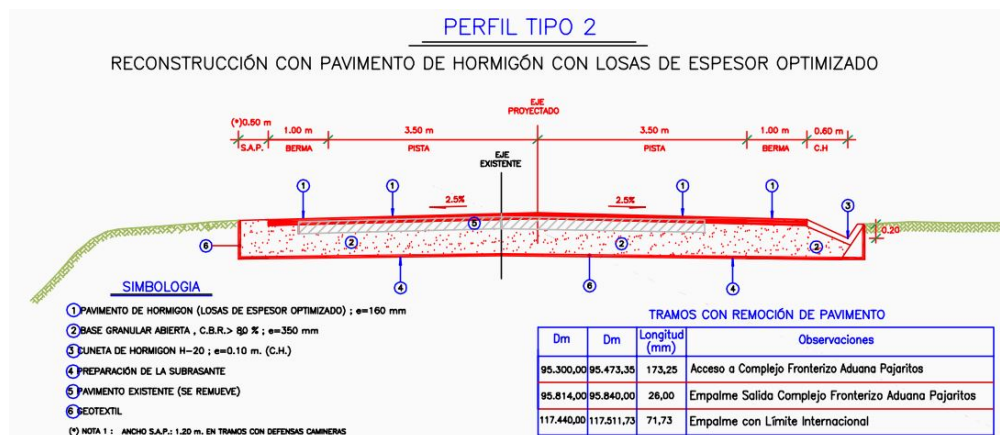


Figura 4.21: Perfil tipo 2 - Plano Geométrica PTL3.
Fuente: Mercado Público [12].

Por lo tanto si bien puede ir variando los aspectos según el proyecto existen puntos mínimos de qué esperar en la entrega de un diseño y que se muestran en el Manual de Carreteras.

4.1.3.2.9. Utilización de herramientas y programas computacionales

La opción “Siempre” y “Casi siempre” fue seleccionada por el 90% lo que demuestra que es altamente utilizado (figura 4.22). Sin embargo se puede mejorar respecto a la innovación de estos.



Figura 4.22: Utilización de herramientas y programas computacionales.
Fuente: Elaboración propia.

Generalmente en la etapa de diseño se entregan documentos y planos. Al revisar distintas licitaciones en Mercado Público (como la ruta G-16 y 215-CH anteriormente ejemplificadas) se observa que la mayoría de los antecedentes de diseño son entregados en AutoCAD o pdf.

En Chile se está produciendo un cambio gradual para implementar PlanBIM en proyectos de infraestructura por parte del Estado [32] y en el ámbito privado depende del mandante incentivar nuevas herramientas. Esto permitirá una serie de mejoras en la tecnología donde para el diseño se permite ver una visualización 3D del proyecto haciendo más fácil su comprensión y detección de errores.

4.1.3.3. Construcción

4.1.3.3.1. Reducción de residuos de embalaje y movilización

En la imagen 4.23 con un 58% se tiene la opción “Nunca”, “Casi Nunca” y “A veces” lo que demuestra un nivel de implementación deficiente.

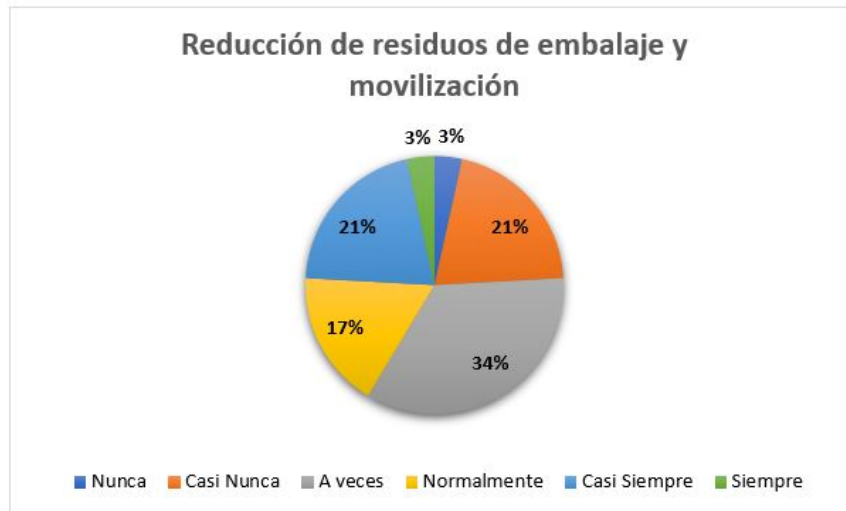


Figura 4.23: Reducción de residuos de embalaje y movilización.
Fuente: Elaboración propia.

La utilización de los distintos materiales trae consigo el uso de embalajes para su protección los que luego se convierten en residuos como lo es el cartón, metal y plástico. Además se debe considerar el insumo de las maquinarias como el petróleo, aceite, baterías o filtros que generalmente traen su propia protección [10]. Dentro de los lineamientos de la Dirección de Vialidad se tiene: “Manejar adecuadamente los residuos producidos por la ejecución de nuestras obras, favoreciendo la reutilización, reciclaje o neutralización de los mismos” [25].

Actualmente las normativas y tecnologías que se desarrollan son: Plan de Gestión RCD en obras MOP, donde desde el 2021 se les exige a obras concesionadas. También se busca incluir en el Manual de Carretera criterios de economía circular y gestión de residuos [33].

Por lo tanto se demuestra una cultura de cambio lo que se ve reflejado en las distintas medidas y la opinión de los encuestados. Considerar el reciclaje y una buena gestión de residuos es primordial para su recuperación.

4.1.3.3.2. Documentación y retroalimentación de los problemas

De los encuestados un 28 % indica que lo realiza “A veces”, y el 7 % “Casi Nunca” lo que representa un 35 %. Esto demuestra que no todos los hacen lo que implica un punto de mejora en la documentación.

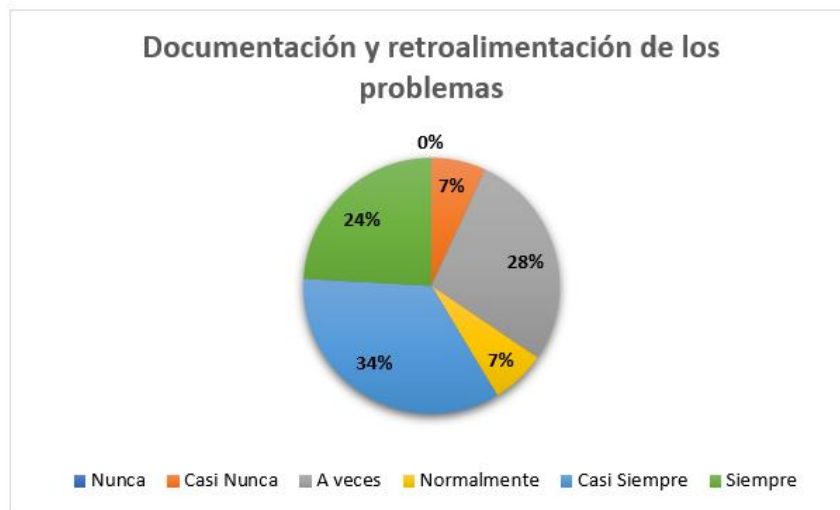


Figura 4.24: Documentación y retroalimentación de los problemas.
Fuente: Elaboración propia.

A los contratistas se les suele exigir en las bases que cumplan con la norma ISO9001 de Gestión de Calidad la cual indica en el punto 4.4.2 que “la organización debe mantener información documentada para apoyar la operación de sus procesos” [30].

Por otro lado en la obra se mantiene una comunicación a través del libro de obras y reportes. Según el MOP el primero debe contener la gestión de calidad exponiendo auditorías internas, el plan de calidad y sus modificaciones, modificaciones de obra, la modificación del programa de trabajo, entre otros. En el caso de los reportes existe para los incidentes, ejecutivo mensual indicando el avance físico, el estado del contrato y el avance de la mano de obra, entre otros ejemplos [29].

Lo anterior demuestra que existe un alto nivel de exigencia de la documentación y sus procesos hacia al contratista. Además tener una documentación formal permite una buena retroalimentación para los problemas que se detectaron y no volver a repetirlos. Por lo tanto que no todos los encuestados lo realicen implica que se puede mejorar.

4.1.3.3.3. Utilización de métodos innovadores

Si bien el 10% de los profesionales indica la opción “Siempre” y un 41% “Casi Siempre” representando aproximadamente el 50%, el resto indica opciones no tan favorables por lo que se puede fomentar para tener una mayor aplicación (figura 4.25).



Figura 4.25: Utilización de métodos innovadores.
Fuente: Elaboración propia.

En la construcción de carreteras se utilizan distintos equipos como la motoniveladora, retroexcavadora, placa compactadora, rodillo neumático, entre otros, jugando un rol fundamental en el desarrollo de este. Por lo que buscar nuevas tecnologías que aporten una mayor precisión, durabilidad y productividad es indispensable.

Cada día aparecen nuevas tecnologías por lo que informarse debe ser una preocupación para las empresas y el Estado. Actualmente existen distintas opciones como: compactación inteligente [38], localizadores electromagnéticos (EML) y el radar de penetración en el suelo (GPR) para detección de estructuras subterráneas [8] y la utilización de escáneres láser para una mejor visualización del terreno [35]. En específico la empresa Samtech presentó una maquinaria que representa una solución de nivelación electrónica para la medición y cumplimiento del International Roughness Index (IRI) durante la pavimentación asfáltica” [36].

Por lo tanto el uso de nuevas tecnologías es importante y fomentar su inclusión en el Manual de Carreteras es beneficioso. Además para que realmente se revise es importante que se exija como un punto en las bases por el mandante para que el contratista realmente evalúe las opciones.

4.1.4. Herramientas de constructabilidad

4.1.4.1. Diseño

Al consultar por el tipo de herramientas que aplican para la inclusión de este concepto, la más usada con un 83 % es la “revisión por pares”, luego le sigue con un 69 % la “revisión del diseño por un experto en construcción” y luego un 62 % utiliza un “manual de constructabilidad” en los proyectos como muestra la figura 4.26.

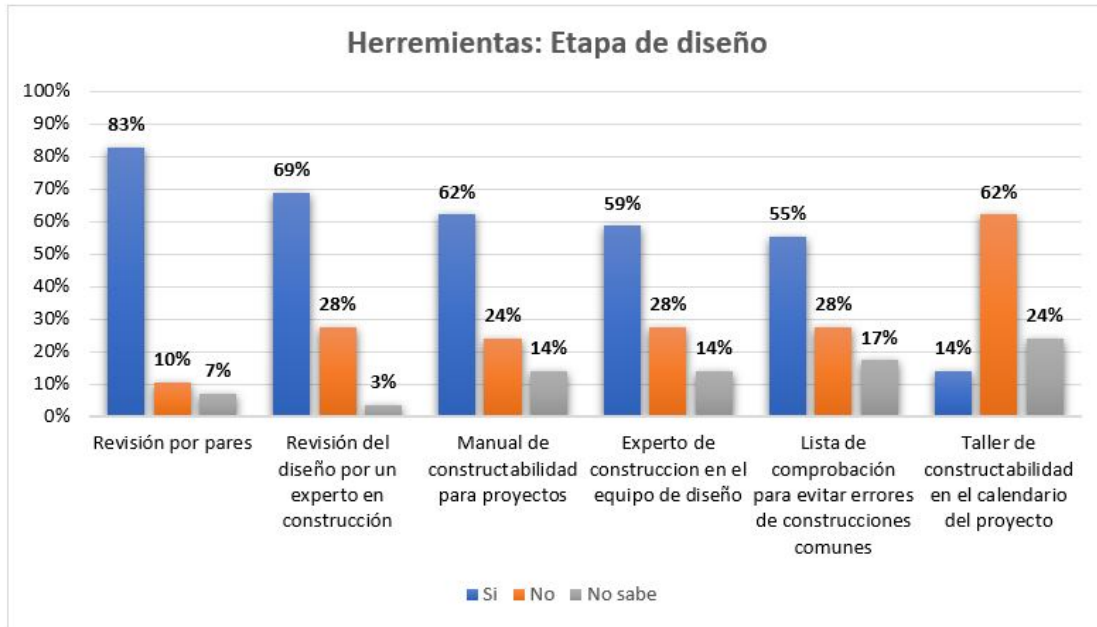


Figura 4.26: Herramientas: Etapa de diseño.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la opción de “revisión por pares” esta no es parte de la constructabilidad, ya que generalmente el diseño lo revisa alguien de la misma área (sin necesariamente los conocimientos constructivos necesarios). Por lo tanto, que sea la más utilizada implica que se puede fomentar las demás.

Los proyectos de carretera al ser licitados generan que se trabaja con el área de diseño y construcción por separado, por lo que las opciones de “revisión del diseño por un experto en construcción” o que un “experto este en el equipo de diseño” permite un beneficio en la revisión diseño. Por lo tanto, si bien existe un alto nivel de aplicación (aproximadamente el 70 % y 60 % respectivamente) el diseño debería pasar siempre por la revisión de alguien de la construcción, por lo que se puede fomentar aún más estas herramientas.

En Chile no existe “manual de constructabilidad” publicado, por lo que el 62 % que lo aplica nace de una buena práctica de la empresa. En este mismo ámbito se aprecia que de las herramientas consultadas la única que no se utiliza es el “taller de constructabilidad” que está dentro de las

definiciones de un programa de constructabilidad como muestra la figura 2.3. Este es sustancial para los proyectos, especialmente los con mayor dificultad, ya que permite la revisión por los actores más importantes (mandante, proveedores, diseñador, constructor, etc.).

En relación a la “lista para evitar errores” solo un 55 % lo aplica. Este nivel se puede mejorar, ya que tener la documentación adecuada de estos permite disminuir errores que pueden afectar en el futuro.

4.1.4.2. Construcción

De las tres herramientas consultadas se observa un alto nivel de aplicación para todas con aproximadamente entre un 70 %-80 % como se muestra en la imagen 4.28.

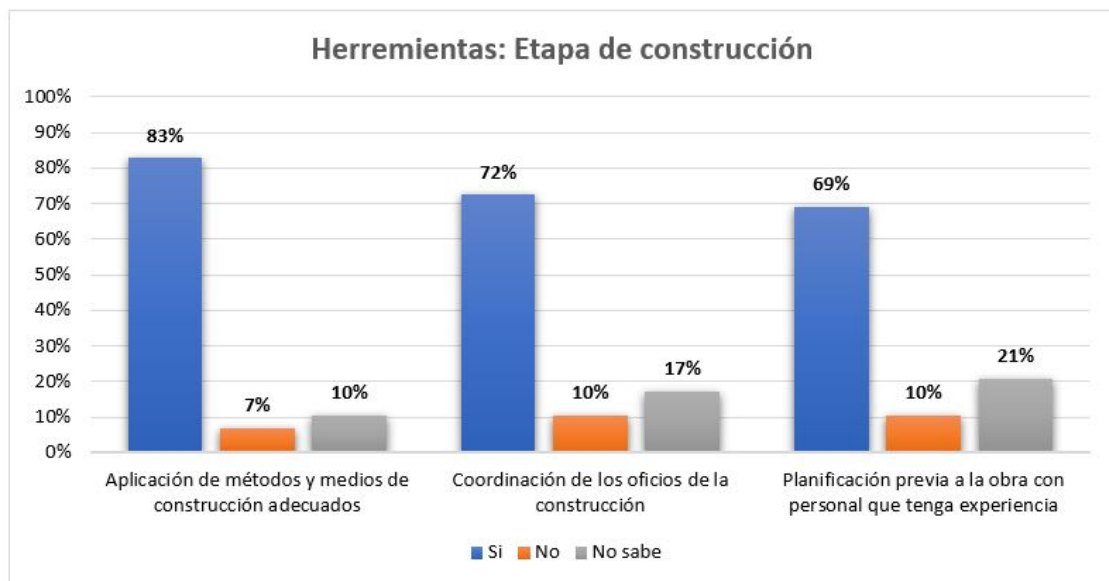


Figura 4.27: Herramientas: Etapa de construcción.
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia un 83 % de los encuestados indica que se realiza la selección de métodos constructivos adecuados. Sin embargo esto se opone a algunas opiniones de los entrevistados que indican que los métodos constructivos son una problemática existente.

Una adecuada coordinación para la construcción permite generar un flujo de trabajo correcto y una repartición adecuada de las actividades por lo que es altamente necesario. El 72 % indica que si se realiza lo que es un buen nivel.

Realizar una buena planificación es de suma importancia ya que entrega la secuencia constructiva, quien va a ser cada actividad, entre otros aspectos. El 69 % indica que se realiza la planificación con personal que tiene experiencia lo que es beneficio para la toma de decisiones.

4.1.5. Barreras de implementación de constructabilidad

Como se aprecia en la figura 4.28 existen variadas opiniones que van desde que si se consideran barreras hasta que no, incluso en algunos existe una opinión dividida.

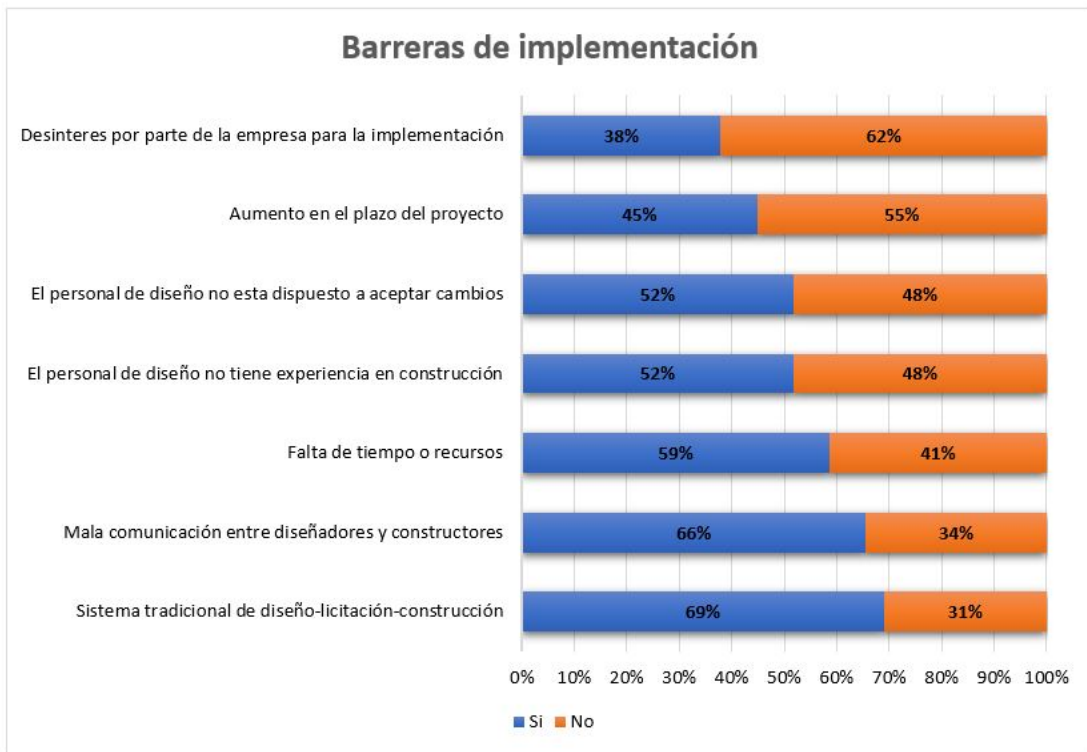


Figura 4.28: Barreras de implementación.
Fuente: Elaboración propia.

El “desinterés por parte de la empresa” y el “aumento del plazo” del proyecto no se consideraron como una barrera por parte de los encuestados. Esto debido a que la constructabilidad se debe considerar desde el inicio del proyecto y debe estar integrado en el calendario de este.

En relación “al personal de diseño que no está dispuesto a hacer cambios” y “no cuenta con la experiencia de construcción” un 50% si lo considera barrera y el otro no, por lo que existe una opinión dividida. Sin embargo para cambiar esto debe existir un cambio cultural de los trabajadores de aceptar las herramientas de cambio y adecuarse a ellas. Por otra parte para aumentar el conocimiento de la construcción se puede aumentar a través de charlas, cursos o capacitaciones por parte de la empresa.

La “falta de tiempo o recursos” y la “mala comunicación entre diseñadores y constructores” se identifican como barreras. Respecto al primero es importante adecuarse al estado de cada empresa y evaluar este concepto de forma oportuna. Respecto a la mala comunicación, se debe a la separación que existe entre estas áreas. Para fomentarlo se puede escoger otro tipo de contrato o utilizar más reuniones que fomenten una comunicación abierta.

El “método tradicional de diseño-licitación-construcción” apoya la separación de las áreas por lo que sí se consideró como barrera. Por lo que fomentar otro tipo de contrato que permita la integración temprana de la construcción es importante.

Como se aprecia existen barreras de ámbito cultural y administrativas que pueden ir cambiando en medida que la empresa tome acciones. Esto permitirá una aplicación más profunda del concepto.

4.2. Resumen de evaluación

En general se aprecia un alto nivel de aplicación de los principios y herramientas consultadas. Otros se encuentran en estado de proceso o no se aplican, por lo que se pueden mejorar. Sin embargo falta un nivel de formalización, ya que si bien al consultar por el programa de constructabilidad algunos lo utilizaban, la principal herramienta de la ruta de la implementación que es el taller de constructabilidad no se utilizaba.

Por otra parte, se les consultó a los encuestados si el concepto se debería aplicar a obras viales y todos respondieron que sí. Por lo que el nivel actual que presenta es bueno y se puede seguir mejorando.

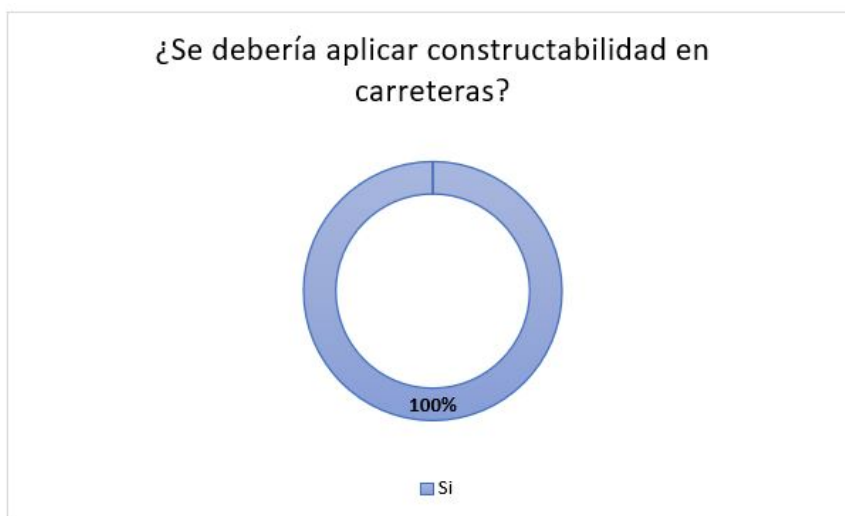


Figura 4.29: Aplicación del concepto en carreteras.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta una tabla resumen con el nivel de aplicación en el que se encuentra. Se puede dividir en “Aceptable”, “En proceso” y “No aceptable”. Además de detallar las principales acciones o estado en el que se encuentra actualmente.

Tabla 4.2: Resumen de evaluación (Parte 1).

Eje	Área	Detalle	Nivel de aplicación	Estado actual
Nivel de conocimiento	Constructabilidad	Conocimiento del término	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Existe un alto nivel de conocimiento por parte los profesionales.
Principios	Planificación	Reciclaje y Sustentabilidad	En proceso	<ul style="list-style-type: none"> No existe certificación sustentable para carreteras. Se busca crear un nuevo volumen en el Manual de Carreteras. Se exigen planes PMI por parte del MOP.
		Programa de constructabilidad	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Un gran número de los encuestados lo aplica. Falta estudiar que consideran como este programa.
		Integración de experiencia de la construcción	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Alto nivel de implementación por parte de los profesionales en la planificación. Se da la importancia necesaria a la opinión de la construcción.
		Factores medio ambientales	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Proyectos de carreteras están bajo la ley 19.300 que establece la evaluación de impacto ambiental (SEIA). El Manual de Carreteras indica la revisión de impactos ambientales y costos sociales.
	Diseño	El diseño facilita la construcción contra imprevistos climáticos	En proceso	<ul style="list-style-type: none"> El diseño de las carreteras se caracteriza por su gran extensión y quedar expuesto directamente al ambiente. Cambiar su naturaleza para combatir los imprevistos climáticos es difícil.
		Elementos prefabricados	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Tiene un gran alcance por los encuestados. Se utiliza en diversos elementos como muros TEM, barreras de hormigón o acero, soleras, cámaras, entre otros.

(a) Elaboración Propia.

Tabla 4.3: Resumen de evaluación (Parte 2).

Eje	Área	Detalle	Nivel de aplicación	Estado actual	
Principios	Diseño	Revisión del diseño para disminuir el desperdicio de materiales y reciclaje	En proceso		<ul style="list-style-type: none"> • Está dentro de los lineamientos de medio ambiente de la Dirección de Vialidad y de la economía circular. • Existen alternativas a aplicar como optimizar el trazado para minimizar el uso de áridos, material reciclado, etc.
		Seguridad y salud en especificaciones de diseño	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • Según los encuestados se considera y se revisa la seguridad del diseño.
		Tiempo suficiente para la revisión del diseño	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente los profesionales consideran que se cuenta con el tiempo suficiente para la revisión del diseño.
		Los diseños permiten una construcción eficiente	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • Los diseños entregados permiten una buena y óptima construcción en general.
		Los diseños promueven la accesibilidad del personal, material y equipos	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • El diseño de carreteras no genera complicaciones de accesibilidad debido a su gran extensión y su poca restricción.
		Elementos estandarizados	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • El Manual de Carreteras entrega un marco referencial para el diseño. • En general se conoce y se sabe que esperar de los planos y sus componentes como: de planta, perfiles longitudinales, perfil transversal, etc.
		Utilización de herramientas y programas computacionales	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> • Principalmente se utiliza AutoCAD para la entrega de planos.

(a) Elaboración Propia.

Tabla 4.4: Resumen de evaluación (Parte 3).

Eje	Área	Detalle	Nivel de aplicación	Estado actual	
Principios	Construcción	Reducción de residuos de embalaje y movilización	En proceso	<ul style="list-style-type: none"> Opinión dividida de los encuestados. Se incluirán en el Manual de Carretera punto sobre la economía circular y gestión de residuos. Se exigen planes de Gestión RCD en obras MOP 	
		Documentación y retroalimentación de los problemas	En proceso		<ul style="list-style-type: none"> Existe exigencia hacia el contratista en mantener la información documentada por el libro de obra y reportes. La norma ISO9001 fomenta este criterio. No todos los encuestados lo aplican.
		Utilización de métodos innovadores	En proceso		
Herramientas	Diseño	Revisión por pares	Aceptable	<ul style="list-style-type: none"> Existe un nivel variado de uso según la herramienta consultada. 	
		Revisión del diseño por un experto en construcción	Aceptable		
		Manual de constructabilidad para proyectos	En proceso		
		Experto de construcción en el equipo de diseño	En proceso		
		Lista de comprobación para evitar errores de construcciones comunes	En proceso		
		Taller de constructabilidad en el calendario del proyecto	No aceptable		
	Construcción	Aplicación de métodos y medios de construcción adecuados	Aceptable		<ul style="list-style-type: none"> Existe un buen nivel para las tres. Seguir fomentando su uso y revisión.
		Coordinación de los oficios de la construcción	Aceptable		
		Planificación previa a la obra con personal que tenga experiencia	Aceptable		

(a) Elaboración Propia.

Capítulo 5

Recomendaciones y buenas prácticas

A continuación se presentan las recomendaciones que nacen del análisis realizado.

5.1. Administrativo

5.1.1. Tipo de Contrato

En general los contratos de obras viales utilizan la separación del diseño y construcción. En 2019, según Matriz Consulting, “mientras 750 obras viales se realizaron bajo el decreto 75 (ejecución), 170 bajo el decreto 48 (diseño) y se realizaron 0 obras bajo el decreto 108 (diseño y construcción)” [23].

Por lo tanto se deben fomentar los contratos que involucren de forma temprana a los distintos actores para un mejor comprensión y desarrollo, en otras palabras, se requiere avanzar en contratos de diseño-construcción o los que estén bajo un modelo Integrated Project Delivery (IPD).

5.1.2. Permisos

Con base en las entrevistas, una de las principales problemáticas identificadas es la tramitación de los permisos. Se recomienda gestionar de forma más eficiente para disminuir el tiempo de espera, tanto en permisos ambientales como en temas relacionados a expropiaciones.

5.1.3. Normativa

Las carreteras se rigen principalmente por el Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación del MINVU y el Manual de Carreteras por lo que se deben mantener actualizadas para integrar los puntos de mejora que en este caso corresponden a la sustentabilidad o nuevas técnicas constructivas.

5.2. Diseño

5.2.1. Revisión

Una de las principales características de la constructabilidad es considerar la experiencia de la construcción dentro de las distintas etapas del proyecto. Por lo tanto, se debería exigir que para continuar a la siguiente etapa, el diseño debería ser revisado por una persona que cuente con la experiencia necesaria, ya sea personal interno de la empresa o externo.

5.3. Construcción

5.3.1. Programación

Se recomienda utilizar metodologías, como Last Planner, que impulsen un adecuado programa y control, con el fin de entregar un apoyo real en la coordinación y ejecución en obra, siempre considerando el factor climático.

5.3.2. Métodos innovadores

Se aconseja exigir en las bases del proyecto el uso de nuevas tecnologías como compactadoras inteligentes, drones, GPS, entre otros.

5.4. Empresarial

5.4.1. Programa de constructabilidad

Generar un programa o manual de constructabilidad basado en el contexto nacional e incorporando los talleres de constructabilidad, especialmente útil para obras con alta complejidad, para que las empresas que deseen implementarlo posean una guía.

5.4.2. Cultura

Para la superación de las barreras se debe promover el cambio cultural de la empresa. Esto incluye la educación del personal permitiendo una real comprensión del concepto y un mejoramiento continuo que este promueve.

5.5. Sustentabilidad

5.5.1. Diseño y construcción

Exigir en las bases del proyecto el uso de herramientas sustentables desde el diseño hasta la construcción como la optimización del trazado, uso de áridos reciclados, gestión de residuos, entre otros para generar menor impacto en el ambiente.

5.6. Educacional

5.6.1. Curso/Malla

Integrar el concepto de constructabilidad en las mallas de la educación superior para generar un cambio de paradigma desde etapas tempranas en la formación, lo anterior, permitiría una mayor adopción y difusión.

5.7. Herramientas

5.7.1. Softwer 3D

En la actualidad los planos de los proyectos se presentan en formato AutoCAD, se debe incentivar el uso de programas 3D que permitan una mejor visualización de los resultados y posibles interferencias como SierraSoft Roads, Istramn, entre otros.

Si bien BIM es más que una realización del proyecto 3D, su fomento es muy positivo, ya que engloba toda una metodología y cambio cultural en las empresas donde la constructabilidad entrega una base de estandarización e innovación.

5.7.2. Documentación

Utilizar plataformas virtuales para una comunicación más rápida y que permita tener una base de datos de respaldo. También, se debe dejar constancia de los errores y/o problemas de los proyectos para futuras retroalimentaciones.

5.8. Resumen

Finalmente se presenta un resumen de las recomendaciones obtenidas en las siguientes imágenes 5.1 y 5.2.

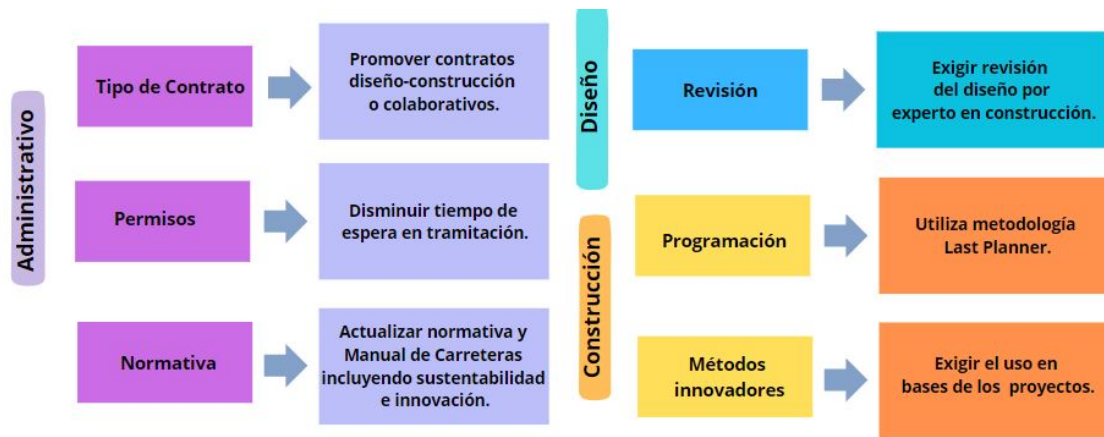


Figura 5.1: Recomendaciones (Parte 1).
Fuente: Elaboración propia.

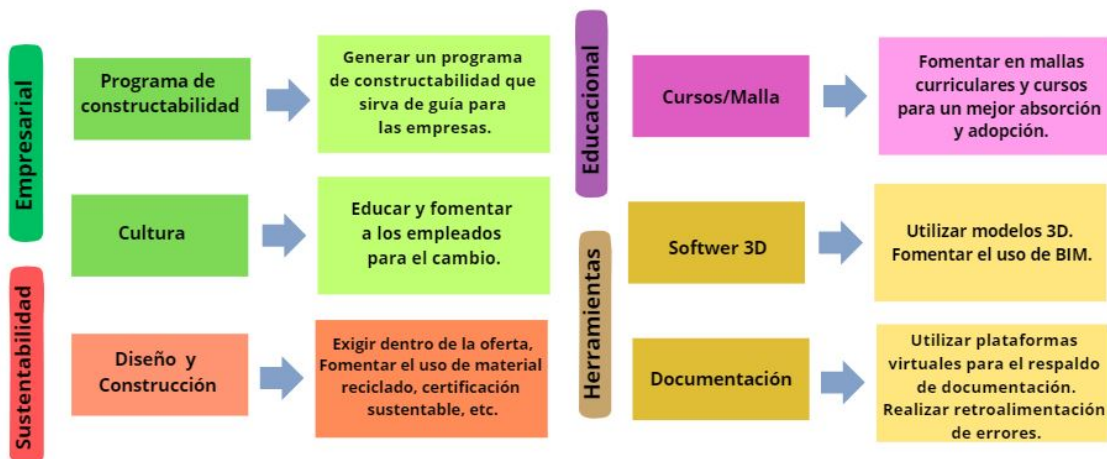


Figura 5.2: Recomendaciones (Parte 2).
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos a través de las entrevistas y encuestas a profesionales dedicados a carreteras se obtienen las siguientes conclusiones:

6.1. Dificultades en la construcción

Los principales problemas en la etapa de construcción son: los imprevistos climáticos, ubicación, falta de comunicación entre área de diseño-construcción y la falta de innovación en los métodos constructivos. Esto demuestra que la constructibilidad es útil, ya que permite afrontar estas dificultades desde etapas tempranas.

6.2. Evaluación de aplicabilidad

6.2.1. Nivel y conocimiento

Respecto a la evaluación, se aprecia que existe un amplio conocimiento por parte de los encuestados del concepto y herramientas de la constructibilidad lo que se ve reflejado en el nivel de aplicación de ellos. La mayoría de estos se encuentran en un nivel “aceptable o alto” y otros están “en proceso”, lo que es muy positivo.

6.2.2. Principios y herramientas

De los principios se identificó que existen puntos a mejorar relacionados principalmente a la sustentabilidad, economía circular, innovación en los métodos constructivos y la documentación. Para el caso de las herramientas, en particular las de diseño, se debe fomentar el taller de constructibilidad ya que este no se utiliza y la revisión por un experto en construcción por la importancia que este tiene.

En relación al programa o manual de constructabilidad si bien los encuestados indican usarlo, esto no se ve reflejado ya que al consultar por el taller de constructabilidad, pieza clave de la ruta de aplicación, no lo utilizan. Además al considerar la opinión de los organismos públicos se aprecia que no cuentan ni conocen alguno. Por lo tanto queda como desafío la creación de un programa que estipule el alcance y se adapte a la realidad nacional el cual sirva de guía para empresas que lo requieran utilizar y tengan un real entendimiento.

6.2.3. Barreras

Respecto a las barreras las principales identificadas son el sistema de diseño-licitación-construcción y una mala comunicación entre las áreas, para superarlas debe existir un cambio cultural y contractual por parte de las empresas e industria en general.

6.2.4. Reflexiones

Por otra parte guías como el Manual de Carretera fomentan de forma implícita algunos de estos conceptos por lo que mantenerlo actualizado es importante.

Por último la constructabilidad en el ámbito nacional se ha aplicado principalmente a proyectos mineros los que trabajan con un alto estándar y productividad. Aplicar este concepto en proyectos de infraestructura permite obtener estos beneficios, por lo que su aplicación y exigencia no puede esperar por parte de las empresas y mandantes.

Bibliografía

- [1] Alarcón, L., Wegmann, A. & Calahorra M. (2017). Oportunidades para el mejoramiento de la gestión de proyectos de infraestructura pública en Chile. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/323813096_Oportunidades_para_el_mejoramiento_de_la_gestion_de_proyectos_de_infraestructura_publica_en_Chile
- [2] Best, R., & De Valence, G. (2002). Design and Construction: Building in Value. Recuperado de: <https://herbycalvinpascal.files.wordpress.com/2020/04/design-and-construction-building-in-value.pdf>
- [3] Constructabilidad: el cambio de paradigma que se viene en la construcción – Construye2025. (2023). Recuperado de: <https://construye2025.cl/2023/05/30/constructabilidad-el-cambio-de-paradigma-que-se-viene-en-la-construccion/>
- [4] CII (Construction Industry Institute) (1987). “Constructability Concepts File” CII University of Texas. Austin Publication 3-3.
- [5] CII - Topic-Summary-Details. (n.d.). <https://www.construction-institute.org/resources/knowledgebase/best-practices/constructability/topics/rt-034>
- [6] CDT. (s. f.). ¿Cómo es la cartera de licitaciones de Chile hasta 2026? <https://www.cdt.cl/como-es-la-cartera-de-licitaciones-de-chile-hasta-2026/>
- [7] Department Of Transportation The State of New Jersey. Constructibility Manual. Recuperado de: [https://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/constructibility/constructibility.shtm#:~:text=Construction%20Industry%20Institute%20\(CII\)%20defines,achieve%20the%20overall%20project%20objectives%E2%80%9D](https://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/constructibility/constructibility.shtm#:~:text=Construction%20Industry%20Institute%20(CII)%20defines,achieve%20the%20overall%20project%20objectives%E2%80%9D).
- [8] Detection of underground and unseen structures. (s. f.). Hexagon. <https://hexagon.com/es/solutions/detection-underground-unseen-structures?tabId=null>
- [9] Diario Financiero (2023) - Los beneficios de la industrialización. https://www.df.cl/noticias/site/docs/20230426/20230426185537/suplemento_20230428.pdf
- [10] Economía circular y proyectos viales en Chile: un camino que se comienza a recorrer. (2020, 11 diciembre). Decoopchile. <https://www.decoopchile.cl/economia-circular-y-proyectos-viales-en-chile-un-camino-que-se-comienza-a-recorrer/>
- [11] Ficha licitación. (s.f.). <https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=sDYLGZDmIXyDOrLiINntbA==>

- [12] Ficha licitación. (s. f.-b). <https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailAcquisition.aspx?q=V7y1V7YivA2YWMwg==>
- [13] Griffith A. y Sidwell T. (1996). Constructability in building and engineering projects.
- [14] Hamadani, S. A., Alawi, M. A., & Nuaimi, A. A. (2022). Constructability practices in construction industry in Muscat: case study. *Asian Journal of Civil Engineering*. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42107-022-00475-3>
- [15] Heredia Santana. Manual de Dirección de Proyectos- Análisis de constructibilidad por el dueño.
- [16] Hugo, F., O'Connor, J. T., & Ward, W. (1990). HIGHWAY CONSTRUCTABILITY GUIDE. Recuperado de: <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase2/1149-1.pdf>.
- [17] Iveric, P. Presentación de Echeverría Izquierdo. Recuperado de: https://cchc.cl/uploads/semana-de-la-construccion/archivos/Presentacion_Pablo_Ivelic.pdf
- [18] Manual de Carreteras, Volumen 1-Tomo II, Evaluación de proyectos interurbanos, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [19] Manual de Carreteras, Volumen 2, Procedimientos de Estudios Viales, Gobierno de Chile.
- [20] Manual de Carreteras, Volumen 3, Instrucciones y Criterios de Diseño, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [21] Manual de Carreteras, Volumen 5, Especificaciones Técnicas generales de Construcción, Gobierno de Chile.
- [22] Mera, J. & Manrique, M. (2021). Análisis comparativo de factores causales del retraso entre proyectos de edificación y de infraestructura vial: una revisión sistemática. Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/items/0a4990d9-28c4-48ae-aca0-8810926b6967>
- [23] Matrix Consulting (2020). Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales. https://cchc.cl/assets/landings/2020/informe-productividad/pdf/ResumenEjecutivo_Estudio_de_Productividad_Construccion2020.pdf
- [24] McGeorge D. & Palmer A. (1997). "Construction Management. New directions". Ed Blackbell Scienck. Londres
- [25] Ministerio de Obras Públicas - Dirección de Vialidad. (s. f.). <https://vialidad.mop.gob.cl/area-sdevialidad/medioambiente/Paginas/MedioAmbiente.aspx>
- [26] Mohsenijam, A., Mahdavian, A., & Shojaei, A. (2020). Constructability Concepts, Significance, and Implementation. *Construction Research Congress 2020*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/340816522_Constructability_Concepts_Significance_and_Implementation
- [27] Mubarak, A., Mostafa, A., Simon, J., SangUK, H., Yasser, M. & Simon, A. (2015). Constructability: capabilities, implementation, and barriers. Recuperado de: <https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/52660/1.0076375/1>

- [28] Molenaar, K., Harper, C. & Yugar-Arias, I. (2014). An Owner's Guide To Construction Management. Recuperado de: [https://www.colorado.edu/tcm/sites/default/files/attached-files/TF-5\(260\)%20Project%20No%201%20-%20Guidebook%20for%20selecting%20contracting%20methods%20-%20DRAFT%20FOR%20REVIEW_0.pdf](https://www.colorado.edu/tcm/sites/default/files/attached-files/TF-5(260)%20Project%20No%201%20-%20Guidebook%20for%20selecting%20contracting%20methods%20-%20DRAFT%20FOR%20REVIEW_0.pdf)
- [29] MOP. Gestión de comunicaciones en el libro de obra digital de obras y conservaciones. <https://dgop.mop.gob.cl/areasdgop/ContratosConsultorias/Documents/EstandarcomunicacionesLOD.pdf>
- [30] Norma Internacional. Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos. ISO9001 Quinta Edición 2015. Extraído de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- [31] PEHUENCHE – CFV. (s. f.). <http://cfv.cl/index.php/pehuenche/>
- [32] Planbim. (2023). Objetivos y metas - Planbim. <https://planbim.cl/que-es-planbim/objetivos-y-metas/>
- [33] Planes de Gestión – Construye2025. (s. f.). <https://construye2025.cl/tag/planes-de-gestion/>
- [34] Project Management Institute (PMI) (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), Sixth Edition.
- [35] Reality capture. (s. f.). Hexagon. <https://hexagon.com/es/solutions/reality-capture?tabId=null>
- [36] Revista EMB Construcción - empresa chilena entrega soluciones inteligentes para la construcción de carreteras. (s.f.). <https://www.emb.cl/construccion/noticia.mvc?nid=20230331w13&ni=empresa-chilena-entrega-soluciones-inteligentes-para-la-construccion-de-carreteras>
- [37] Serpell B., Alfredo (2000). “Administración de Operaciones de Construcción”. Alfaomega. Ediciones Universidad Católica. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/73178615/Administracion-de-Operaciones-de-Construccion>
- [38] Sistemas de guiado para compactadores de asfalto. (s. f.). <https://www.topconpositioning.com/es/es/solutions/infrastructure/asphalt-paving/asphalt-compactors>
- [39] Thirion C. (2019). Introduction to Constructability and Constuctability Programmes - Owner-Team Consultation. Recuperado de: <https://www.ownerteamconsult.com/introduction-to-constructability-and-constuctability-programmes/>
- [40] Universidad Nacional de Ingeniería. Trabajo de explanación en obras viales. Recuperado de: <https://docplayer.es/19558560-Trabajo-de-explanacion-en-obras-viales-curso-de-especializacion-obras-horizontales.html>
- [41] Ureña-Villamizar, Y. C. U., Cárdenas, J. A., & Jaimes, Y. C. C. (2018). Gerencia Estratégica de Proyectos: aplicación del modelo de constructibilidad. Recupertado de <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1602>.

Anexo A

Cuestionario de entrevistas y encuestas

A continuación se presentan las preguntas realizadas para las entrevistas y encuesta:

A.1. Entrevista a profesionales de la construcción

Tabla A.1: Preguntas de entrevista a profesionales en la etapa de construcción.

1. Caracterización personal (2 preguntas)
1. ¿Cuál es o fue su cargo en el proyecto de carreteras?
2. ¿Cuántos años de experiencia ha tenido en obras viales?
2. Descripción del proyecto (3 preguntas)
1. ¿En las obras que ha participado que otro tipo de estructura se anexa a la carretera? (Ejemplo: Puente, Pasarelas, Túnel, etc.)
2. ¿Generalmente como considera la dificultad en este tipo de obras? (Baja, Media, Alta)
3. ¿La obra se construyó en su totalidad tal cual fue diseñada?
3. Dificultades (1 pregunta)
1. ¿Cuáles han sido las principales dificultades en la construcción de este tipo de obras? (Por ejemplo: Errores o cambios de diseño, imprevistos en el clima, falta de programación, escasez de materiales, métodos de construcción inadecuados, etc.)
4. Efectos negativos (2 preguntas)
1. Si presento alguna de la anterior ¿Cuáles han sido las principales consecuencias negativas? ¿Aumento de costo, pérdida de plazo, otro?
2. En general ¿logra cumplir la construcción en el costo y plazo original?

(a) Fuente: Elaboración propia.

A.2. Entrevista a profesionales de organismos

Tabla A.2: Preguntas de entrevista a profesionales del organismo.

1. Caracterización (2 preguntas)
1. ¿Cuál es su nombre? 2. ¿Cargo o rol dentro del organismo tiene?
2. Nivel de conocimiento (1 preguntas)
1. ¿Conoce el término de constructabilidad?
3. Aplicación (3 preguntas)
1. ¿Conoce alguna empresa que aplique este concepto en carreteras? 2. ¿Existe en Chile algún manual o índice de estandarización que permita aplicarlo a obras viales? 3. ¿Se exige en algún documento o proceso de forma obligatoria?

(a) Fuente: Elaboración propia.

A.3. Encuesta a profesionales

Las preguntas fueron obtenidas de la literatura la cual se expone en el marco conceptual.

Tabla A.3: Preguntas de encuesta: Caracterización y nivel de conocimiento.

i. Caracterización y nivel de conocimiento (6 preguntas)
1. Tipo de empleador: Empresa o Concesionaria 2. ¿En qué área se desempeña dentro de la empresa? (Diseño - Construcción - Planificación) 3. ¿Cuántos años de experiencia posee en proyectos de carretera? 4. ¿Los proyectos en los cuales ha participado que modalidad de contrato utilizan principalmente? (Tradicional, Diseño-Construcción, Otros (Especificar) 5. ¿Conoce el término de constructabilidad? (Si/No) 6. ¿Conoce los beneficios de la constructabilidad? (Si/No)

(a) Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.4: Preguntas de encuesta: Principios.

ii Principios						
1. Etapa de planificación de la construcción	¿Con que frecuencia aplica el principio?					
1.1 Principios (4 preguntas)	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
1.1 ¿Los programas de constructabilidad se convierten en parte integrante de la ejecución del proyecto?						
1.2 ¿La planificación del proyecto implica activamente el conocimiento y la experiencia de la construcción?						
1.3 ¿Los factores medioambientales se revisan y abordan?						
1.4 ¿Los métodos de construcción se revisan exhaustivamente para incluir los métodos de recuperación y reciclaje junto con la planificación sostenible y de eliminación final?						
2. Etapa de diseño						
2.1 Principios (9 preguntas)						
2.1.1 ¿Los diseños están configurados para permitir una construcción eficiente?						
2.1.2 ¿Los elementos de diseño están estandarizados?						
2.1.3 ¿Los diseños promueven la accesibilidad a la construcción del personal, el material y el equipo?						
2.1.4 ¿Considera que el diseño del proyecto se realizó con tiempo suficiente para analizarlo y revisarlo debidamente para garantizar la calidad del diseño?						
2.1.5 ¿El personal de construcción revisa los diseños para minimizar el desperdicio de materiales, el reciclaje y la rentabilidad?						
2.1.6 ¿Las revisiones de seguridad y salud se tienen en cuenta de forma exhaustiva en las especificaciones de diseño?						
2.1.7 ¿Se preparan diseños de módulos/premontajes para facilitar la fabricación, el transporte y la instalación?						
2.1.8 ¿Los diseños facilitan la construcción en condiciones meteorológicas adversas?						
2.1.9 ¿Utiliza herramientas y programas computacionales?						
3. Etapa de Construcción						
3.1 Principios (3 preguntas)						
3.1.1 ¿Se utilizan métodos innovadores de utilización de los equipos disponibles o modificación de los mismos para aumentar su productividad?						
3.1.2 ¿Se realiza la evaluación, la documentación y la retroalimentación sobre los problemas?						
3.1.3 ¿Se reducen los residuos de embalaje y movilización?						

(a) Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.5: Preguntas de encuesta: Herramientas.

ii Herramientas			
2. Etapa de diseño			
2.2 Herramientas (1 pregunta)			
2.2.1 ¿Utiliza algunos de los siguientes métodos?	Si	No	No sabe
Revisión por pares			
Utilizar un manual de constructabilidad			
Revisión del diseño por un experto en construcción			
Taller de constructabilidad en el calendario del proyecto			
Lista de comprobación para evitar errores de construcción comunes			
Experto en construcción en el equipo de diseño			
3. Etapa de Construcción			
3.2 Herramientas (1 pregunta)			
3.2.1 ¿Utiliza alguno de los siguientes mecanismos?	Si	No	No sabe
Planificación previa a la obra con personal que tenga experiencia en construcción			
Aplicación de medios y métodos de construcción adecuados			
Coordinación de los oficios de la construcción			

(a) Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.6: Preguntas de encuesta: Barreras de implementación.

iii Barreras de implementación (1 pregunta)		
1. Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión?	Si	No
El personal de diseño no tiene experiencia en construcción		
El personal de diseño no está dispuesto a aceptar cambios		
Desinterés por parte de la empresa para la implementación		
El sistema de contratación de licitación-diseño-construcción		
Aumento del plazo del proyecto		
Mala comunicación entre diseñadores y constructores		
Falta de tiempo o recursos		

(a) Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.7: Preguntas de encuesta: Aplicación.

iv Aplicación (1 pregunta)		
1. Conociendo los efectos negativos en obras viales y los beneficios de este concepto ¿Cree que la aplicación de esta herramienta se debería aplicar en las empresas?	Si	No

(a) Fuente: Elaboración propia.

Anexo B

Respuesta de entrevistas a profesionales de la construcción

B.1. Aldo Encina

1. ¿Qué cargo has tenido dentro de los proyectos de carreteras? ¿Cuántos años de experiencia tienes en este tipo de obras?

- Normalmente ocupé el cargo de encargado de calidad del sistema de gestión de calidad de la obra y tengo aproximadamente 8 años de experiencia.

2. En las obras que estuviste ¿qué estructuras generalmente se le anexan al camino?

- He estado en varias de distinto tipo como la ruta 5 o rutas secundarias. Casi siempre los caminos van acompañados de obras de saneamiento ya sea bajados de agua, obras de arte, muros de contención, muro TEM. A veces según el uso del camino se hacen túneles, túnel liner y puentes que se anexan al camino pero que si son parte de la obra y de la ruta.

3. ¿Como consideras la dificultad de este tipo de ruta? ¿Bajo, medio o alto?

- Considero que las obras complementarias de un camino tienen una baja dificultad. La mayoría es por subcontrato o de un capataz que está exclusivamente para obras de saneamiento y/o obras civiles en general.

4. ¿La obra se construyó al 100 % como fue diseñada o hubo cambios?

- No mira siempre hay cambios porque las obras viales tienen su etapa de diseño, luego de esto pasan a la etapa de licitación y adjudicación hasta que la obra la adjudica alguna constructora donde a veces pasan años como 5 o 9 años dependiendo mucho de la prioridad que tenga a nivel país la obra. Pero siempre se hacen modificaciones pues desde la fecha 0 del diseño cuando se hace el censo del camino se cuentan los vehículos que pasan lo que se llama TMDA. En este Tránsito medio diario anual se debe proyectar a dos años del censo usando unas fórmulas que están en el manual de carrera. Y luego con esa protección de dos años se diseña el camino con una vida útil de 10 años

- Entonces por ejemplo se hace el censo en el 2023 pero luego el primer diseño del camino se hace pensando en dos años más y cuando pasan muchos más años las constructoras deben actualizar las normas para poder diseñar el camino como corresponde. Por ejemplo nosotros estuvimos en una obra donde el TMDA del proyecto resulto ser un 50 % del real a la fecha a la que nosotros fuimos a construir. Por lo tanto se tuvo que hacer un diseño de velocidades distintas, rayos de curvas distinto, peraltes es decir cambia todo según el tránsito.

5. ¿Cuáles han sido las principales dificultades que han ocurrido en la construcción obra? Por ejemplo cambios de diseño, imprevistos del clima, etc.

- Los imprevistos no deberían salir con una buena programación. Con el tema del diseño o actualización tampoco hemos tenido principales problemas. Nuestro principal problema o que nos ha generado efectos negativos sobre la obra son los imprevistos climáticos. Hay lugares que no se considera tanta lluvia y esta no deja trabajar este es nuestro principal enemigo.

6. ¿Si has tenido problemas que efectos negativos ha provocado? ¿Un aumento de costo, pérdida de plazo?

- Si. Hubo una obra que se planifico X días de lluvia y resulto ser que la obra estuvimos meses parado y nos destruyó gran parte de lo ya hecho. Ahí la constructora perdió plata. Repito que la lluvia es un gran enemigo.

7. ¿En general crees que se cumplen con los plazos y costos originales estipulados?

- Si. En caminos el recurso principal son las maquinarias hacen la pega. Es difícil equivocarse en los rendimientos de estos para hacer planes o presupuesto. Por eso generalmente se cumplen.

8. ¿Has tenido problemas con escasez de equipos o con las condiciones del terreno?

- Si. El problema que se da en caminos es que hay algunos que hay en zonas muy difíciles de llegar por ejemplo como la cordillera y cordillera de la costa.

B.2. Gabriel Opazo

1. ¿Qué cargo has tenido dentro de los proyectos de carreteras? ¿Cuántos años de experiencia tienes en este tipo de obras?

- Salí de la universidad del 2019 y entre como encargado de producción. Esta área se encarga de la ejecución de la obra. Se tiene oficina técnica los cuales preparan los planos y están en constante contacto con los calculistas o consultores. Y ya en producción ya tienes los planos procesados y te toca construir.

- La obra donde estuve fue la Autopista Américo Vespucio Oriente en la constructora CBO que era un holding. Esta obra era una autopista de 8 km que unía el viaducto El Salto con la Reina donde la intención era cerrar el círculo de Américo Vespucio abarcando varias comunas partiendo en

Recoleta, Huechuraba, Vitacura, Las Condes y La Reina. Esta autopista era de dos niveles subterránea. Tu partes con una primera tipología del viaducto que es un puente al final con 4 pistas, luego un túnel minero porque pasábamos por el cerro San Cristóbal, después debajo del río Mapocho y luego nos conectábamos a la siguiente tipología que era una trinchera que es la formación de una estructura tipo marco que va pilotada con losas postensadas donde haces un marco, excavas debajo de este, luego haces un segundo marco y excavas debajo de este y formas los dos pisos de autopista. Ya después de terminada las trincheras y pasas al sector híbrido que era mitad túnel minero y que debajo de este generabas una trinchera para poder construir y ahí terminaba esos 8 kilómetros de la autopista, que es cortita, pero al final la inversión era enorme porque estas al medio de toda la ciudad tenías miles de metros constructivos habidos y por haber. Y ahí yo entre como encargado de producción que era ayudarlo al que estaba como encargado en un sector de la obra. Revisaba planos, cubicaba, pidiendo armadura, gestionando hormigón, que a la gente de terreno no le falte los materiales, entre otras cosas. Es todo un tema, al final es que la obra funcione.

- Por otro lado el jefe de producción debería revisar bien los planos, de que estén bien hechos, de que las armaduras tengan sentido porque a veces proyectan cosas que son inconstruibles o que son muy difíciles de construir. Entonces tú dices no está viga te sale súper barata y te ahorra costo pero al momento que empieces a construir oye pero esta viga me la hiciste a los 20 metros, como subo hasta ahí?. Yo partí como encargado por un año y luego ya me asignaron un tramo del túnel con mi gente como jefe de producción. Estaba yo como jefe de producción, luego tenía un encargado de producción, luego estaba el jefe de terreno, supervisor, capataz y maestros para que te hagas una idea de cómo era la estructura jerárquica de la obra. Sobre mi estaba un jefe de tramo y este tenía 3 jefes de producción que ven distintas áreas como paisajismo, obras subterráneas, canalización y servicios afectados entre otros.

2. ¿Como consideras la dificultad de este tipo de ruta? ¿Bajo, medio o alto?

- La de esta obra era alta, era difícil. Tenías métodos constructivos que no son convencionales y además todo era grande losas gigantes de espesor de 1.20 m. Al final tenías gente armando las losas si se te olvidaba alguien podía quedar embebido. Al final son trabajos peligrosos. Si estas en un túnel tienes que sostener tierra, proyectar hormigón, trabajar bajo polución, el movimiento de maquinaria es súper complicado y el estándar de seguridad era minero.

3. ¿La obra fue construida en un 100 % como fue diseñada?

- En general siempre van cambiando pero te diría que un 90% de la obra sí. Igual ojo porque estas autopistas en Santiago se diseñan de cierta forma para quedar con fajas futuras. Ahora ponte tu terminamos AVO 1 pero ahora se está en la etapa de ingeniería y próxima construcción de AVO 2. Al final dejamos dos uniones en paralelos uno arriba de otro, donde se abre se van al subterráneo y se abren a la superficie después donde el metro queda al medio.

4. ¿Cuáles han sido las principales dificultades que los perjudicaron?

La pandemia. Había que planificar con 2 o 3 meses. Había escasez de material y de mano de obra.

5. ¿Esta situación les genero un aumento de costo y de plazo?

Si pero esas cosas contractualmente se llevan. Tu debes respaldar estos retrasos con fotos, con reportes de trabajo. Y el costo también porque al final el fierro que comprábamos a 1000 aumento a 3000 por ejemplo.

6. ¿En general crees que se cumplen con los plazos y costos originales estipulados?

- Es que contractualmente en general se debería cumplir. Pero imprevistos hay siempre ejemplo yo ahora estoy trabajando en la ruta de la fruta que es carretera pura y dura son 140 km en donde hay lugares que vamos a pasar y que es una nueva carretera. El día de hoy a cerros, hay familias las cuales se tiene que expropiar y también se genera un proceso de deforestación. Entonces los plazos a veces se te ven afectados porque por ejemplo una familia no quiere salir de su casa y como la hechas? No puedes llegar y meterte y se convierte en un proceso legal.

- En temas constructivos ligados a que el calculista no vino a terreno, sus cotas no eran las adecuadas, que hay que hacer un mejoramiento de suelo y no lo considero y esto significa notas técnicas que se deben aprobar y estos atrasos recaen en la constructora como tal porque estamos contrato el servicio de un calculista que te diga oye por ejemplo quiero una estructura tipo puente él te pide las cotas de nivel y dice ah ya las costas me las pasaste tu y me tengo que fiar de ello. ¿harías tu eso? tu igual te vendrías a terreno y revisarías. Hay consultores que lo ven por la parte rápida y no lo hacen. Y ahí es donde esta una de las grandes falles la falta de comunicación entre el consultor y quien construye porque a veces proyectan cosas que cuestan mucho construir o no se, a veces ven que es el método más factible pero que en terreno no están.

- Nosotros trabajamos con un consultor de puentes y él quería revisar sus cotas, ver si las armaduras se encuentran o si se pueden fabricar de forma industrializada o si son a mano, siempre está encima de nosotros. Pero con otros consultores es más difícil porque al final diseñan lo que les cumple y lo que les da los cálculos no más y muchas veces eso te genera problemas y atrasos en el futuro. Por ejemplo a veces piden cosas que no tienen mucho sentido y no hablan con quién construye que va asociado a la constructabilidad del proyecto.

- En carreteras hay otro gran problema. Cuando tú haces una existe un proceso previo de campañas de sondaje. En caminos necesitas saber parámetros del suelo así que previo a la ingeniería tienes una campaña de geotecnia pero vas cada 500 metros por ejemplo y en ese mismo estrato puede cambiar considerablemente lo que te puede generar dudas o incongruencias. Y tú después diseñas pensando que tú tienes un tipo de material y cuando vas a excavar y no era el mismo lo que genera recalculas cosas y pedir nueva ingeniería.

- Otro tema es que cuando una va construyendo las carreteras uno trabaja mucho con las tierras corto un cerro acá pero lo que corte lo ocupo de terraplén en otro sector. Y tengo que revisar si cumple o no y te estas basando en una muestra que hay en un largo de 500 metros. Produciendo

mucha incertidumbre a pesar de que en generalmente cumple.

- Lo que me gusta a mí son las estructuras y he lo grado ver harto cuando el calculista está bien metido o no, si cuestiona al mecánico de suelo o al constructor, oye pero ojo con esto y siempre hay que ir complementando. En general es bien importante este muy metido en la obra, que conozca bien el terreno, que cuestione harto porque si no a la obra de construir te puedes encontrar con cualquier cosa.

- Se tienen que generar mesas integradas de trabajo en la oficina meter al calculista, al de la construcción, entre otros integrar a ambas partes. Hay que sacar el calculista de la oficina, está bien calcular pero esta la otra parte de construir debes saber qué sistema de moldaje existe, que sistemas e excavación existe, tipos de hormigón es todo un mundo aparte. Él te dice el voy a tirar un hormigón G50 y voy a poner armadura de 2 al 32 separada cada 5 cm y luego esas armaduras no se pueden colocar. Nosotros queríamos hacer dos muros en L y sobre estos muros iban una losa gigante. Estos muros iban anclados a los pilotes pero era mucha la armadura que tenía que meter, rompías el pilote más de la cuenta después no entraba el hormigón ni más acero fue todo un problema. Se tuvo que optimizar y generar peleas con el calculista. Esto solo te genera atrasos cuando tú vas a construir en vez de verlo cuando está diseñando.

B.3. Adolfo León Rodríguez

1. ¿Qué cargo has tenido dentro de los proyectos de carreteras? ¿Cuántos años de experiencia tienes en este tipo de obras?

- Yo soy administrador de contrato, trabajo con una empresa de movimientos de tierra que realiza toda esa actividad en la carretera. En mi vida profesional tengo alrededor de 20 años de experiencia.

2. En la obra que participa ¿se anexa alguna otra estructura?

- A nosotros como constructora no. Pero el proyecto si tiene otras actividades como las obras de saneamiento, obras de puentes, viaductos, enrocado. Es un contrato bien extenso de 140 km están estas actividades adicionales más los asfaltos, las obras de seguridad, pintura, barrera, etc.

3. ¿Cómo considera la dificultad de este tipo de obra? ¿Bajo, medio, alto?

- Media

4. ¿Cuáles han sido las principales dificultades que han ocurrido en la construcción obra? Por ejemplo cambio o errores de diseño, etc.

- Si mira por lo general hay errores de ese tipo pero actualmente no son tan principales, ya que el diseño ya lleva el tiempo. Los problemas que se dan en el tema de la construcción son los temas de anexos me refiero al tema de expropiaciones que a veces se demoran mucho tiempo, los informes

medio ambientales que hay que presentar para poder avanzar con el proyecto que tienen un tiempo no menor y que pudiesen ser más ágiles en pos de la obra. Y lo otro son temas normativos ya que esta media obsoleta en ciertas cosas que pueden actualizarse un poco para los tiempos de ahora como ocupar nuevas técnicas de trabajo que ayuden a mejorar los tiempos del proyecto y queden con un estándar mejor.

- Por otro lado nuestra empresa es un poco diferente a otras de movimiento de tierra. Nosotros somos profesionales que vienen de trabajar que hacen de todo entonces el equipo ha participado en su mayoría en este tipo de obras mayores. Básicamente nosotros vamos apurando el mandante en pos de hacer más avance. Entonces en temas de tiempo básicamente es restrictivo el tema de la provisión de materiales, nosotros siempre queremos avanzar lo que más se pueda y a veces se dificulta no tener el material suficiente. Por ejemplo me refiero a las bases que hay que tener para avanzar con las carpetas de rodadura, los materiales para los terraplenes que básicamente se tienen que obtener de distintas carteras que son más escasas de encontrar o que la empresa no se ha movido rápido para tener alternativas, que los materiales no sean los adecuados.

5. ¿Cree que en general se cumple con el costo y plazo que se estipuló originalmente?

- En general siempre se atrasan. En temas de costo actualmente se sobrepasan por temas externos por los temas económicos. Inicialmente uno estudia el proyecto con ciertas características y luego estos cambian como inflaciones no contempladas generan estos desvíos.

B.4. Francisco Rodriguez

1. ¿Cuál es o fue su cargo en el proyecto de carreteras?

- En la actualidad me desempeño como asesor técnico de gerencia, éste considera diversas áreas de las empresas dedicadas al rubro de la construcción de obras viales.

2. ¿Cuántos años de experiencia ha tenido en obras viales?

- En la actualidad cuento con aproximadamente 2 años de experiencias en dos empresas a nivel nacional que son reconocidas.

3. ¿En las obras que ha participado que otro tipo de estructura se anexa a la carretera? (Ejemplo: Puente, Pasarelas, Túnel, etc)

- En los proyectos donde he participado en su mayoría ha sido reciclaje in situ, construcción desde talud hasta la finalización. En diversos proyectos suelen presentarse diferentes obras de artes u otro tipo de obras como las que mencionas anteriormente, pero en su mayoría ese tipo de obra se realiza en colaboración con otras empresas o subcontratando ese tipo de obras.

4. ¿Generalmente como considera la dificultad en la construcción de carreteras? (Baja, Media, Alta)

- La dificultad varía según la zona, el tipo de proyecto que puede ser y las condiciones a las cuales se enfrentará al momento de estar en terreno. En ciertos casos los problemas climáticos son una gran variable, en otros casos hay problema con el material que se utiliza y la presencia de material contaminado y en otros casos por accesibilidad se suele dificultar las construcciones de estas obras.

5. ¿La obra se construyó en su totalidad tal cual fue diseñada?

- Si, en la mayoría de los casos se realizan los proyectos tal y como están diseñados, pero hay casos en especiales donde el mandante solicita alguna modificación del proyecto, así puede producir que el proyecto no se realice como corresponde.

6. ¿Cuáles han sido las principales dificultades en la construcción de este tipo de obras? Por ejemplo: Errores o cambios de diseño, imprevistos en el clima, etc.

- En general, las principales dificultades que se presentan en la ejecución de este tipo de proyecto son los errores de diseños, o sobredimensionamiento de las carpetas asfálticas. Además de este tipo de problemas, las condiciones climáticas siempre serán una de las más grandes dificultades que se puede presentar en los proyectos de obras viales, ya que en estos casos no se tiene en consideración en la programación de los proyectos y puede generar dificultades o problemas en la mezcla que se busca instalar.

- En casos singulares la zona donde se realizan los proyectos puede generar problemas con el agregado que se busca para la realización de la mezcla, ya que este puede que no cumpla con las condiciones que se colocan en las especificaciones técnicas de los proyectos.

- En la actualidad una de las variables que también se ha identificado como un problema en la ejecución de estos proyectos es los métodos constructivos que se utilizan, ya que se cae en varios vicios que se hacen comunes para los que ejecutan en terreno y termina produciendo una cadena de errores que nos puede llevar a que los proyectos fallen.

7. Si presento alguna de la anterior ¿cuáles han sido las principales consecuencias negativas? ¿Aumento de costo, pérdida de plazo, otro?

- Una de las principales consecuencias negativas que se presenta en los proyectos en general es el aumento de costo y la pérdida de plazo, pero también se presenta la falta o escasez de mano de obra esto llevándonos a presenciar errores que a la larga nos produce aumento de costo o la mala ejecución del proyecto.

8. En general ¿logra cumplir la construcción en el costo y plazo original?

- Para que se logren esos parámetros se debe tener un muy buen estudio del proyecto y a la gente correspondiente en terreno, si se tienen estos factores, se puede lograr construir y ejecutar todo en el plazo y en los costos estudiados.

Anexo C

Respuesta de entrevistas a profesionales de organismos

C.1. Departamento de Vialidad

1. ¿Me puedes decir tu nombre y que cargo tienes en el departamento?

- Álvaro Mejías y soy Inspector Fiscal de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.

2. ¿Conoces el término de constructabilidad?

- Si lo he escuchado pero la verdad para ser sincero propiamente tal como termino lo vi más cuando estudie en la universidad o en algún curso que realice de manera posterior. Verlo como termino de constructabilidad en la práctica en obra no mucho. Yo creo que al menos desde mi percepción esta interiorizado de manera implícita ya sea por documentos normativos o por la experiencia de los profesionales pero que sea un término puntual que se incorpora en la realización de algún proyecto u obra no se si tanto. Probablemente este mas interiorizado en otros rubros de construcción más allá de las obras viales como el rubro inmobiliario.

- Entonces como un término específico en el rubro yo no lo he visto sin embargo hay otra arista que ya lleva bastante tiempo que es la norma ISO9001 sistema de gestión de calidad que no es lo mismo pero yo creo que trabajan más o menos a la par que buscan algo que no es igual pero es similar Y eso si esta hace bastante en tiempo en todo lo que es construcción y obras viales.

3. ¿Entonces tú no conoces que se exija de alguna forma obligatoriamente en algún documento que sea específico en vialidad?

- Así como tajante no, pero creo yo creo que se usa. Que en la práctica uno busca es eso, la eficiencia en toda la cadena constructivas desde su génesis de la elaboración del proyecto hasta que la obra se entrega y está totalmente finiquita. Eso es lo que se busca, optimizar los procesos constructivos y los recursos económicos y ambientales donde este último esta potentemente en el ministerio, pero no así que venga establecido un documento que tengas que cumplir.

4. ¿Conoces alguna empresa que lo aplique formalmente?

- No, que yo te pueda dar un nombre de la empresa que lo ocupe no. Pero como te decía muchas empresas tienen como requisito interno o se exige en las bases de licitación lo que es el uso de gestión de calidad, pero uno busca la mejora continua lo cual nos lleva al caso lo mismo. Sin embargo por otro lado la gestión de calidad no busca prioritariamente el término económico sino la optimización del producto final. En este caso la constructabilidad de lo que entiendo busca estandarizar los procesos con el cual tú puedes ganar tiempo, reducir errores y los costos y obtener un producto pero llevado desde un punto de vista económico.

5. ¿Existe en Chile algún manual o índice de estandarización que permita aplicarlo a obras viales?

- Insisto que como término no pero existe el Manual de Carretera que no es un documento normativo pero si una sugerencia pero la bases de licitación de la mayoría de los contratos de obras viales de la dirección de vialidad hacen referencia a los numerales de este manual, que si bien no lleva ese término busca lo mismo que los procesos de terreno y de diseño estén estandarizados, que cualquier persona que pueda leer pueda interpretarlo para poder ejecutarlo y que nosotros en gran parte de los proyectos se basan constructivamente en el manual de carreteras.

C.2. Consejo de Construcción Industrializada

1. ¿Me puedes decir tu nombre y que rol tienes apoyando al CCI?

- Pablo Pulgar y soy líder de uno de los grupos técnicos y también soy patrocinante de la iniciativa que hace el CCI. En especial también represento a la Universidad Tecnológica Metropolitana frente a la Cámara Chilena de la Construcción, la Corporación de Desarrollo Tecnológico y el CCI donde mi tema es la sustentabilidad principalmente.

2. Debes conocer el término de constructabilidad porque eres líder de ese grupo ¿no? ¿Como lo definirías?

- Si. Primero hay que diferenciar entre constructibilidad y constructabilidad. Lo primero se refiere a la capacidad que tiene un terreno para albergar más metros construidos y lo ocupan los arquitectos. El segundo se refiere a una especie de madurez de la gestión del conocimiento entre el área diseño y el área de construcción. Cuando tienen un proyecto en común esas dos áreas deben interactuar y deben generar una sinergia que entre ambas áreas les permita ser más productivas para el objetivo final.

- Entonces la gente que diseña genera un diseño inicial, se lo pasa en una etapa de integración temprana a la gente que construye y esta puede decir que se puede optimizar en tales y tales partes o esta solución constructiva es muy mala porque tiene una experiencia de la ejecución de las cosas y se lo pasan devuelta a la gente que diseña. Estos generan una mejor solución y mejoran la productividad por que van buscando soluciones estandarizadas que pueden ser soluciones prefabricadas.

3. ¿Conoces alguna empresa que aplique esto a carreteras? Leí que se lo aplicaban a proyectos mineros principalmente.

- Exactamente. En el tema de edificación yo trabajo con las empresas que aplican constructabilidad como Echeverría Izquierdo, Axis, entre otros. En el tema de infraestructura lo aplican mucho en minería pero el análisis de constructabilidad lo hacen para entender el cómo se ejecutan las cosas y hacen esa interacción. Cuando van a construir algo la logística es super heavy en el tema de minería entonces no pueden estar ahí improvisando que le falte algo o que haya un error de diseño o falta de coordinación entre especialidades entonces por eso es algo normal el análisis de este concepto en minería. Pero efectivamente en el mundo de la vialidad o camino no está muy desarrollado o yo creo que nada.

4. ¿Tú sabes si en Chile si existe algún manual o índice que se aplique a obras viales u obras en general?

- Mira yo vi un par de publicaciones de la revista de la Católica donde alguien hacía un análisis para obras civiles creo que para un embalse pero nunca he visto para vial. Y yo he revisado mucho puede ser unas tesis de pregrado quizás.

5. En Chile ¿se exige este concepto de forma obligatoria?

- Es voluntario es solo una buena práctica.

Anexo D

Resultados de encuesta

Tabla D.1: Respuestas de encuesta (Parte 1).

Persona	Empleador	Área	Años de experiencia	Estructura organizacional	Conoce el término	Conoce los beneficios
1	Concesionaria	Planificación	19	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
2	Empresa	Construcción	10	Construcción	Si	Si
3	Concesionaria	Planificación	3	Operación	Si	Si
4	Empresa	Diseño	2	Planificación - Prediseño	Si	Si
5	Empresa	Diseño	Mas de 20	Diseño - Construcción	Si	Si
6	Empresa	Planificación	4	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
7	Servicio Publico	Planificación	12	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
8	Empresa	Diseño	15	Licitación-Diseño	Si	Si
9	Concesionaria	Construcción	4	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
10	Empresa	Diseño	5	Diseño - Construcción	Si	Si
11	Consultora	Construcción	17	Construcción y Explotación de carreteras	Si	Si
12	Empresa	Diseño	7	Diseño - Construcción	Si	Si
13	Empresa	Diseño	2	Diseño - Licitación - Construcción	No	No
14	Empresa	Construcción	2	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
15	Empresa	Construcción	5	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
16	Empresa	Construcción	3	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
17	Consultora de Asesoría	Construcción	11	Construcción	Si	Si
18	Concesionaria	Construcción	1	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
19	Empresa	Diseño	4	Diseño - Construcción	Si	No
20	Empresa	Diseño	4,5	diseño	Si	Si
21	Empresa	Diseño	8	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
22	Empresa	Diseño	15 años	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
23	MOP	Construcción	13	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
24	Empresa	Diseño	14	Diseño - Licitación - Construcción	No	No
25	Empresa	Diseño	2	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
26	Empresa	Diseño	21 años	Diseño - Construcción	Si	Si
27	Empresa	Construcción	1	Diseño - Licitación - Construcción	Si	Si
28	Empresa	Construcción	8	Diseño - Licitación - Construcción	No	No
29	Entidad Pública	Diseño	30	Diseño - Construcción	Si	Si

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.2: Respuestas de encuesta (Parte 2).

Persona	P1. ¿Los programas de constructabilidad se convierten en parte integrante de la ejecución del proyecto?	P2. ¿La planificación del proyecto implica activamente el conocimiento y la experiencia de la construcción?	P3. ¿Los factores medioambientales se revisan y abordan?	P4. ¿Los métodos de construcción se revisan exhaustivamente para incluir los métodos de recuperación y reciclaje junto con la planificación sostenible y de eliminación final?	D1. ¿Los diseños están configurados para permitir una construcción eficiente?	D2. ¿Los elementos de diseño están estandarizados?
1	40%	40%	40%	80%	60%	100%
2	80%	100%	100%	80%	80%	80%
3	80%	100%	100%	80%	80%	100%
4	60%	80%	100%	40%	80%	80%
5	60%	60%	60%	40%	60%	60%
6	80%	60%	60%	40%	60%	60%
7	20%	60%	100%	20%	40%	80%
8	20%	20%	20%	20%	60%	60%
9	100%	80%	100%	80%	100%	100%
10	40%	20%	0%	20%	40%	60%
11	80%	100%	100%	100%	100%	100%
12	60%	100%	40%	40%	80%	80%
13	40%	100%	80%	60%	100%	100%
14	60%	100%	60%	40%	80%	80%
15	80%	100%	100%	80%	100%	100%
16	40%	60%	60%	60%	60%	40%
17	60%	80%	80%	20%	20%	80%
18	80%	100%	100%	40%	100%	60%
19	80%	80%	100%	80%	100%	100%
20	80%	80%	100%	80%	80%	80%
21	60%	80%	80%	20%	100%	100%
22	40%	100%	80%	80%	60%	100%
23	80%	80%	100%	40%	40%	60%
24	0%	100%	100%	80%	80%	60%
25	80%	80%	60%	60%	100%	80%
26	100%	100%	80%	60%	80%	100%
27	80%	60%	60%	60%	60%	80%
28	100%	100%	100%	100%	100%	100%
29	80%	100%	80%	60%	80%	80%

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.3: Respuestas de encuesta (Parte 3).

Persona	D3. ¿Los diseños promueven la accesibilidad a la construcción del personal, el material y el equipo?	D4. ¿Considera que el diseño del proyecto se realizó con tiempo suficiente para analizarlo y revisarlo debidamente para garantizar la calidad del diseño?	D5. ¿El personal de construcción revisa los diseños para minimizar el desperdicio de materiales, el reciclaje y la rentabilidad?	D6. ¿Las revisiones de seguridad y salud se tienen en cuenta de forma exhaustiva en las especificaciones de diseño?	D7. ¿Se preparan diseños de módulos/premontajes para facilitar la fabricación, el transporte y la instalación?	D8. ¿Los diseños facilitan la construcción en condiciones meteorológicas adversas?
1	80%	80%	40%	60%	20%	0%
2	80%	60%	80%	60%	80%	60%
3	100%	80%	100%	60%	80%	100%
4	100%	60%	20%	80%	60%	20%
5	60%	60%	40%	60%	0%	20%
6	60%	20%	20%	60%	60%	20%
7	40%	80%	60%	80%	60%	40%
8	60%	40%	40%	40%	40%	20%
9	100%	100%	80%	100%	100%	80%
10	60%	60%	0%	0%	40%	60%
11	80%	80%	80%	100%	80%	60%
12	100%	60%	100%	80%	40%	20%
13	100%	80%	40%	40%	100%	80%
14	60%	60%	80%	60%	60%	20%
15	100%	80%	60%	80%	100%	60%
16	60%	40%	60%	60%	60%	20%
17	20%	20%	20%	20%	20%	20%
18	100%	60%	100%	80%	100%	80%
19	100%	60%	100%	100%	80%	60%
20	0%	100%	40%	40%	40%	40%
21	80%	80%	60%	40%	40%	40%
22	80%	60%	60%	60%	60%	40%
23	80%	80%	80%	80%	40%	0%
24	100%	100%	80%	100%	60%	80%
25	80%	60%	40%	60%	60%	40%
26	100%	80%	80%	80%	80%	80%
27	80%	80%	60%	60%	80%	60%
28	100%	100%	100%	100%	100%	80%
29	60%	80%	60%	80%	40%	40%

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.4: Respuestas de encuesta (Parte 4).

Persona	D9. ¿Utiliza herramientas y programas computacionales?	C1. ¿Se utilizan métodos innovadores de utilización de los equipos disponibles o modificación de los mismos para aumentar su productividad?	C2. ¿Se realiza la evaluación, la documentación y la retroalimentación sobre los problemas?	C3. ¿Se reducen los residuos de embalaje y movilización?	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Revisión por pares]	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Manual de constructabilidad para los proyectos]
1	80 %	80%	40 %	20%	Si	No
2	80 %	80%	80 %	60%	Si	No
3	80 %	80%	100%	100 %	Si	Si
4	80 %	60%	80 %	40%	Si	Si
5	60 %	40%	60 %	0%	No	Si
6	100 %	80%	40 %	40%	No	Si
7	100 %	100%	100%	40%	Si	Si
8	80 %	20%	20 %	20%	No	No
9	100 %	100%	80 %	80%	Si	No
10	60 %	20%	20 %	20%	Si	Si
11	80 %	80%	80 %	80%	No sabe	Si
12	100 %	20%	40 %	20%	Si	No
13	100 %	80%	100%	40%	Si	Si
14	100 %	60%	100%	80%	Si	Si
15	100 %	80%	80 %	60%	No sabe	Si
16	20 %	60%	40 %	60%	Si	Si
17	100 %	40%	40 %	20%	Si	No sabe
18	100 %	20%	80 %	20%	Si	No sabe
19	100 %	80%	100%	80%	Si	Si
20	100 %	80%	100%	40%	Si	No sabe
21	100 %	60%	40 %	60%	Si	Si
22	80 %	80%	80 %	40%	Si	Si
23	80 %	60%	40 %	40%	Si	No sabe
24	100 %	80%	80 %	80%	Si	Si
25	100 %	60%	60 %	40%	Si	No
26	100 %	80%	80 %	80%	Si	Si
27	80 %	40%	80 %	40%	Si	Si
28	80 %	100%	100%	60%	Si	Si
29	80 %	60%	40 %	40%	Si	No

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.5: Respuestas de encuesta (Parte 5).

Persona	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Revisión del diseño por un experto en construcción]	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Taller de constructabilidad en el calendario del proyecto]	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Lista de comprobación para evitar errores de construcción comunes]	¿Utiliza algunos de los siguientes métodos? [Experto en construcción en el equipo de diseño]	¿Utiliza alguno de los siguientes mecanismos? [Planificación previa a la obra con personal que tenga experiencia]	¿Utiliza alguno de los siguientes mecanismos? [Aplicación de medios y métodos de construcción adecuados]
1	Si	No	Si	Si	Si	Si
2	Si	No	Si	No	Si	Si
3	Si	No	Si	Si	Si	Si
4	Si	Si	Si	Si	No sabe	Si
5	Si	No	Si	No sabe	No sabe	Si
6	Si	No	Si	No sabe	Si	Si
7	No	No	Si	Si	Si	Si
8	No	No	No	No	No	No
9	Si	No	Si	Si	Si	Si
10	No	No	No	No	No sabe	No sabe
11	Si	No	Si	Si	Si	Si
12	No	Si	No	No	Si	Si
13	Si	No	Si	No	Si	Si
14	Si	No	Si	Si	Si	Si
15	Si	No	No	Si	Si	Si
16	Si	Si	Si	Si	Si	Si
17	No	No sabe	No sabe	No sabe	No	Si
18	Si	No sabe	No sabe	Si	Si	Si
19	No	No sabe	No sabe	No	Si	Si
20	Si	No	No	No	No sabe	No sabe
21	No	No	No	No	Si	Si
22	Si	No sabe	Si	Si	Si	Si
23	Si	No sabe	No sabe	Si	No sabe	Si
24	Si	Si	Si	Si	Si	Si
25	Si	No	No	Si	No	No
26	Si	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe	No sabe
27	No sabe	No sabe	Si	Si	Si	Si
28	Si	No	Si	Si	Si	Si
29	No	No	No	Si	Si	Si

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.6: Respuestas de encuesta (Parte 6).

Persona	¿Utiliza alguno de los siguientes mecanismos? [Coordinación de los oficios de la construcción]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [El personal de diseño no tiene experiencia en construcción]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [El personal de diseño no está dispuesto a aceptar cambios]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [Desinterés por parte de la empresa para la implementación]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [El sistema de contratación de diseño-licitación-construcción (tradicional)]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [Aumento del plazo del proyecto]
1	No	Si	Si	Si	Si	Si
2	Si	Si	Si	No	No	No
3	Si	Si	Si	Si	No	No
4	Si	Si	Si	Si	Si	No
5	No sabe	Si	Si	Si	No	No
6	Si	No	Si	Si	Si	Si
7	Si	No	No	No	Si	No
8	No	Si	Si	Si	No	No
9	Si	No	No	No	Si	No
10	No sabe	Si	Si	Si	Si	Si
11	Si	No	No	No	No	Si
12	Si	Si	No	Si	No	Si
13	Si	No	No	Si	Si	No
14	Si	Si	Si	No	Si	Si
15	Si	No	No	No	No	Si
16	Si	Si	Si	No	Si	Si
17	Si	Si	Si	No	Si	No
18	Si	No	Si	Si	Si	No
19	No sabe	No	No	No	Si	No
20	No sabe	Si	No	No	Si	No
21	Si	No	No	No	No	Si
22	Si	No	No	No	Si	Si
23	Si	No	No	No	Si	No
24	Si	No	Si	No	Si	No
25	No	No	No	No	Si	Si
26	No sabe	Si	No	No	Si	Si
27	Si	Si	Si	Si	Si	Si
28	Si	No	No	No	Si	No
29	Si	Si	Si	No	No	No

(a) Elaboración Propia.

Tabla D.7: Respuestas de encuesta (Parte 7).

Persona	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [Mala comunicación entre diseñadores y constructores]	Actualmente ¿Cuál de estas opciones identifica como posibles barreras para implementar este sistema de gestión? [Falta de tiempo o recursos]	Conociendo los efectos negativos en obras viales que existen actualmente y los beneficios de este concepto ¿Cree que la aplicación de esta herramienta se debería aplicar en las empresas?
1	Si	No	Si
2	No	Si	Si
3	Si	Si	Si
4	Si	No	Si
5	Si	Si	Si
6	Si	Si	Si
7	Si	Si	Si
8	Si	No	Si
9	No	No	Si
10	Si	Si	Si
11	No	No	Si
12	Si	Si	Si
13	Si	No	Si
14	Si	Si	Si
15	Si	Si	Si
16	No	Si	Si
17	Si	No	Si
18	No	Si	Si
19	No	Si	Si
20	Si	No	Si
21	No	No	Si
22	Si	Si	Si
23	Si	Si	Si
24	No	Si	Si
25	No	No	Si
26	Si	Si	Si
27	Si	Si	Si
28	No	No	Si
29	Si	No	Si

(a) Elaboración Propia.